Comprehensive Rust 🦀

Martin Geisler

Sumário

Bem-vindos ao Comprehensive Rust 🦀

Este é um curso gratuito de Rust desenvolvido pela equipe do Android no Google. O curso abrange o espectro completo da linguagem, desde sintaxe básica até tópicos avançados como 'generics' e tratamento de erros.

> A versão mais recente do curso pode ser encontrada em https://google.github.io/comprehensive-rust/. Se você estiver lendo em outro lugar, por favor verifique lá por atualizações.
>
> O curso está disponível em outros idiomas. Selecione seu idioma preferido no canto superior direito da página ou verifique a página de Traduções para uma lista de todas as traduções disponíveis.
>
> O curso também está disponível como PDF.

O objetivo do curso é ensinar Rust a você. Nós assumimos que você não saiba nada sobre Rust e esperamos:

- Dar a você uma compreensão abrangente da linguagem e da sintaxe de Rust.
- Permitir que você modifique programas existentes e escreva novos programas em Rust.
- Demonstrar expressões idiomáticas comuns de Rust.

Nós chamamos os quatro primeiros dias do curso de Fundamentos do Rust.

Em seguida, você está convidado(a) a mergulhar a fundo em um ou mais tópicos especializados:

- Android: um curso de meio dia sobre a utilização de Rust no desenvolvimento para a plataforma Android (AOSP). Isto inclui interoperabilidade com C, C++ e Java.
- Chromium: um curso de meio dia sobre a utilização de Rust em navegadores baseados em Chromium. Isto inclui interoperabilidade com C++ e como incluir *crates* de terceiros no Chromium.
- Bare-metal: uma aula de um dia sobre a utilização de Rust para o desenvolvimento ”bare metal” (sistema embarcado). Tanto micro-controladores quanto processadores de aplicação são cobertos.
- Concorrência: uma aula de um dia inteiro sobre concorrência em Rust. Nós cobrimos tanto concorrência clássica (escalonamento preemptivo utilizando threads e mutexes) quanto concorrência async/await (multitarefa cooperativa utilizando *futures*).

Fora do escopo

Rust é uma linguagem extensa e não conseguiremos cobrir tudo em poucos dias. Alguns assuntos que não são objetivos deste curso são:

- Aprender a criar macros: por favor confira Capítulo 19.5 em Rust Book e Rust by Example para esse fim.

Premissas

O curso pressupõe que você já saiba programar. Rust é uma linguagem de tipagem estática e ocasionalmente faremos comparações com C e C++ para melhor explicar ou contrastar a abordagem do Rust.

Se você sabe programar em uma linguagem de tipagem dinâmica, como Python ou JavaScript, então você também será capaz de acompanhar.

Este é um exemplo de uma *nota do instrutor*. Nós as usaremos para adicionar informações complementares aos slides. Elas podem ser tanto pontos-chave que o instrutor deve cobrir quanto respostas a perguntas típicas que surgem em sala de aula.

Capítulo 1

Conduzindo o Curso

Esta página é para o instrutor do curso.

Aqui estão algumas informações básicas sobre como estamos conduzindo o curso internamente no Google.

Normalmente realizamos as aulas das 9h às 16h, com uma pausa de 1 hora para o almoço no meio. Isso deixa 3 horas para a aula da manhã e 3 horas para a aula da tarde. Ambas as sessões contêm várias pausas e tempo para os alunos trabalharem nos exercícios.

Antes de oferecer o curso, você precisa:

1. Familiarize-se com o material do curso. Incluímos notas do instrutor para ajudar a destacar os pontos principais (ajude-nos contribuindo com mais notas!). Ao apresentar, certifique-se de abrir as notas do instrutor em um pop-up (clique no link com uma pequena seta ao lado de ”Speaker Notes” ou ”Notas do Instrutor”). Desta forma você tem uma tela limpa para apresentar à turma.
2. Decida as datas. Como o curso leva pelo menos quatro dias completos, recomendamos que você agende os dias ao longo de duas semanas. Os participantes do curso disseram que eles acham útil ter um espaço no curso, pois os ajuda a processar todas as informações que lhes damos.
3. Encontre uma sala grande o suficiente para seus participantes presenciais. Recomendamos turmas de 15 a 25 pessoas. Isso é pequeno o suficiente para que as pessoas se sintam confortáveis fazendo perguntas --- também é pequeno o suficiente para que um instrutor tenha tempo para responder às perguntas. Certifique-se de que a sala tenha *mesas* para você e para os alunos: todos vocês precisam ser capazes de sentar e trabalhar com seus laptops. Em particular, você fará muita codificação ao vivo como instrutor, portanto, um pódio não será muito útil para você.
4. No dia do seu curso, chegue um pouco mais cedo na sala para acertar as coisas. Recomendamos apresentar diretamente usando `mdbook serve` rodando em seu laptop (consulte as instruções de instalação). Isso garante um desempenho ideal sem atrasos conforme você muda de página. Usar seu laptop também permitirá que você corrija erros de digitação enquanto você ou os participantes do curso os identificam.
5. Deixe as pessoas resolverem os exercícios sozinhas ou em pequenos grupos. Normalmente gastamos de 30 a 45 minutos em exercícios pela manhã e à tarde (incluindo o tempo para revisar as soluções). Tenha certeza de perguntar às pessoas se

elas estão em dificuldades ou se há algo em que você possa ajudar. Quando você vir que várias pessoas têm o mesmo problema, chame a turma e ofereça uma solução, por exemplo, mostrando às pessoas onde encontrar as informações relevantes na biblioteca padrão (”standard library”).

Isso é tudo, boa sorte no curso! Esperamos que seja tão divertido para você como tem sido para nós!

Por favor, dê seu feedback depois para que possamos continuar melhorando o curso. Adoraríamos saber o que funcionou bem para você e o que pode ser melhorado. Seus alunos também são muito bem-vindos para nos enviar feedback!

1.1 Estrutura do Curso

Esta página é para o instrutor do curso.

Fundamentos do Rust

Os primeiros quatro dias compõem os Fundamentos do Rust. Os dias são rápidos e cobrimos bastante counteúdo!

Agenda do curso:

- Dia 1 Manhã (2 horas e 5 minutos, incluindo intervalos)

Segment	Duration
Bem-vindos	5 minutes
Olá, Mundo	15 minutes
Tipos e Valores	40 minutes
Fundamentos de Controle de Fluxo	40 minutes

- Dia 1 Tarde (2 horas e 35 minutos, incluindo intervalos)

Segment	Duration
Tuplas e Matrizes	35 minutes
Referências	55 minutes
Tipos Definidos pelo Usuário	50 minutes

- Dia 2 Manhã (2 horas and 10 minutos, incluindo intervalos)

Segment	Duration
Bem-vindos	3 minutes
Correspondência de Padrões	1 hour
Métodos e Traits	50 minutes

- Dia 2 Tarde (3 horas e 15 minutos, incluindo intervalos)

Segment	Duration
Genéricos (Generics)	45 minutes
Tipos da Biblioteca Padrão	1 hour
Traits da Biblioteca Padrão	1 hour and 10 minutes

- Dia 3 Manhã (2 horas and 20 minutos, incluindo intervalos)

Segment	Duration
Bem-vindos	3 minutes
Gerenciamento de Memória	1 hour
Ponteiros Inteligentes (Smart Pointers)	55 minutes

- Dia 3 Tarde (1 hora and 55 minutos, incluindo intervalos)

Segment	Duration
Empréstimo (Borrowing)	55 minutes
Tempos de Vida (Lifetimes)	50 minutes

- Dia 4 Manhã (2 horas and 40 minutos, incluindo intervalos)

Segment	Duration
Bem-vindos	3 minutes
Iteradores	45 minutes
Módulos	40 minutes
Testes	45 minutes

- Dia 4 Tarde (2 horas and 15 minutos, incluindo intervalos)

Segment	Duration
Tratamento de Erros	1 hour
Rust Inseguro (Unsafe)	1 hour and 5 minutes

Análises Detalhadas

Além do curso de 4 dias sobre Fundamentos de Rust, nós abordamos alguns tópicos mais especializados:

Rust para Android

O Rust para Android é um curso de meio dia sobre o uso de Rust para o desenvolvimento na plataforma Android. Isso inclui interoperabilidade com C, C++ e Java.

Você precisará de um *checkout* do AOSP. Faça um checkout do repositório do curso no mesmo computador e mova o diretório `src/android/` para a raiz do seu checkout do AOSP. Isso garantirá que o sistema de compilação do Android veja os arquivos `Android.bp` em `src/android/`.

Certifique-se de que `adb sync` funcione com seu emulador ou dispositivo físico e pré-compile todos os exemplos do Android usando `src/android/build_all.sh`. Leia o roteiro para ver os comandos executados e verifique se eles funcionam quando você os executa manualmente.

Rust para Chromium

O Rust para Chromium é um curso de meio dia sobre o uso de Rust como parte do navegador Chromium. Ele inclui o uso de Rust no sistema de compilação gn do Chromium, a inclusão de bibliotecas de terceiros ("*crates*") e interoperabilidade com C++.

Você precisará ser capaz de compilar o Chromium --- uma compilação de componentes de depuração é recomendada para velocidade, mas qualquer compilação funcionará. Certifique-se de que você possa executar o navegador Chromium que você compilou.

Rust *Bare-Metal*

O Rust *Bare-Metal* é uma aula de um dia inteiro sobre o uso de Rust para o desenvolvimento *bare-metal* (sistema embarcado). Tanto micro-controladores quanto processadores de aplicação são cobertos.

Para a parte do micro-controlador, você precisará comprar a placa de desenvolvimento BBC micro:bit v2 com antecedência. Todos precisarão instalar vários pacotes, conforme descrito na página inicial.

Concorrência em Rust

Concorrência em Rust é uma aula de um dia sobre concorrência clássica e concorrência `async`/`await`.

Você precisará de um novo *crate* configurado e as dependências baixadas e prontas para uso. Você pode então copiar/colar os exemplos para `src/main.rs` para experimentá-los:

```
cargo init concurrency
cd concurrency
cargo add tokio --features full
cargo run
```

Agenda do curso:

- Morning (3 hours and 20 minutes, including breaks)

Segment	Duration
Threads	30 minutes
Canais (Channels)	20 minutes
Send e Sync	15 minutes
Estado Compartilhado	30 minutes
Exercícios	1 hour and 10 minutes

- Afternoon (3 hours and 20 minutes, including breaks)

Segment	Duration
Fundamentos de Async (Assincronicidade)	30 minutes
Canais e Controle de Fluxo	20 minutes
Armadilhas	55 minutes
Exercícios	1 hour and 10 minutes

Formato

O curso foi projetado para ser bastante interativo e recomendamos deixar as perguntas conduzirem a exploração do Rust!

1.2 Atalhos de Teclado

Existem vários atalhos de teclado úteis no *mdBook*:

- Arrow-Left

  : Navigate to the previous page.

- Arrow-Right

  : Navigate to the next page.

- Ctrl + Enter

  : Execute the code sample that has focus.

- s

  : Activate the search bar.

1.3 Traduções

O curso foi traduzido para outros idiomas por um grupo de voluntários maravilhosos:

- Português do Brasil por @rastringer, @hugojacob, @joaovicmendes e @henrif75.
- Chinês (Simplificado) por @suetfei, @wnghl, @anlunx, @kongy, @noahdragon, @superwhd, @SketchK e @nodmp.
- Chinês (Tradicional) por @hueich, @victorhsieh, @mingyc, @kuanhungchen e @johnathan79717.
- Japonês por @CoinEZ-JPN, @momotaro1105, @HidenoriKobayashi e @kantasv.
- Coreano por @keispace, @jiyongp, @jooyunghan, e @namhyung.
- Espanhol por @deavid.
- Ucraniano por @git-user-cpp, @yaremam e @reta.

Use o seletor de idioma no canto superior direito para alternar entre os idiomas.

Traduções Incompletas

Há um grande número de traduções em andamento. Nós referenciamos as traduções mais recentemente atualizadas:

- Árabe por @younies
- Bengali por @raselmandol.
- Francês por @KookaS, @vcaen e @AdrienBaudemont.
- Alemão por @Throvn e @ronaldfw.
- Italiano por @henrythebuilder e @detro.

Se você quiser ajudar com essa iniciativa, consulte nossas instruções sobre como proceder. As traduções são coordenadas no *issue tracker*.

Capítulo 2

Usando o Cargo

Quando você começar a ler sobre Rust, logo conhecerá o Cargo, a ferramenta padrão usada no ecossistema Rust para criar e executar aplicativos Rust. Aqui nós queremos dar uma breve visão geral do que é o Cargo e como ele se encaixa no ecossistema mais amplo e como ele se encaixa neste treinamento.

Instalação

> **Por favor, siga as instruções em https://rustup.rs/.**

Isso fornecerá a ferramenta de compilação Cargo (`cargo`) e o compilador Rust (`rustc`). Você também obterá o `rustup`, um utilitário de linha de comando que você pode usar para instalar diferentes versões do compilador.

Depois de instalar o Rust, você deve configurar seu editor ou IDE para trabalhar com o Rust. A maioria dos editores faz isso conversando com o rust-analyzer, que fornece auto-completar e funcionalidade de salto para definição para VS Code, Emacs, Vim/Neovim e muitos outros. Também há um IDE diferente disponível chamado RustRover.

- No Debian/Ubuntu, você também pode instalar o Cargo, o código-fonte do Rust e o formatador Rust com `apt`. Entretanto, isto lhe fornece uma versão desatualizada do Rust e pode levar a comportamentos inesperados. O comando seria:

  ```
  sudo apt install cargo rust-src rustfmt
  ```

- No macOS, você pode usar o Homebrew para instalar o Rust, mas isso pode fornecer uma versão desatualizada. Portanto, é recomendado instalar o Rust a partir do site oficial.

2.1 O Ecossistema Rust

O ecossistema Rust consiste em várias ferramentas, das quais as principais são:

- `rustc`: o compilador Rust que converte arquivos `.rs` em binários e outros formatos intermediários.

- `cargo`: o gerenciador de dependências e ferramenta de compilação do Rust. O Cargo sabe como baixar dependências, normalmente hospedadas em https://crates.io, e as passará para o `rustc` quando compilar o seu projeto. O Cargo também vem com um gerenciador de testes embutido que é utilizado para a execução de testes unitários.
- `rustup`: o instalador e atualizador do conjunto de ferramentas do Rust. Esta ferramenta é utilizada para instalar e atualizar o `rustc` e o `cargo` quando novas versões do Rust forem lançadas. Além disso, `rustup` também pode baixar a documentação da biblioteca padrão. Você pode ter múltiplas versões do Rust instaladas ao mesmo tempo e `rustup` permitirá que você alterne entre elas conforme necessário.

Pontos chave:

- O Rust tem um cronograma de lançamento rápido com um novo lançamento saindo a cada seis semanas. Novos lançamentos mantêm compatibilidade com versões anteriores — além disso, eles habilitam novas funcionalidades.
- Existem três canais de lançamento: *"stable"*, *"beta"* e *"nightly"*.
- Novos recursos estão sendo testados em "nightly", "beta" é o que se torna "stable" a cada seis semanas.
- Dependências também podem ser resolvidas a partir de registros alternativos, git, pastas, e outros mais.
- O Rust também tem edições: a edição atual é o Rust 2021. As edições anteriores foram o Rust 2015 e o Rust 2018.
  - As edições podem fazer alterações incompatíveis com versões anteriores da linguagem.
  - Para evitar quebra de código, as edições são opcionais: você seleciona a edição para o seu *crate* através do arquivo `Cargo.toml`.
  - Para evitar a divisão do ecossistema, os compiladores Rust podem misturar código escrito para diferentes edições.
  - Mencione que é muito raro usar o compilador diretamente, não através do `cargo` (a maioria dos usuários nunca o faz).
  - Pode valer a pena mencionar que o próprio Cargo é uma ferramenta extremamente poderosa e abrangente. Ele é capaz de muitos recursos avançados, incluindo, entre outros:
    * Estrutura do projeto/pacote
    * Espaços de trabalho
    * Dependências de desenvolvimento e gerenciamento/cache de dependência de tempo de execução
    * Criar scripts
    * Instalação global
    * Também é extensível com plugins de sub-comando (tais como cargo clippy).
  - Leia mais no Livro Oficial do Cargo

2.2 Exemplos de Código neste Treinamento

Para este treinamento, exploraremos principalmente a linguagem Rust por meio de exemplos que podem ser executados através do seu navegador. Isso torna a instalação muito mais fácil e garante uma experiência consistente para todos.

A instalação do Cargo ainda assim é incentivada: será mais fácil para você fazer os exercícios. No último dia, faremos um exercício maior que mostra como trabalhar com dependências e para isso você precisará do Cargo.

Os blocos de código neste curso são totalmente interativos:

```
fn main() {
    println!("Edite-me!");
}
```

You can use

Ctrl + Enter

to execute the code when focus is in the text box.

A maioria dos exemplos de código são editáveis, como mostrado acima. Alguns exemplos de código não são editáveis por vários motivos:

- Os *playgrounds* embutidos não conseguem executar testes unitários. Copie o código e cole no *Playground* real para demonstrar os testes unitários.
- Os *playgrounds* embutidos perdem seu estado no momento em que você navega para outra página! Esta é a razão pela qual os alunos devem resolver os exercícios usando uma instalação do Rust local ou via Playground real.

2.3 Executando Código Localmente com o Cargo

Se você quiser experimentar o código em seu próprio sistema, precisará primeiro instalar o Rust. Faça isso seguindo as instruções no Livro do Rust. Isso deve fornecer o `rustc` e o `cargo` funcionando. Quando este curso foi escrito, as últimas versões estáveis do Rust são:

```
% rustc --version
rustc 1.69.0 (84c898d65 2023-04-16)
% cargo --version
cargo 1.69.0 (6e9a83356 2023-04-12)
```

Você também pode usar qualquer versão posterior, pois o Rust mantém compatibilidade com versões anteriores.

Com isso finalizado, siga estas etapas para criar um binário Rust a partir de um dos exemplos deste treinamento:

1. Clique no botão *"Copy to clipboard"* ("Copiar para a área de transferência") no exemplo que deseja copiar.
2. Use `cargo new exercise` para criar um novo diretório `exercise/` para o seu código:

   ```
   $ cargo new exercise
        Created binary (application) `exercise` package
   ```

3. Navegue até `exercise/` e use `cargo run` para compilar e executar seu binário:

```
$ cd exercise
$ cargo run
   Compiling exercise v0.1.0 (/home/mgeisler/tmp/exercise)
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.75s
     Running `target/debug/exercise`
Hello, world!
```

4. Substitua o código gerado em `src/main.rs` pelo seu próprio código. Por exemplo, usando o exemplo da página anterior, faça `src/main.rs` parecer como

   ```
   fn main() {
       println!("Edite-me!");
   }
   ```

5. Use `cargo run` para compilar e executar seu binário atualizado:

   ```
   $ cargo run
      Compiling exercise v0.1.0 (/home/mgeisler/tmp/exercise)
       Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.24s
        Running `target/debug/exercise`
   Edit me!
   ```

6. Use `cargo check` para verificar rapidamente se há erros em seu projeto, use `cargo build` para compilá-lo sem executá-lo. Você encontrará a saída em `target/debug/` para uma compilação de depuração normal. Use `cargo build --release` para produzir um binário otimizado em `target/release/`.

7. Você pode adicionar dependências para seu projeto editando `Cargo.toml`. Quando você execute os comandos `cargo`, ele irá baixar e compilar automaticamente dependências para você.

Tente encorajar os participantes do curso a instalar o Cargo e usar um editor local. Isso facilitará a vida deles, pois eles terão um ambiente normal de desenvolvimento.

Parte I

Dia 1: Manhã

Capítulo 3

Bem-vindos ao Dia 1

Este é o primeiro dia de Fundamentos do Rust. Nós iremos cobrir muitos pontos hoje:

- Sintaxe Rust básica: variáveis, tipos escalares e compostos, enums, structs, referências, funções e métodos.
- Tipos e Inferência de Tipo
- Construções de fluxo de controle: loops, condicionais, e assim por diante.
- Tipos definidos pelo usuário: structs e enums.
- Correspondência de padrões: desestruturando enums, structs, e matrizes.

Agenda

Including 10 minute breaks, this session should take about 2 hours and 5 minutes. It contains:

Segment	Duration
Bem-vindos	5 minutes
Olá, Mundo	15 minutes
Tipos e Valores	40 minutes
Fundamentos de Controle de Fluxo	40 minutes

Lembre aos alunos que:

- Eles devem fazer perguntas na hora, não as guarde para o fim.
- A aula é para ser interativa e as discussões são muito encorajadas!
  - Como instrutor, você deve tentar manter as discussões relevantes, ou seja, mantenha as discussões relacionadas a como o Rust faz as coisas versus alguma outra linguagem. Pode ser difícil encontrar o equilíbrio certo, mas procure permitir mais discussões, uma vez que elas engajam as pessoas muito mais do que uma comunicação unidirecional.
- As perguntas provavelmente farão com que falemos sobre coisas antes dos slides.
  - Isso está perfeitamente OK! A repetição é uma parte importante do aprendizado. Lembre-se que os slides são apenas um suporte e você está livre para ignorá-los quando quiser.

A ideia para o primeiro dia é mostrar as coisas ”básicas” em Rust que devem ter paralelos imediatos em outras linguagens. As partes mais avançadas do Rust vêm nos dias subsequentes.

Se você estiver ensinando isso em uma sala de aula, este é um bom lugar para revisar a agenda. Observe que há um exercício no final de cada segmento, seguido por uma pausa. Planeje cobrir a solução do exercício após a pausa. Os horários listados aqui são uma sugestão para manter o curso no horário. Sinta-se à vontade para ser flexível e ajustar conforme necessário!

Capítulo 4

Olá, Mundo

This segment should take about 15 minutes. It contains:

Slide	Duration
O que é Rust?	10 minutes
Benefícios do Rust	3 minutes
Playground	2 minutes

4.1 O que é Rust?

Rust é uma nova linguagem de programação que teve sua versão 1.0 lançada em 2015:

- Rust é uma linguagem compilada estaticamente e tem um papel semelhante ao C++
  - `rustc` usa o LLVM como seu backend.
- Rust suporta muitas plataformas e arquiteturas:
  - x86, ARM, WebAssembly, ...
  - Linux, Mac, Windows, ...
- Rust é usado em uma ampla gama de dispositivos:
  - firmware e carregadores de boot,
  - smart displays,
  - celulares,
  - desktops,
  - servidores.

Rust se encaixa na mesma área que C++:

- Alta flexibilidade.
- Alto nível de controle.
- Pode ser reduzido para dispositivos com menor poder computacional, tais como microcontroladores.
- Não possui *runtime* ou coletor de lixo (*garbage collection*).
- Concentra-se em confiabilidade e segurança sem sacrificar o desempenho.

4.2 Benefícios do Rust

Alguns pontos exclusivos do Rust:

- *Segurança de memória em tempo de compilação* - classes inteiras de bugs de memória são prevenidas em tempo de compilação
  - Sem variáveis não inicializadas.
  - Sem *double-frees*.
  - Sem *use-after-free*.
  - Sem ponteiros `NULL`.
  - Sem *mutexes* bloqueados esquecidos.
  - Sem concorrência de dados entre *threads*.
  - Sem invalidação de iteradores.
- *Sem comportamento indefinido em tempo de execução* - o que uma instrução Rust executa nunca é deixado indefinido
  - O acesso a matrizes tem limites verificados.
  - Estouro de números inteiros é definido (”pânico” ou *wrap-around*).
- *Recursos de linguagem modernos* - tão expressivos e ergonômicos quanto linguagens de alto nível
  - Enums e correspondência de padrões.
  - Genéricos (*Generics*).
  - FFI sem *overhead*.
  - Abstrações de custo zero.
  - Excelentes mensagens de erro do compilador.
  - Gerenciador de dependências integrado.
  - Suporte integrado para testes.
  - Excelente suporte ao protocolo de servidor de linguagem (LSP).

Não gaste muito tempo aqui. Todos esses pontos serão abordados em maior profundidade mais tarde.

Certifique-se de perguntar à classe com quais linguagens de programação eles têm experiência. Dependendo da resposta você pode destacar diferentes características do Rust:

- Experiência com C ou C++: Rust elimina toda uma classe de *erros em tempo de execução* através do verificador de empréstimos (*borrow checker*). Você obtém desempenho como em C e C++, mas sem os problemas de insegurança de memória. Além disso, você tem uma linguagem com funcionalidades modernas como correspondência de padrões e gerenciamento de dependência integrado.
- Experiência com Java, Go, Python, JavaScript...: Você tem a mesma segurança de memória como nessas linguagens, além de uma semelhança com linguagens de alto nível. Além disso você obtém desempenho rápido e previsível como C e C++ (sem coletor de lixo ou ”*garbage collector*”) bem como acesso a hardware de baixo nível (caso você precise)

4.3 Playground

O Rust Playground fornece uma maneira fácil de executar pequenos programas em Rust, e é a base para os exemplos e exercícios neste curso. Tente executar o programa ”hello-world”

com o qual ele começa. Ele vem com algumas funcionalidades úteis:

- Em ”Tools”, use a opção `rustfmt` para formatar seu código da maneira ”padrão”.
- Rust tem dois principais ”perfis” (*profiles*) para gerar código: *Debug* (verificações de tempo de execução extras, menos otimização) e *Release* (menos verificações de tempo de execução, muita otimização). Estes são acessíveis em ”Debug” no topo.
- Se você estiver interessado, use ”ASM” em ”...” para ver o código assembly gerado.

Conforme os alunos se dirigem para o intervalo, incentive-os a abrir o playground e experimentar um pouco. Incentive-os a manter a guia aberta e experimentar durante o resto do curso. Isso é particularmente útil para alunos avançados que desejam saber mais sobre as otimizações do Rust ou assembly gerado.

Capítulo 5

Tipos e Valores

This segment should take about 40 minutes. It contains:

Slide	Duration
Olá, Mundo	5 minutes
Variáveis	5 minutes
Valores	5 minutes
Aritimética	3 minutes
Inferência de Tipo	3 minutes
Exercício: Fibonacci	15 minutes

5.1 Olá, Mundo

Vamos pular para o programa em Rust mais simples possível, o clássico ”Olá Mundo”:

```
fn main() {
    println!("Hello 🌍!");
}
```

O que você vê:

- Funções são introduzidas com `fn`.
- Os blocos são delimitados por chaves como em C e C++.
- A função `main` é o ponto de entrada do programa.
- Rust tem macros ”higiênicas”, `println!` é um exemplo disso.
- As strings Rust são codificadas em UTF-8 e podem conter qualquer caractere Unicode.

Este slide tenta deixar os alunos familiarizados com o código em Rust. Eles irão ver bastante conteúdo nos próximos quatro dias, então começamos devagar com algo familiar.

Pontos chave:

- Rust é muito parecido com outras linguagens na tradição C/C++/Java. É imperativo (não funcional) e não tenta reinventar as coisas, a menos que seja absolutamente necessário.
- Rust é moderno com suporte total para coisas como Unicode.

- Rust usa macros para situações em que você deseja ter um número variável de argumentos (sem sobrecarga de função).
- Macros "higiênicas" significam que elas não capturam acidentalmente identificadores do escopo em que são usadas. As macros em Rust são, na verdade, apenas parcialmente "higiênicas".
- Rust é multi-paradigma. Por exemplo, ele possui funcionalidades de programação orientada à objetos poderosas, e, embora não seja uma linguagem *funcional*, inclui uma série de conceitos *funcionais*.

5.2 Variáveis

Rust fornece segurança de tipo por meio de tipagem estática. Variáveis são vinculadas com `let` (*let bindings*):

```
fn main() {
    let x: i32 = 10;
    println!("x: {x}");
    // x = 20;
    // println!("x: {x}");
}
```

- Remova o comentário em `x = 20` para demonstrar que as variáveis são imutáveis por padrão. Adicione a palavra-chave `mut` para permitir alterações.
- O `i32` aqui é o tipo da variável. Isso deve ser conhecido em tempo de compilação, mas a inferência de tipo (abordada posteriormente) permite que o programador o omita em muitos casos.

5.3 Valores

Aqui estão alguns tipos básicos integrados, e a sintaxe para valores literais de cada tipo.

	Tipos	Literais
Inteiros com sinal	`i8`, `i16`, `i32`, `i64`, `i128`, `isize`	`-10`, `0`, `1_000`, `123_i64`
Inteiros sem sinal	`u8`, `u16`, `u32`, `u64`, `u128`, `usize`	`0`, `123`, `10_u16`
Números de ponto flutuante	`f32`, `f64`	`3.14`, `-10.0e20`, `2_f32`
Valores escalares Unicode	`char`	`'a'`, `'α'`, `'∞'`
Booleanos	`bool`	`true`, `false`

Os tipos têm os seguintes tamanhos:

- `iN`, `uN` e `fN` têm *N* bits,

- `isize` e `usize` são do tamanho de um ponteiro,
- `char` tem 32 bits,
- `bool` tem 8 bits.

Há algumas sintaxes que não são mostradas acima:

- Todos os sublinhados em números podem ser omitidos, eles são apenas para legibilidade. Por exemplo, `1_000` pode ser escrito como `1000` (ou `10_00`), e `123_i64` pode ser escrito como `123i64`.

5.4 Aritimética

```
fn interproduct(a: i32, b: i32, c: i32) -> i32 {
    return a * b + b * c + c * a;
}

fn main() {
    println!("result: {}", interproduct(120, 100, 248));
}
```

Esta é a primeira vez que vemos uma função diferente de `main`, mas o significado deve ser claro: ela recebe três inteiros e retorna um inteiro. Funções serão abordadas com mais detalhes posteriormente.

Aritmética é muito semelhante a outras linguagens, com precedência semelhante.

E quanto ao estouro de inteiros? Em C e C++, o estouro de inteiros *com sinal* é realmente indefinido, e pode executar coisas desconhecidas em tempo de execução. Em Rust, isto é definido.

Altere os `i32` para `i16` para ver um estouro de inteiro, que causa um pânico (verificado) em uma compilação de debug e um *wrap-around* em uma compilação de release. Existem outras opções, como *overflowing*, saturação e *carrying*. Estes são acessados com sintaxe de método, por exemplo, `(a * b).saturating_add(b * c).saturating_add(c * a)`.

Na verdade, o compilador detectará o estouro de expressões constantes, é por isso que o exemplo requer uma função separada.

5.5 Inferência de Tipo

Rust verá como a variável é *usada* para determinar o tipo:

```
fn takes_u32(x: u32) {
    println!("u32: {x}");
}

fn takes_i8(y: i8) {
    println!("i8: {y}");
}

fn main() {
    let x = 10;
    let y = 20;
```

```
    takes_u32(x);
    takes_i8(y);
    // takes_u32(y);
}
```

Este slide demonstra como o compilador Rust infere tipos com base em restrições dadas por declarações e usos de variáveis.

É muito importante enfatizar que variáveis declaradas assim não são de um tipo dinâmico "qualquer tipo" que possa armazenar quaisquer dados. O código de máquina gerado por tal declaração é idêntico à declaração explícita de um tipo. O compilador faz o trabalho para nós e nos ajuda a escrever um código mais conciso.

Quando nada restringe o tipo de um literal inteiro, Rust assume `i32`. Isso às vezes aparece como `{integer}` nas mensagens de erro. Da mesma forma, os literais de ponto flutuante assumem `f64`.

```
fn main() {
    let x = 3.14;
    let y = 20;
    assert_eq!(x, y);
    // ERRO: nenhuma implementação para `{float} == {integer}`
}
```

5.6 Exercício: Fibonacci

A sequência de Fibonacci começa com `[0,1]`. Para n>1, o n-ésimo número de Fibonacci é calculado recursivamente como a soma dos n-1-ésimos e n-2-ésimos números de Fibonacci.

Escreva uma função `fib(n)` que calcula o n-ésimo número de Fibonacci. Quando esta função causará um pânico?

```
fn fib(n: u32) -> u32 {
    if n < 2 {
        // O caso base.
        todo!("Implemente isso")
    } else {
        // O caso recursivo.
        todo!("Implemente isso")
    }
}

fn main() {
    let n = 20;
    println!("fib({n}) = {}", fib(n));
}
```

5.6.1 Solução

```
fn fib(n: u32) -> u32 {
    if n < 2 {
        return n;
```

```
    } else {
        return fib(n - 1) + fib(n - 2);
    }
}

fn main() {
    let n = 20;
    println!("fib({n}) = {}", fib(n));
}
```

Capítulo 6

Fundamentos de Controle de Fluxo

This segment should take about 40 minutes. It contains:

Slide	Duration
Expressões if	4 minutes
Loops	5 minutes
break e continue	4 minutes
Blocos e Escopos	5 minutes
Funções	3 minutes
Macros	2 minutes
Exercício: Sequência de Collatz	15 minutes

6.1 Expressões `if`

Você usa expressões `if` exatamente como declarações `if` em outras linguagens:

```
fn main() {
    let x = 10;
    if x == 0 {
        println!("zero!");
    } else if x < 100 {
        println!("grande");
    } else {
        println!("enorme");
    }
}
```

Além disso, você pode usá-lo como uma expressão. A última expressão de cada bloco se torna o valor da expressão `if`

```
fn main() {
    let x = 10;
    let size = if x < 20 { "pequeno" } else { "grande" };
    println!("tamanho do número: {}", size);
}
```

Como `if` é uma expressão e deve ter um tipo específico, ambos os blocos de ramificação devem ter o mesmo tipo. Considere mostrar o que acontece se você adicionar um `;` depois de `"pequeno"` no segundo exemplo.

Quando `if` é usado em uma expressão, a expressão deve ter um `;` para separá-la da próxima instrução. Remova o `;` antes de `println!` para ver o erro do compilador.

6.2 Loops

Há três palavras-chave de loop em Rust: `while`, `loop` e `for`:

`while`

A palavra-chave `while` funciona de maneira muito similar a outras linguagens, executando o corpo do loop enquanto a condição for verdadeira.

```
fn main() {
    let mut x = 200;
    while x >= 10 {
        x = x / 2;
    }
    println!("X final: {x}");
}
```

6.2.1 `for`

O loop `for` itera sobre intervalos de valores ou os itens em uma coleção:

```
fn main() {
    for x in 1..5 {
        println!("x: {x}");
    }

    for elem in [1, 2, 3, 4, 5] {
        println!("item: {elem}");
    }
}
```

- Por baixo dos panos, os loops `for` usam um conceito chamado ”iteradores” para lidar com a iteração sobre diferentes tipos de intervalos/coleções. Iteradores serão discutidos com mais detalhes posteriormente.
- Observe que o loop `for` itera apenas até 4. Mostre a sintaxe `1..=5` para um intervalo inclusivo.

6.2.2 `loop`

O loop `loop` apenas executa um loop para sempre, até um `break`.

```
fn main() {
    let mut i = 0;
    loop {
        i += 1;
```

```
        println!("{i}");
        if i > 100 {
            break;
        }
    }
}
```

6.3 `break` e `continue`

Se você quiser iniciar imediatamente a próxima iteração use `continue`.

Se você quiser sair de qualquer loop cedo, use `break`. Para `loop`, isso pode receber uma expressão opcional que se torna o valor da expressão `loop`.

```
fn main() {
    let mut i = 0;
    loop {
        i += 1;
        if i > 5 {
            break;
        }
        if i % 2 == 0 {
            continue;
        }
        println!("{}", i);
    }
}
```

6.3.1 Rótulos (Labels)

Ambos `continue` e `break` podem opcionalmente receber um *label* (rótulo) como argumento que é usado para sair de loops aninhados:

```
fn main() {
    let s = [[5, 6, 7], [8, 9, 10], [21, 15, 32]];
    let mut elements_searched = 0;
    let target_value = 10;
    'outer: for i in 0..=2 {
        for j in 0..=2 {
            elements_searched += 1;
            if s[i][j] == target_value {
                break 'outer;
            }
        }
    }
    print!("elementos pesquisados: {elements_searched}");
}
```

- Observe que `loop` é a única construção de loop que retorna um valor não trivial . Isso ocorre porque é garantido que ele será executado pelo menos uma vez (diferente de loops `while` e `for`).

6.4 Blocos e Escopos

Blocos

Um bloco em Rust contêm uma sequência de expressões, delimitadas por chaves `{}`. Cada bloco tem um valor e um tipo, que são os da última expressão do bloco:

```
fn main() {
    let z = 13;
    let x = {
        let y = 10;
        println!("y: {y}");
        z - y
    };
    println!("x: {x}");
}
```

Se a última expressão terminar com `;`, o valor resultante e o tipo será `()`.

- Você pode mostrar como o valor do bloco muda alterando a última linha do bloco. Por exemplo, adicionar/remover um ponto e vírgula (`;`) ou usar um `return`.

6.4.1 Escopos e Shadowing (Sobreposição)

O escopo de uma variável é limitado ao bloco que a contém.

Você pode sobrepor (*shadow*) variáveis, tanto aquelas de escopos externos quanto variáveis do mesmo escopo:

```
fn main() {
    let a = 10;
    println!("antes: {a}");
    {
        let a = "olá";
        println!("escopo interno: {a}");

        let a = true;
        println!("sobreposto no escopo interno: {a}");
    }

    println!("depois: {a}");
}
```

- Mostre que o escopo de uma variável é limitado adicionando um b no bloco interno no último exemplo e, em seguida, tentando acessá-lo fora desse bloco.
- *Shadowing* é diferente da mutação, porque após a sobreposição (*shadowing*), os locais de memória de ambas as variáveis existem ao mesmo tempo. Ambas estão disponíveis com o mesmo nome, dependendo de onde você as usa no código.
- Uma variável sobreposta pode ter um tipo diferente.
- Shadowing (sobreposição) parece obscura a princípio, mas é conveniente para manter os valores após `.unwrap()`.

6.5 Funções

```
fn gcd(a: u32, b: u32) -> u32 {
    if b > 0 {
        gcd(b, a % b)
    } else {
        a
    }
}

fn main() {
    println!("gcd: {}", gcd(143, 52));
}
```

- Os parâmetros de declaração são seguidos por um tipo (o inverso de algumas linguagens de programação) e, em seguida, um tipo de retorno.
- A última expressão em um corpo de uma função (ou qualquer bloco) torna-se o valor de retorno. Simplesmente omita o `;` no final da expressão. A palavra-chave `return` pode ser usada para retorno antecipado, mas a forma "valor nu" é idiomática no final de uma função (refatore `gcd` para usar um `return`).
- Algumas funções não têm valor de retorno e retornam o 'tipo unitário', `()`. O compilador irá inferir isso se o tipo de retorno `-> ()` for omitido.
- Sobrecarga não é suportada - cada função tem uma única implementação.
  - Sempre usa um número fixo de parâmetros. Argumentos padrão não são suportados. Macros podem ser usadas para suportar funções variádicas.
  - Sempre usa um único conjunto de tipos de parâmetros. Estes tipos podem ser genéricos, o que será abordado mais tarde.

6.6 Macros

Macros são expandidas em código Rust durante a compilação e podem receber um número variável de argumentos. Elas são distinguidas por um `!` no final. A biblioteca padrão do Rust inclui uma variedade de macros úteis.

- `println!(format, ..)` imprime uma linha na saída padrão, aplicando a formatação descrita em `std::fmt`.
- `format!(format, ..)` funciona exatamente como `println!`, mas retorna o resultado como uma string.
- dbg!(expressão) registra o valor da expressão e o retorna.
- `todo!()` marca um trecho de código como não implementado. Se executado, gerará um pânico.
- `unreachable!()` marca um trecho de código como inalcançável. Se executado, gerará um pânico.

```
fn factorial(n: u32) -> u32 {
    let mut product = 1;
    for i in 1..=n {
        product *= dbg!(i);
    }
    product
}
```

```
fn fizzbuzz(n: u32) -> u32 {
    todo!()
}

fn main() {
    let n = 4;
    println!("{n}! = {}", factorial(n));
}
```

A lição desta seção é que essas conveniências comuns existem e como usá-las. Por que elas são definidas como macros e no que elas se expandem não é especialmente crítico.

O curso não cobre a definição de macros, mas uma seção posterior descreverá o uso de macros *derive* (derivadas).

6.7 Exercício: Sequência de Collatz

The Collatz Sequence is defined as follows, for an arbitrary n

1

greater than zero:

- If *n

  i

  * is 1, then the sequence terminates at *n

  i

  *.
- If *n

  i

  * is even, then *n

  i+1

  = n

  i

  / 2*.
- If *n

  i

  * is odd, then *n

  i+1

  = 3 * n

  i

  + 1*.

For example, beginning with *n

1

* = 3:

- 3 is odd, so *n

  2

  * = 3 * 3 + 1 = 10;
- 10 is even, so *n

  3

  * = 10 / 2 = 5;
- 5 is odd, so *n

  4

  * = 3 * 5 + 1 = 16;
- 16 is even, so *n

  5

  * = 16 / 2 = 8;
- 8 is even, so *n

  6

  * = 8 / 2 = 4;
- 4 is even, so *n

  7

  * = 4 / 2 = 2;
- 2 is even, so *n

  8

  * = 1; and
- a sequência termina.

Escreva uma função para calcular o comprimento da sequência de Collatz para um dado n inicial.

```
/// Determine o comprimento da sequência de Collatz começando em `n`.
fn collatz_length(mut n: i32) -> u32 {
  todo!("Implemente isso")
}

fn main() {
  todo!("Implemente isso")
}
```

6.7.1 Solução

```rust
/// Determine o comprimento da sequência de Collatz começando em `n`.
fn collatz_length(mut n: i32) -> u32 {
    let mut len = 1;
    while n > 1 {
        n = if n % 2 == 0 { n / 2 } else { 3 * n + 1 };
        len += 1;
    }
    len
}

fn test_collatz_length() {
    assert_eq!(collatz_length(11), 15);
}

fn main() {
    println!("Comprimento: {}", collatz_length(11));
}
```

Parte II

Dia 1: Tarde

Capítulo 7

Bem-vindos de volta

Including 10 minute breaks, this session should take about 2 hours and 35 minutes. It contains:

Segment	Duration
Tuplas e Matrizes	35 minutes
Referências	55 minutes
Tipos Definidos pelo Usuário	50 minutes

Capítulo 8

Tuplas e Matrizes

This segment should take about 35 minutes. It contains:

Slide	Duration
Matrizes	5 minutes
Tuplas	5 minutes
Iterator de Matrizes	3 minutes
Padrões e Desestruturação	5 minutes
Exercício: Matrizes Aninhadas	15 minutes

8.1 Matrizes

```
fn main() {
    let mut a: [i8; 10] = [42; 10];
    a[5] = 0;
    println!("a: {a:?}");
}
```

- O valor do tipo matriz `[T; N]` comporta `N` elementos (constante em tempo de compilação) do mesmo tipo `N`. Note que o tamanho de uma matriz é *parte do seu tipo*, o que significa que `[u8; 3]` e `[u8; 4]` são considerados dois tipos diferentes. *Slices* (fatias), que têm um tamanho determinado em tempo de execução, são abordados mais tarde.
- Tente acessar um elemento de matriz fora dos limites. Os acessos a matrizes são verificados em tempo de execução. Rust geralmente pode otimizar essas verificações e elas podem ser evitadas usando Rust inseguro.
- Nós podemos usar literais para atribuir valores para matrizes.
- A macro `println!` pede a implementação de depuração com o parâmetro de formato `?`: `{}` dá a saída padrão, `{:?}` dá a saída de depuração. Tipos como inteiros e strings implementam a saída padrão, mas matrizes implementam apenas a saída de depuração. Isso significa que devemos usar a saída de depuração aqui.

- Adicionando #, p.ex. `{a:#?}`, invoca um formato *"pretty printing"*, que pode ser mais legível.

8.2 Tuplas

```
fn main() {
    let t: (i8, bool) = (7, true);
    println!("t.0: {}", t.0);
    println!("t.1: {}", t.1);
}
```

- Assim como matrizes, tuplas têm tamanho fixo.
- Tuplas agrupam valores de diferentes tipos em um tipo composto.
- Campos de uma tupla podem ser acessados com um ponto e o índice do valor, p.ex. `t.0`, `t.1`.
- A tupla vazia `()` é referida como o "tipo unitário" e significa a ausência de um valor de retorno, semelhante ao `void` em outras linguagens.

8.3 Iterator de Matrizes

O comando `for` suporta iteração sobre matrizes (mas não tuplas).

```
fn main() {
    let primes = [2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19];
    for prime in primes {
        for i in 2..prime {
            assert_ne!(prime % i, 0);
        }
    }
}
```

Esta funcionalidade usa o *trait* `IntoIterator`, mas ainda não a abordamos.

A macro `assert_ne!` é nova aqui. Existem também macros `assert_eq!` e `assert!`. Estes são sempre verificados enquanto as variantes apenas para debug como `debug_assert!` não compilam nada em compilações de release.

8.4 Padrões e Desestruturação

Quando se trabalha com tuplas e outros valores estruturados, é comum querer extrair os valores internos em variáveis locais. Isso pode ser feito manualmente acessando diretamente os valores internos:

```
fn print_tuple(tuple: (i32, i32)) {
    let left = tuple.0;
    let right = tuple.1;
    println!("esquerda: {left}, direita: {right}");
}
```

No entanto, Rust também suporta o uso de correspondência de padrões (*pattern matching*) para desestruturar um valor maior em suas partes constituintes:

```
fn print_tuple(tuple: (i32, i32)) {
    let (left, right) = tuple;
    println!("esquerda: {left}, direita: {right}");
}
```

- Os padrões usados aqui são ”irrefutáveis”, o que significa que o compilador pode verificar estaticamente que o valor à direita de = tem a mesma estrutura que o padrão.
- Um nome de variável é um padrão irrefutável que sempre corresponde a qualquer valor, por isso podemos também usar `let` para declarar uma única variável.
- Rust também suporta o uso de padrões em condicionais, permitindo a comparação de igualdade e desestruturação ao mesmo tempo. Esta forma de correspondência de padrões será discutida em mais detalhes posteriormente.
- Edite os exemplos acima para mostrar o erro do compilador quando o padrão não corresponde ao valor sendo correspondido.

8.5 Exercício: Matrizes Aninhadas

Matrizes podem conter outras matrizes:

```
let array = [[1, 2, 3], [4, 5, 6], [7, 8, 9]];
```

Qual é o tipo desta variável?

Use uma matriz como a acima para escrever uma função `transpose` que transporá uma matriz (transformar linhas em colunas):

```
           ⎛⎡1 2 3⎤⎞      ⎡1 4 7⎤
"transpose"⎜⎢4 5 6⎥⎟  "=="⎢2 5 8⎥
           ⎝⎣7 8 9⎦⎠      ⎣3 6 9⎦
```

Copie o código abaixo para https://play.rust-lang.org/ e implemente as funções: Esta função opera apenas em matrizes 3x3.

```
// TODO: remova isto quando você terminar sua implementação.

fn transpose(matrix: [[i32; 3]; 3]) -> [[i32; 3]; 3] {
    unimplemented!()
}

fn test_transpose() {
    let matrix = [
        [101, 102, 103], //
        [201, 202, 203],
        [301, 302, 303],
    ];
    let transposed = transpose(matrix);
    assert_eq!(
        transposed,
        [
            [101, 201, 301], //
            [102, 202, 302],
```

```
            [103, 203, 303],
        ]
    );
}

fn main() {
    let matrix = [
        [101, 102, 103], // <-- o comentário faz com que o rustfmt adicione uma nova lin
        [201, 202, 203],
        [301, 302, 303],
    ];

    println!("matriz: {:#?}", matrix);
    let transposed = transpose(matrix);
    println!("transposta: {:#?}", transposed);
}
```

8.5.1 Solução

```
fn transpose(matrix: [[i32; 3]; 3]) -> [[i32; 3]; 3] {
    let mut result = [[0; 3]; 3];
    for i in 0..3 {
        for j in 0..3 {
            result[j][i] = matrix[i][j];
        }
    }
    result
}

fn test_transpose() {
    let matrix = [
        [101, 102, 103], //
        [201, 202, 203],
        [301, 302, 303],
    ];
    let transposed = transpose(matrix);
    assert_eq!(
        transposed,
        [
            [101, 201, 301], //
            [102, 202, 302],
            [103, 203, 303],
        ]
    );
}

fn main() {
    let matrix = [
        [101, 102, 103], // <-- o comentário faz com que o rustfmt adicione uma nova lin
        [201, 202, 203],
        [301, 302, 303],
```

```
    ];

    println!("matriz: {:#?}", matrix);
    let transposed = transpose(matrix);
    println!("transposta: {:#?}", transposed);
}
```

Capítulo 9

Referências

This segment should take about 55 minutes. It contains:

Slide	Duration
Referências Compartilhadas	10 minutes
Referências Exclusivas	10 minutes
Slices: &[T]	10 minutes
Strings	10 minutes
Exercício: Geometria	15 minutes

9.1 Referências Compartilhadas

Uma referência fornece uma maneira de acessar outro valor sem assumir a responsabilidade pelo valor, e também é chamada de ”empréstimo”. Referências compartilhadas são somente leitura e os dados referenciados não podem ser alterados.

```
fn main() {
    let a = 'A';
    let b = 'B';
    let mut r: &char = &a;
    println!("r: {}", *r);
    r = &b;
    println!("r: {}", *r);
}
```

Uma referência compartilhada a um tipo `T` tem tipo `&T`. Um valor de referência é feito com o operador `&`. O operador `*` ”desreferencia” uma referência, produzindo seu valor.

Rust estaticamente proibirá referências pendentes:

```
fn x_axis(x: &i32) -> &(i32, i32) {
    let point = (*x, 0);
    return &point;
}
```

- Uma referência é dita que *"borrow"* (empresta) o valor a que se refere, e este é um bom modelo para estudantes não familiarizados com ponteiros: o código pode usar a referência para acessar o valor, mas ainda é *"owned"* (propriedade) da variável original. O curso entrará em mais detalhes sobre *ownership* no dia 3.
- Referências são implementadas como ponteiros, e uma vantagem chave é que podem ser muito menores do que a coisa a que apontam. Os alunos familiarizados com C ou C++ reconhecerão referências como ponteiros. Partes posteriores do curso abordarão como o Rust impede os bugs de segurança de memória que vêm do uso de ponteiros brutos.
- O Rust não cria automaticamente referências para você - o `&` é sempre necessário.
- Em alguns casos, o Rust desreferenciará automaticamente, em particular ao invocar métodos (tente `r.is_ascii()`). Não há necessidade de um operador `->` como em C++.
- Neste exemplo, `r` é mutável para que possa ser reatribuído (`r = &b`). Observe que isso re-associa `r`, de modo que se refere a outra coisa. Isso é diferente do C++, onde a atribuição a uma referência altera o valor referenciado.
- Uma referência compartilhada não permite modificar o valor a que se refere, mesmo que esse valor seja mutável. Tente `*r = 'X'`.
- O Rust está rastreando os tempos de vida de todas as referências para garantir que elas vivam tempo suficiente. Referências pendentes não podem ocorrer em Rust seguro. `x_axis` retornaria uma referência a `point`, mas `point` será desalocado quando a função retornar, então isso não será compilado.
- Falaremos mais sobre empréstimos quando chegarmos à *ownership*.

9.2 Referências Exclusivas

Referências exclusivas, também conhecidas como referências mutáveis, permitem alterar o valor a que se referem. Eles têm tipo `&mut T`.

```
fn main() {
    let mut point = (1, 2);
    let x_coord = &mut point.0;
    *x_coord = 20;
    println!("point: {point:?}");
}
```

Pontos chave:

- "Exclusivo" significa que apenas esta referência pode ser usada para acessar o valor. Nenhuma outra referência (compartilhada ou exclusiva) pode existir ao mesmo tempo, e o valor referenciado não pode ser acessado enquanto a referência exclusiva existir. Tente fazer um `&point.0` ou alterar `point.0` enquanto `x_coord` estiver ativo.
- Certifique-se de observar a diferença entre `let mut x_coord: &i32` e `let rx_coord: &mut i32`. O primeiro representa uma referência mutável que pode ser ligada a diferentes valores, enquanto o segundo representa uma referência exclusiva a um valor mutável.

9.3 Slices (Fatias)

Uma *slice* (fatia) oferece uma visão de uma coleção maior:

```
fn main() {
    let mut a: [i32; 6] = [10, 20, 30, 40, 50, 60];
    println!("a: {a:?}");

    let s: &[i32] = &a[2..4];

    println!("s: {s:?}");
}
```

- Slices pegam dados emprestados (_borrow) do tipo original.
- Pergunta: O que acontece se você modificar `a[3]` imediatamente antes de imprimir `s`?
- Nós criamos uma *slice borrowing* (emprestando) `a` e especificando os índices de início e fim entre colchetes.
- Se a *slice* começa no índice 0, a sintaxe de *range* (faixa) nos permite omitir o índice inicial, o que significa que `&a[0..a.len()]` e `&a[..a.len()]` são idênticos.
- O mesmo vale para o último índice, logo `&a[2..a.len()]` e `&a[2..]` são idênticos.
- Para criar facilmente uma *slice* de uma matriz completa, podemos utilizar`&a[..]`.
- `s` é uma referência a uma *slice* de `i32`. Observe que o tipo de `s` (`&[i32]`) não menciona mais o tamanho da matriz. Isso nos permite realizar cálculos em *slices* de tamanhos diferentes.
- As *slices* sempre pegam emprestado (borrow) de outro objeto. Neste exemplo, `a` deve permanecer 'vivo' (em escopo) por pelo menos tanto tempo quanto nossa *slice*.
- A questão sobre a modificação de `a[3]` pode gerar uma discussão interessante, mas a resposta é que por motivos de segurança de memória você não pode fazer isso por meio de `a` neste ponto durante a execução. Porém você pode ler os dados de `a` e `s` com segurança. Isto funciona antes da criação do *slice*, e novamente depois de `println`, quando o *slice* não é mais necessário.

9.4 Strings

Agora podemos entender os dois tipos de strings em Rust:

- `&str` é uma *slice* de bytes codificados em UTF-8, similar a `&[u8]`.
- `String` é um buffer *owned* de bytes codificados em UTF-8, similar a `Vec<T>`.

```
fn main() {
    let s1: &str = "Mundo";
    println!("s1: {s1}");

    let mut s2: String = String::from("Olá ");
    println!("s2: {s2}");
    s2.push_str(s1);
    println!("s2: {s2}");
```

```
    let s3: &str = &s2[s2.len() - s1.len()..];
    println!("s3: {s3}");
}
```

- `&str` introduz uma *slice* de string, a qual é uma referência imutável para os dados da string UTF-8 armazenados em um bloco de memória. Literais de string (`"Olá"`), são armazenadas no código binário do programa.
- O tipo `String` do Rust é um *wrapper* (invólucro) ao redor de um vetor de bytes. Assim como um `Vec<T>`, ele é *owned*.
- Da mesma forma que outros tipos, `String::from()` cria uma string a partir de um literal; `String::new()` cria uma nova string vazia, na qual dados de string podem ser adicionados com os métodos `push()` e `push_str()`.
- A macro `format!()` é uma maneira conveniente de gerar uma string *owned* a partir de valores dinâmicos. Ela aceita os mesmos formatadores que `println!()`.
- Você pode pegar emprestado (borrow) *slices* `&str` de `String` via `&` e opcionalmente seleção de intervalo. Se você selecionar um intervalo de byte que não está alinhado com os limites dos caracteres, a expressão irá retornar um pânico. O iterador `chars` itera sobre caracteres e é preferível tentar obter os limites dos caracteres corretos.
- Para programadores C++: pense em `&str` como `const char*` de C++, mas que sempre aponta para uma string válida na memória. Em Rust, `String` é um equivalente aproximado de `std::string` de C++ (principal diferença: ele só pode conter bytes codificados em UTF-8 e nunca usará uma otimização de string pequena).
- Strings de byte permitem que você crie um valor `&[u8]` diretamente:

  ```
  fn main() {
      println!("{:?}", b"abc");
      println!("{:?}", &[97, 98, 99]);
  }
  ```

- Strings brutas permitem que você crie um valor `&str` com caracteres de escape desabilitados: `r"\n" == "\\n"`. Você pode embutir aspas duplas utilizando uma quantidade igual de # em ambos os lados das aspas:

  ```
  fn main() {
      println!(r#"<a href="link.html">link</a>"#);
      println!("<a href=\"link.html\">link</a>");
  }
  ```

9.5 Exercício: Geometria

Vamos criar algumas funções de utilidade para geometria tridimensional, representando um ponto como `[f64;3]`. Cabe a você determinar as assinaturas das funções.

```
// Calcule a magnitude de um vetor somando os quadrados de suas coordenadas
// e tirando a raiz quadrada. Use o método `sqrt()` para calcular a raiz quadrada,
// como `v.sqrt()`.


fn magnitude(...) -> f64 {
```

```
    todo!()
}

// Normalize um vetor calculando sua magnitude e dividindo todas as suas
// coordenadas por essa magnitude.


fn normalize(...) {
    todo!()
}

// Use o seguinte `main` para testar seu trabalho.

fn main() {
    println!("Magnitude de um vetor unitário: {}", magnitude(&[0.0, 1.0, 0.0]));

    let mut v = [1.0, 2.0, 9.0];
    println!("Magnitude de {v:?}: {}", magnitude(&v));
    normalize(&mut v);
    println!("Magnitude de {v:?} após normalização: {}", magnitude(&v));
}
```

9.5.1 Solução

```
/// Calcule a magnitude do vetor dado.
fn magnitude(vector: &[f64; 3]) -> f64 {
    let mut mag_squared = 0.0;
    for coord in vector {
        mag_squared += coord * coord;
    }
    mag_squared.sqrt()
}

/// Altere a magnitude do vetor para 1.0 sem alterar sua direção.
fn normalize(vector: &mut [f64; 3]) {
    let mag = magnitude(vector);
    for item in vector {
        *item /= mag;
    }
}

fn main() {
    println!("Magnitude de um vetor unitário: {}", magnitude(&[0.0, 1.0, 0.0]));

    let mut v = [1.0, 2.0, 9.0];
    println!("Magnitude de {v:?}: {}", magnitude(&v));
    normalize(&mut v);
    println!("Magnitude de {v:?} após normalização: {}", magnitude(&v));
}
```

Capítulo 10

Tipos Definidos pelo Usuário

This segment should take about 50 minutes. It contains:

Slide	Duration
Structs (Estruturas) Nomeadas	10 minutes
Structs de Tuplas	10 minutes
Enums (Enumerações)	5 minutes
Static	5 minutes
Aliases (Apelidos) de Tipo	2 minutes
Exercício: Eventos de Elevador	15 minutes

10.1 Structs (Estruturas) Nomeadas

Como C e C++, Rust tem suporte para `structs` personalizadas:

```
struct Person {
    name: String,
    age: u8,
}

fn describe(person: &Person) {
    println!("{} tem {} anos.", person.name, person.age);
}

fn main() {
    let mut peter = Person { name: String::from("Peter"), age: 27 };
    describe(&peter);

    peter.age = 28;
    describe(&peter);

    let name = String::from("Avery");
    let age = 39;
    let avery = Person { name, age };
```

```
    describe(&avery);

    let jackie = Person { name: String::from("Jackie"), ..avery };
    describe(&jackie);
}
```

Pontos Chave:

- Structs funcionam como em C ou C++.
  - Como em C++, e ao contrário de C, nenhum `typedef` é necessário para definir um tipo.
  - Ao contrário do C++, não há herança entre *structs*.
- Este pode ser um bom momento para que as pessoas saibam que existem diferentes tipos de *structs*.
  - *Structs* de tamanho zero (por exemplo, `struct Foo;`) podem ser usadas ao implementar um *trait* em algum tipo, mas não possuem nenhum dado que você deseja armazenar nelas.
  - O próximo slide apresentará as *structs* de tuplas usadas quando o nome dos campos não são importantes.
- Se você já tiver variáveis com os nomes corretos, poderá criar a *struct* usando uma abreviação.
- A sintaxe `..avery` permite copiar a maioria dos campos de uma *struct* sem precisar explicitar seus tipos. Ela deve ser sempre o último elemento.

10.2 Structs de Tuplas

Se os nomes dos campos não forem importantes, você pode usar uma *struct* de tupla:

```
struct Point(i32, i32);

fn main() {
    let p = Point(17, 23);
    println!("({}, {})", p.0, p.1);
}
```

Isso é comumente utilizado para *wrappers* (invólucros) com campo único (chamados *newtypes*):

```
struct PoundsOfForce(f64);
struct Newtons(f64);

fn compute_thruster_force() -> PoundsOfForce {
    todo!("Pergunte para um cientista de foguetes da NASA")
}

fn set_thruster_force(force: Newtons) {
    // ...
}

fn main() {
    let force = compute_thruster_force();
    set_thruster_force(force);
```

```
}
```

- *Newtypes* são uma ótima maneira de codificar informações adicionais sobre o valor em um tipo primitivo, por exemplo:
  - O número é medido em algumas unidades: `Newtons` no exemplo acima.
  - O valor passou por alguma validação quando foi criado, então não é preciso validá-lo novamente a cada uso: `PhoneNumber(String)` ou `OddNumber(u32)`.
- Demonstre como somar um valor `f64` em um valor do tipo `Newtons` acessando o campo único no *newtype*.
  - Geralmente, Rust não gosta de coisas implícitas, como *unwrapping* automático ou, por exemplo, usar booleanos como inteiros.
  - Sobrecarga de operadores é discutido no Dia 3 (genéricos).
- O examplo é uma referência sutil a falha do Orbitador Climático de Marte.

10.3 Enums (Enumerações)

A palavra-chave `enum` permite a criação de um tipo que possui algumas variantes diferentes:

```
enum Direction {
    Left,
    Right,
}

enum PlayerMove {
    Pass,                       // Variante simples
    Run(Direction),             // Variante tupla
    Teleport { x: u32, y: u32 }, // Variante struct
}

fn main() {
    let m: PlayerMove = PlayerMove::Run(Direction::Left);
    println!("Nesta rodada: {:?}", m);
}
```

Pontos Chave:

- Enumerações permitem coletar um conjunto de valores em um tipo.
- `Direction` é um tipo com variantes. Existem dois valores de `Direction`: `Direction::Left` e `Direction::Right`.
- `PlayerMove` é um tipo com três variantes. Além dos *payloads*, o Rust armazenará um discriminante para que ele saiba em tempo de execução qual variante está em um valor `PlayerMove`.
- Este pode ser um bom momento para comparar structs e enums:
  - Em ambos, você pode ter uma versão simples sem campos (*unit struct*, ou estrutura unitária) ou uma com diferentes tipos de campo (*variant payloads* ou *cargas de variante*).
  - Você pode até mesmo implementar as diferentes variantes de uma *enum* com *structs* separadas, mas elas não seriam do mesmo tipo, como seriam se todas fossem definidas em uma *enum*.
- O Rust usa espaço mínimo para armazenar o discriminante.
  - Se necessário, armazena um inteiro do menor tamanho necessário

- Se os valores de variante permitidos não cobrirem todos os padrões de bits, ele usará padrões de bits inválidos para codificar o discriminante (a "otimização de nicho"). Por exemplo, `Option<&u8>` armazena um ponteiro para um inteiro ou `NULL` para a variante `None`.
- É possível controlar o discriminante se necessário (p.ex., para compatibilidade com C):

```
enum Bar {
    A, // 0
    B = 10000,
    C, // 10001
}

fn main() {
    println!("A: {}", Bar::A as u32);
    println!("B: {}", Bar::B as u32);
    println!("C: {}", Bar::C as u32);
}
```

Sem `repr`, o tipo do discriminante usa 2 bytes, porque 10001 cabe em 2 bytes.

Mais para Explorar

O Rust tem várias otimizações que pode empregar para fazer com que as enums ocupem menos espaço.

- Otimização de ponteiro nulo: para alguns tipos, o Rust garante que `size_of::<T>()` é igual a `size_of::<Option<T>>()`.

  Código de exemplo caso queira mostrar como a representação em bits *pode* ser na prática. É importante apontar que o compilador não oferece nenhuma garantia a respeito dessa representação, portanto isso é completamente inseguro.

```
use std::mem::transmute;

macro_rules! dbg_bits {
    ($e:expr, $bit_type:ty) => {
        println!("- {}: {:#x}", stringify!($e), transmute::<_, $bit_type>($e));
    };
}

fn main() {
    unsafe {
        println!("bool:");
        dbg_bits!(false, u8);
        dbg_bits!(true, u8);

        println!("Option<bool>:");
        dbg_bits!(None::<bool>, u8);
        dbg_bits!(Some(false), u8);
        dbg_bits!(Some(true), u8);

        println!("Option<Option<bool>>:");
        dbg_bits!(Some(Some(false)), u8);
```

```
            dbg_bits!(Some(Some(true)), u8);
            dbg_bits!(Some(None::<bool>), u8);
            dbg_bits!(None::<Option<bool>>, u8);

            println!("Option<&i32>:");
            dbg_bits!(None::<&i32>, usize);
            dbg_bits!(Some(&0i32), usize);
        }
    }
```

10.4 `static`

Variáveis estáticas permanecerão válidas durante toda a execução do programa e, portanto, não serão movidas:

```
static BANNER: &str = "Bem-vindos ao RustOS 3.14";

fn main() {
    println!("{BANNER}");
}
```

Conforme observado no Rust RFC Book, eles não são expandidos no local (*inlined*) quando utilizados e possuem um local de memória real associado. Isso é útil para código inseguro (*unsafe*) e embarcado, e a variável é válida durante toda a execução do programa. Quando um valor de escopo global não tem uma razão para precisar de identidade de objeto, geralmente `const` é preferido.

- `static` é similar a variáveis globais mutáveis em C++.
- `static` fornece identidade de objeto: um endereço na memória e estado conforme exigido por tipos com mutabilidade interior tais como `Mutex<T>`.

Mais para Explorar

Como variáveis estáticas (`static`) são acessíveis de qualquer *thread*, elas precisam ser `Sync`. A mutabilidade interior é possível através de um `Mutex`, atômico ou similar.

Dados locais da thread podem ser criados com a macro `std::thread_local`.

10.5 `const`

Constantes são avaliadas em tempo de compilação e seus valores são expandidos no próprio local (*inlined*) onde quer que sejam usados:

```
const DIGEST_SIZE: usize = 3;
const ZERO: Option<u8> = Some(42);

fn compute_digest(text: &str) -> [u8; DIGEST_SIZE] {
    let mut digest = [ZERO.unwrap_or(0); DIGEST_SIZE];
    for (idx, &b) in text.as_bytes().iter().enumerate() {
        digest[idx % DIGEST_SIZE] = digest[idx % DIGEST_SIZE].wrapping_add(b);
```

```
    }
    digest
}

fn main() {
    let digest = compute_digest("Hello");
    println!("digest: {digest:?}");
}
```

De acordo com o Rust RFC Book, eles são expandidos no próprio local (*inline*) quando utilizados.

Somente funções marcadas como `const` podem ser chamadas em tempo de compilação para gerar valores `const`. As funções `const` podem, entretanto, ser chamadas em tempo de execução.

- Mencione que `const` se comporta semanticamente de maneira similar ao `constexpr` de C++.
- Não é muito comum que alguém precise de uma constante avaliada em tempo de execução, mas é útil e mais seguro do que usar uma variável estática.

10.6 Aliases (Apelidos) de Tipo

Um *alias* de tipo cria um nome para outro tipo. Os dois tipos podem ser usados de forma intercambiável.

```
enum CarryableConcreteItem {
    Left,
    Right,
}

type Item = CarryableConcreteItem;

// _Aliases_ são mais úteis com tipos longos e complexos:
use std::cell::RefCell;
use std::sync::{Arc, RwLock};
type PlayerInventory = RwLock<Vec<Arc<RefCell<Item>>>>;
```

Programadores C reconhecerão isso como semelhante a um `typedef`.

10.7 Exercício: Eventos de Elevador

Vamos criar uma estrutura de dados para representar um evento em um sistema de controle de elevador. Cabe a você definir os tipos e funções para construir vários eventos. Use `#[derive(Debug)]` para permitir que os tipos sejam formatados com `{:?}`.

Este exercício requer apenas a criação e o preenchimento de estruturas de dados para que o `main` seja executado sem erros. A próxima parte do curso abordará a obtenção de dados dessas estruturas.

```
/// Um evento no sistema de elevador ao qual o controlador deve reagir.
enum Event {
```

```rust
    // TODO: adicionar variantes necessárias
}

/// Uma direção da viagem.
enum Direction {
    Up,
    Down,
}

/// O elevador chegou no andar dado.
fn car_arrived(floor: i32) -> Event {
    todo!()
}

/// As portas do elevador se abriram.
fn car_door_opened() -> Event {
    todo!()
}

/// As portas do elevador se fecharam.
fn car_door_closed() -> Event {
    todo!()
}

/// Um botão direcional foi pressionado em um saguão de elevador no andar dado.
fn lobby_call_button_pressed(floor: i32, dir: Direction) -> Event {
    todo!()
}

/// Um botão de andar foi pressionado no elevador.
fn car_floor_button_pressed(floor: i32) -> Event {
    todo!()
}

fn main() {
    println!(
        "Um passageiro do térreo pressionou o botão para subir: {:?}",
        lobby_call_button_pressed(0, Direction::Up)
    );
    println!("O elevador chegou no térreo: {:?}", car_arrived(0));
    println!("A porta do elevador se abriu: {:?}", car_door_opened());
    println!(
        "Um passageiro pressionou o botão do 3º andar: {:?}",
        car_floor_button_pressed(3)
    );
    println!("A porta do elevador se fechou: {:?}", car_door_closed());
    println!("O elevador chegou no 3º andar: {:?}", car_arrived(3));
}
```

10.7.1 Solução

```rust
/// Um evento no sistema de elevador ao qual o controlador deve reagir.
enum Event {
    /// Um botão foi pressionado.
    ButtonPressed(Button),

    /// O elevador chegou no andar dado.
    CarArrived(Floor),

    /// As portas do elevador se abriram.
    CarDoorOpened,

    /// As portas do elevador se fecharam.
    CarDoorClosed,
}

/// Um andar é representado como um inteiro.
type Floor = i32;

/// Uma direção da viagem.
enum Direction {
    Up,
    Down,
}

/// Um botão acessível ao usuário.
enum Button {
    /// Um botão no saguão do elevador no andar dado.
    LobbyCall(Direction, Floor),

    /// Um botão de andar dentro do elevador.
    CarFloor(Floor),
}

/// O elevador chegou no andar dado.
fn car_arrived(floor: i32) -> Event {
    Event::CarArrived(floor)
}

/// As portas do elevador se abriram.
fn car_door_opened() -> Event {
    Event::CarDoorOpened
}

/// As portas do elevador se fecharam.
fn car_door_closed() -> Event {
    Event::CarDoorClosed
}

/// Um botão direcional foi pressionado em um saguão de elevador no andar dado.
```

```rust
fn lobby_call_button_pressed(floor: i32, dir: Direction) -> Event {
    Event::ButtonPressed(Button::LobbyCall(dir, floor))
}

/// Um botão de andar foi pressionado no elevador.
fn car_floor_button_pressed(floor: i32) -> Event {
    Event::ButtonPressed(Button::CarFloor(floor))
}

fn main() {
    println!(
        "Um passageiro do térreo pressionou o botão para subir: {:?}",
        lobby_call_button_pressed(0, Direction::Up)
    );
    println!("O elevador chegou no térreo: {:?}", car_arrived(0));
    println!("A porta do elevador se abriu: {:?}", car_door_opened());
    println!(
        "Um passageiro pressionou o botão do 3º andar: {:?}",
        car_floor_button_pressed(3)
    );
    println!("A porta do elevador se fechou: {:?}", car_door_closed());
    println!("O elevador chegou no 3º andar: {:?}", car_arrived(3));
}
```

Parte III

Dia 2: Manhã

Capítulo 11

Bem-vindos ao Dia 2

Agora que vimos uma boa quantidade de Rust, hoje focaremos no sistema de tipos do Rust:

- Correspondência de padrões: extraindo de dados de estruturas.
- Métodos: associando funções com tipos.
- Traits: comportamentos compartilhados por múltiplos tipos.
- Genéricos: parametrizando tipos em outros tipos.
- Tipos e traits da biblioteca padrão: um passeio pela rica biblioteca padrão do Rust.

Agenda

Including 10 minute breaks, this session should take about 2 hours and 10 minutes. It contains:

Segment	Duration
Bem-vindos	3 minutes
Correspondência de Padrões	1 hour
Métodos e Traits	50 minutes

Capítulo 12

Correspondência de Padrões

This segment should take about 1 hour. It contains:

Slide	Duration
Correspondendo Valores	10 minutes
Desestruturando Structs	4 minutes
Desestruturando Enums	4 minutes
Controle de Fluxo Let	10 minutes
Exercício: Avaliação de Expressões	30 minutes

12.1 Correspondendo Valores

A palavra-chave `match` permite que você corresponda um valor a um ou mais *padrões* (*patterns*). As comparações são feitas de cima para baixo e a primeira correspondência encontrada é selecionada.

Os padrões podem ser valores simples, similarmente a `switch` em C e C++:

```
fn main() {
    let input = 'x';
    match input {
        'q'                       => println!("Encerrando"),
        'a' | 's' | 'w' | 'd'     => println!("Movendo por aí"),
        '0'..='9'                 => println!("Entrada de número"),
        key if key.is_lowercase() => println!("Minúsculas: {key}"),
        _                         => println!("Alguma outra coisa"),
    }
}
```

O padrão _ é um padrão curinga que corresponde a qualquer valor. As expressões *devem* ser irrefutáveis, o que significa que cobre todas as possibilidades, então _ é frequentemente usado como o último caso de captura.

Correspondência pode ser usada como uma expressão. Assim como `if`, cada braço de correspondência deve ter o mesmo tipo. O tipo é a última expressão do bloco, se houver. No

exemplo acima, o tipo é `()`.

Uma variável no padrão (key neste exemplo) criará uma ligação que pode ser usada dentro do braço de correspondência.

Uma guarda de correspondência faz com que o braço corresponda somente se a condição for verdadeira.

Pontos Chave:

- Você pode apontar como alguns caracteres específicos podem ser usados em um padrão
  - `|` como um `or`
  - `..` pode expandir o quanto for necessário
  - `1..=5` representa um intervalo inclusivo
  - `_` é um curinga
- Guardas de correspondência, como um recurso de sintaxe separado, são importantes e necessárias quando se quer expressar ideias mais complexas do que somente o padrão permitiria.
- Eles não são iguais à expressão `if` separada dentro do bloco de correspondência. Uma expressão `if` dentro do bloco de ramificação (depois de `=>`) acontece depois que a correspondência é selecionada. A falha na condição `if` dentro desse bloco não resultará em outras verificações de correspondência da expressão `match` original serem consideradas.
- A condição definida na guarda se aplica a todas as expressões em um padrão com um `|`.

12.2 Structs

Como tuplas, *structs* também podem ser desestruturados por meio de correspondência:

```
struct Foo {
    x: (u32, u32),
    y: u32,
}

fn main() {
    let foo = Foo { x: (1, 2), y: 3 };
    match foo {
        Foo { x: (1, b), y } => println!("x.0 = 1, b = {b}, y = {y}"),
        Foo { y: 2, x: i }   => println!("y = 2, x = {i:?}"),
        Foo { y, .. }        => println!("y = {y}, outros campos foram ignorados"),
    }
}
```

- Modifique os valores em `foo` para corresponder com os outros padrões.
- Adicione um novo campo a `Foo` e faça mudanças nos padrões conforme necessário.
- A diferença entre uma captura (*capture*) e uma expressão constante pode ser difícil de perceber. Tente modificar o `2` no segundo braço para uma variável, e veja que, de forma sútil, não funciona. Mude para `const` e veja funcionando novamente.

12.3 Enums (Enumerações)

Como tuplas, *enums* também podem ser desestruturados por meio de correspondência:

Os padrões também podem ser usados para vincular variáveis a partes de seus valores. É assim que você inspeciona a estrutura de seus tipos. Vamos começar com um tipo enum simples:

```
enum Result {
    Ok(i32),
    Err(String),
}

fn divide_in_two(n: i32) -> Result {
    if n % 2 == 0 {
        Result::Ok(n / 2)
    } else {
        Result::Err(format!("não é possível dividir {n} em duas partes iguais"))
    }
}

fn main() {
    let n = 100;
    match divide_in_two(n) {
        Result::Ok(half) => println!("{n} divido em dois é {half}"),
        Result::Err(msg) => println!("desculpe, aconteceu um erro: {msg}"),
    }
}
```

Aqui usamos a verificação de correspondência para *desestruturar* o valor contido em `Result`. Na primeira verificação de correspondência, `half` está vinculado ao valor dentro da variante `Ok`. Na segunda, `msg` está vinculado à mensagem de erro.

- A expressão `if`/`else` está retornando um `enum` que é posteriormente descompactado com um `match`.
- Você pode tentar adicionar uma terceira variante à definição de Enum e exibir os erros ao executar o código. Aponte os lugares onde seu código agora é "não exaustivo" e como o compilador tenta lhe dar dicas.
- Os valores nas variantes de uma *enum* só podem ser acessados após uma correspondência de padrão.
- Demonstre o que acontece quando a busca não abrange todas as possibilidades. Observe a vantagem que o compilador Rust fornece ao confirmar quando todos os casos são tratados.
- Salve o resultado de `divide_in_two` na variável `result` e faça uma correspondência de padrão (`match`) em um loop. Isso não irá compilar porque `msg` é consumido quando correspondido. Para corrigir, faça uma correspondência de padrão em `&result` ao invés de `result`. Isso fará com que `msg` seja uma referência, de forma que não será consumido. Essa "ergonomia de correspondência" apareceu no Rust 2018. Se você quiser suportar versões mais antigas do Rust, substitua `msg` por `ref msg` no padrão.

12.4 Controle de Fluxo Let

Rust possui algumas construções de fluxo de controle que diferem de outras linguagens. Elas são usadas para correspondência de padrões:

- Expressões `if let`
- Expressões `let else`
- Expressões `while let`

Expressões `if let`

A expressão `if let` lhe permite executar um código diferente caso um valor corresponde a um padrão:

```
use std::time::Duration;

fn sleep_for(secs: f32) {
    if let Ok(dur) = Duration::try_from_secs_f32(secs) {
        std::thread::sleep(dur);
        println!("dormiu por {:?}", dur);
    }
}

fn main() {
    sleep_for(-10.0);
    sleep_for(0.8);
}
```

Expressões `let else`

Para o caso comum de corresponder a um padrão e retornar da função, use `let else`. O caso "else" deve divergir (`return`, `break` ou pânico - qualquer coisa, exceto cair no final do bloco).

```
fn hex_or_die_trying(maybe_string: Option<String>) -> Result<u32, String> {
    let s = if let Some(s) = maybe_string {
        s
    } else {
        return Err(String::from("obteve None"));
    };

    let first_byte_char = if let Some(first_byte_char) = s.chars().next() {
        first_byte_char
    } else {
        return Err(String::from("obteve uma string vazia"));
    };

    if let Some(digit) = first_byte_char.to_digit(16) {
        Ok(digit)
    } else {
```

```
        Err(String::from("não é um dígito hexadecimal"))
    }
}

fn main() {
    println!("result: {:?}", hex_or_die_trying(Some(String::from("foo"))));
}
```

Similar a `if let`, há uma variante `while let` que testa repetidamente se um valor corresponde a um padrão:

```
fn main() {
    let mut name = String::from("Comprehensive Rust 🦀");
    while let Some(c) = name.pop() {
        println!("character: {c}");
    }
    // (There are more efficient ways to reverse a string!)
}
```

Aqui `String::pop` retorna `Some(c)` até que a string esteja vazia e depois ela retornará `None`. O `while let` nos permite iterar por todos os itens.

if-let

- Ao contrário de `match`, `if let` não precisa cobrir todas as ramificações. Isso pode torná-lo mais conciso do que `match`.
- Um uso comum é lidar com valores `Some` ao trabalhar-se com `Option`.
- Ao contrário de `match`, `if let` não suporta cláusulas de guarda para correspondência de padrões.

let-else

`if-lets` podem se acumular, como mostrado. A construção `let-else` permite o "achatamento" desse código aninhado. Reescreva a versão "estranha" para os alunos, para que eles possam ver a transformação.

A versão reescrita é:

```
fn hex_or_die_trying(maybe_string: Option<String>) -> Result<u32, String> {
    let Some(s) = maybe_string else {
        return Err(String::from("obteve None"));
    };

    let Some(first_byte_char) = s.chars().next() else {
        return Err(String::from("obteve uma string vazia"));
    };

    let Some(digit) = first_byte_char.to_digit(16) else {
        return Err(String::from("não é um dígito hexadecimal"));
    };

    return Ok(digit);
}
```

while-let

- Ressalte que o loop `while let` continuará executando enquanto o valor corresponder ao padrão.
- Você pode reescrever o loop `while let` como um loop infinito com uma instrução `if` que é interrompido quando não houver mais nenhum valor para *unwrap* (desempacotar) para `name.pop()`. O `while let` fornece um atalho para o cenário acima.

12.5 Exercício: Avaliação de Expressões

Vamos escrever um interpretador recursivo simples para expressões aritméticas.

O tipo `Box` aqui é um ponteiro inteligente (*smart pointer*) e será abordado em detalhes mais adiante no curso. Uma expressão pode ser "encaixotada" com `Box::new` como visto nos testes. Para avaliar uma expressão encaixotada, use o operador de desreferência (`*`) para o "desencaixotar": `eval(*boxed_expr)`.

Algumas expressões não podem ser avaliadas e retornarão um erro. O tipo padrão `Result<Value, String>` é um enum que representa um valor de sucesso (`Ok(Value)`) ou um erro (`Err(String)`). Abordaremos esse tipo em detalhes mais adiante.

Copie e cole o código no playground do Rust e comece a implementar `eval`. O produto final deve passar nos testes. Pode ser útil usar `todo!()` e fazer os testes passarem um por um. Você também pode ignorar um teste temporariamente com `#[ignore]`:

```
#[test]
#[ignore]
fn test_value() { .. }
```

Se você terminar cedo, tente escrever um teste que resulte em divisão por zero ou *integer overflow*. Como você poderia lidar com isso com `Result` em vez de um pânico?

```
/// Uma operação a ser realizada em duas subexpressões.
enum Operation {
    Add,
    Sub,
    Mul,
    Div,
}

/// Uma expressão, em forma de árvore.
enum Expression {
    /// Uma operação em duas subexpressões.
    Op { op: Operation, left: Box<Expression>, right: Box<Expression> },

    /// Um valor literal
    Value(i64),
}

fn eval(e: Expression) -> Result<i64, String> {
    todo!()
}
```

```rust
fn test_value() {
    assert_eq!(eval(Expression::Value(19)), Ok(19));
}

fn test_sum() {
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Add,
            left: Box::new(Expression::Value(10)),
            right: Box::new(Expression::Value(20)),
        }),
        Ok(30)
    );
}

fn test_recursion() {
    let term1 = Expression::Op {
        op: Operation::Mul,
        left: Box::new(Expression::Value(10)),
        right: Box::new(Expression::Value(9)),
    };
    let term2 = Expression::Op {
        op: Operation::Mul,
        left: Box::new(Expression::Op {
            op: Operation::Sub,
            left: Box::new(Expression::Value(3)),
            right: Box::new(Expression::Value(4)),
        }),
        right: Box::new(Expression::Value(5)),
    };
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Add,
            left: Box::new(term1),
            right: Box::new(term2),
        }),
        Ok(85)
    );
}

fn test_error() {
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Div,
            left: Box::new(Expression::Value(99)),
            right: Box::new(Expression::Value(0)),
        }),
        Err(String::from("divisão por zero"))
    );
}
```

12.5.1 Solução

```
/// Uma operação a ser realizada em duas subexpressões.
enum Operation {
    Add,
    Sub,
    Mul,
    Div,
}

/// Uma expressão, em forma de árvore.
enum Expression {
    /// Uma operação em duas subexpressões.
    Op { op: Operation, left: Box<Expression>, right: Box<Expression> },

    /// Um valor literal
    Value(i64),
}

fn eval(e: Expression) -> Result<i64, String> {
    match e {
        Expression::Op { op, left, right } => {
            let left = match eval(*left) {
                Ok(v) => v,
                e @ Err(_) => return e,
            };
            let right = match eval(*right) {
                Ok(v) => v,
                e @ Err(_) => return e,
            };
            Ok(match op {
                Operation::Add => left + right,
                Operation::Sub => left - right,
                Operation::Mul => left * right,
                Operation::Div => {
                    if right == 0 {
                        return Err(String::from("divisão por zero"));
                    } else {
                        left / right
                    }
                }
            })
        }
        Expression::Value(v) => Ok(v),
    }
}

fn test_value() {
    assert_eq!(eval(Expression::Value(19)), Ok(19));
}
```

```
fn test_sum() {
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Add,
            left: Box::new(Expression::Value(10)),
            right: Box::new(Expression::Value(20)),
        }),
        Ok(30)
    );
}

fn test_recursion() {
    let term1 = Expression::Op {
        op: Operation::Mul,
        left: Box::new(Expression::Value(10)),
        right: Box::new(Expression::Value(9)),
    };
    let term2 = Expression::Op {
        op: Operation::Mul,
        left: Box::new(Expression::Op {
            op: Operation::Sub,
            left: Box::new(Expression::Value(3)),
            right: Box::new(Expression::Value(4)),
        }),
        right: Box::new(Expression::Value(5)),
    };
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Add,
            left: Box::new(term1),
            right: Box::new(term2),
        }),
        Ok(85)
    );
}

fn test_error() {
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Div,
            left: Box::new(Expression::Value(99)),
            right: Box::new(Expression::Value(0)),
        }),
        Err(String::from("divisão por zero"))
    );
}

fn main() {
    let expr = Expression::Op {
        op: Operation::Sub,
        left: Box::new(Expression::Value(20)),
```

```
        right: Box::new(Expression::Value(10)),
    };
    println!("expr: {:?}", expr);
    println!("result: {:?}", eval(expr));
}
```

Capítulo 13

Métodos e Traits

This segment should take about 50 minutes. It contains:

Slide	Duration
Métodos	10 minutes
Traits	15 minutes
Derivando	3 minutes
Exercício: Logger Genérico	20 minutes

13.1 Métodos

Rust permite que você associe funções aos seus novos tipos. Você faz isso com um bloco `impl`:

```
struct Race {
    name: String,
    laps: Vec<i32>,
}

impl Race {
    // Sem receptor, um método estático
    fn new(name: &str) -> Self {
        Self { name: String::from(name), laps: Vec::new() }
    }

    // Empréstimo único com acesso de leitura e escrita em self
    fn add_lap(&mut self, lap: i32) {
        self.laps.push(lap);
    }

    // Empréstimo compartilhado com acesso apenas de leitura em self
    fn print_laps(&self) {
        println!("Registrou {} voltas para {}:", self.laps.len(), self.name);
        for (idx, lap) in self.laps.iter().enumerate() {
            println!("Volta {idx}: {lap} seg");
```

```
        }
    }

    // Propriedade exclusiva de self
    fn finish(self) {
        let total: i32 = self.laps.iter().sum();
        println!("Corrida {} foi encerrada, tempo total de voltas: {}", self.name, total
    }
}

fn main() {
    let mut race = Race::new("Monaco Grand Prix");
    race.add_lap(70);
    race.add_lap(68);
    race.print_laps();
    race.add_lap(71);
    race.print_laps();
    race.finish();
    // race.add_lap(42);
}
```

Os argumentos `self` especificam o "receptor" - o objeto em que o método age. Existem vários receptores comuns para um método:

- `&self`: pega emprestado o objeto do chamador como uma referência compartilhada e imutável. O objeto pode ser usado novamente depois.
- `&mut self`: pega emprestado o objeto do chamador como uma referência única e mutável. O objeto pode ser usado novamente depois.
- `self`: toma posse do objeto e o move do chamador. O método se torna o proprietário do objeto. O objeto será descartado (desalocado) quando o método retorna, a menos que sua *ownership* (posse) seja explicitamente transmitida. Posse completa não significa automaticamente mutabilidade.
- `mut self`: o mesmo que acima, mas o método pode modificar o objeto.
- Sem receptor: isso se torna um método estático (*static*) no struct. Normalmente usado para criar construtores que, por convenção, são chamados new.

Pontos Chave:

- Pode ser útil introduzir métodos comparando-os com funções.
  - Métodos são chamados em uma instância de um tipo (como *struct* ou *enum*), o primeiro parâmetro representa a instância como `self`.
  - Desenvolvedores podem optar por usar métodos para aproveitar a sintaxe do receptor do método e ajudar a mantê-los mais organizados. Usando métodos, podemos manter todo o código de implementação em um local previsível.
- Destaque o uso da palavra-chave `self`, um receptor de método.
  - Mostre que é um termo abreviado para `self: Self` e talvez mostre como o nome da *struct* também poderia ser usado.
  - Explique que `Self` é um alias de tipo para o tipo em que o bloco `impl` está e pode ser usado em qualquer outro lugar no bloco.
  - Observe como `self` é usado como outras *structs* e a notação de ponto pode ser usada para se referir a campos individuais.
  - Este pode ser um bom momento para demonstrar como `&self` difere de `self` modificando o código e tentando executar `finish` duas vezes.

  - Além das variantes de `self`, também existem tipos especiais de *wrapper* que podem ser tipos de receptores, como `Box<Self>`.

13.2 Traits

Rust permite abstrair características dos tipos usando `trait`. Eles são semelhantes a interfaces:

```
trait Pet {
    /// Retorna uma frase deste animal de estimação.
    fn talk(&self) -> String;

    /// Imprime uma string no terminal saudando este animal de estimação.
    fn greet(&self);
}
```

- Um *trait* define um número de métodos que os tipos devem ter para implementar o *trait*.
- No segmento "Genéricos", a seguir, veremos como construir funcionalidades que são genéricas para todos os tipos que implementam um *trait*.

13.2.1 Implementando Traits

```
trait Pet {
    fn talk(&self) -> String;

    fn greet(&self) {
        println!("Oh, você é adorável! Qual é o seu nome? {}", self.talk());
    }
}

struct Dog {
    name: String,
    age: i8,
}

impl Pet for Dog {
    fn talk(&self) -> String {
        format!("Auau, meu nome é {}", self.name)
    }
}

fn main() {
    let fido = Dog { name: String::from("Bidu"), age: 5 };
    fido.greet();
}
```

- Para implementar `Trait` para `Type`, você usa um bloco `impl Trait for Type { .. }`.

- Ao contrário das interfaces Go, apenas ter métodos correspondentes não é suficiente: um tipo `Cat` com um método `talk()` não satisfaria automaticamente `Pet` a menos que esteja em um bloco `impl Pet`.
- Os *traits* podem fornecer implementações padrão de alguns métodos. As implementações padrão podem depender de todos os métodos do *trait*. Neste caso, `greet` é fornecido e depende de `talk`.

13.2.2 Supertraits

Um *trait* pode exigir que os tipos que o implementam também implementem outros *traits*, chamados *supertraits*. Aqui, qualquer tipo que implemente `Pet` deve implementar `Animal`.

```
trait Animal {
    fn leg_count(&self) -> u32;
}

trait Pet: Animal {
    fn name(&self) -> String;
}

struct Dog(String);

impl Animal for Dog {
    fn leg_count(&self) -> u32 {
        4
    }
}

impl Pet for Dog {
    fn name(&self) -> String {
        self.0.clone()
    }
}

fn main() {
    let puppy = Dog(String::from("Rex"));
    println!("{} tem {} pernas", puppy.name(), puppy.leg_count());
}
```

Isso é às vezes chamado de ”herança de *trait*”, mas os alunos não devem esperar que isso se comporte como herança de Orientação a Objetos. Ele apenas especifica um requisito adicional nas implementações de um *trait*.

13.2.3 Tipos Associados

Tipos associados são tipos de espaço reservado que são fornecidos pela implementação do *trait*.

```
struct Meters(i32);
struct MetersSquared(i32);
```

```
trait Multiply {
    type Output;
    fn multiply(&self, other: &Self) -> Self::Output;
}

impl Multiply for Meters {
    type Output = MetersSquared;
    fn multiply(&self, other: &Self) -> Self::Output {
        MetersSquared(self.0 * other.0)
    }
}

fn main() {
    println!("{:?}", Meters(10).multiply(&Meters(20)));
}
```

- Os tipos associados são às vezes também chamados de ”tipos de saída”. A observação chave é que o implementador, e não o chamador, escolhe esse tipo.
- Muitos *traits* da biblioteca padrão têm tipos associados, incluindo operadores aritméticos e `Iterator`.

13.3 Derivando

Os *traits* suportados podem ser implementados automaticamente para seus tipos personalizados, como segue:

```
struct Player {
    name: String,
    strength: u8,
    hit_points: u8,
}

fn main() {
    let p1 = Player::default(); // O _trait_ `Default` adiciona um construtor `default`.
    let mut p2 = p1.clone(); // O _trait_ `Clone` adiciona um método `clone`.
    p2.name = String::from("EldurScrollz");
    // O _trait_ `Debug` adiciona suporte para impressão com `{:?}`.
    println!("{:?} vs. {:?}", p1, p2);
}
```

A derivação é implementada com macros e muitas *crates* fornecem macros de derivação úteis para adicionar funcionalidades úteis. Por exemplo, `serde` pode derivar suporte de serialização para uma *struct* usando `#[derive(Serialize)]`.

13.4 Exercício: *Trait* de Logger

Vamos projetar um utilitário de registro (*log*) simples, usando um *trait* `Logger` com um método `log`. O código que pode registrar seu progresso pode então receber um `&impl Logger`. Nos testes, isso pode colocar mensagens no arquivo de log de teste, enquanto em uma compilação de produção, ele enviaria mensagens para um servidor de log.

No entanto, o `StderrLogger` fornecido abaixo registra todas as mensagens, independentemente da verbosidade. Sua tarefa é escrever um tipo `VerbosityFilter` que ignorará mensagens acima de uma verbosidade máxima.

Este é um padrão comum: uma *struct* que envolve uma implementação de *trait* e implementa esse mesmo *trait*, adicionando comportamento no processo. Que outros tipos de *wrappers* podem ser úteis em um utilitário de registro?

```
use std::fmt::Display;

pub trait Logger {
    /// Registra uma mensagem no nível de verbosidade fornecido.
    fn log(&self, verbosity: u8, message: impl Display);
}

struct StderrLogger;

impl Logger for StderrLogger {
    fn log(&self, verbosity: u8, message: impl Display) {
        eprintln!("verbosidade={verbosity}: {message}");
    }
}

fn do_things(logger: &impl Logger) {
    logger.log(5, "PSC (_FYI_)");
    logger.log(2, "oh-oh");
}

// TODO: Definir e implementar `VerbosityFilter`.

fn main() {
    let l = VerbosityFilter { max_verbosity: 3, inner: StderrLogger };
    do_things(&l);
}
```

13.4.1 Solução

```
use std::fmt::Display;

pub trait Logger {
    /// Registra uma mensagem no nível de verbosidade fornecido.
    fn log(&self, verbosity: u8, message: impl Display);
}

struct StderrLogger;

impl Logger for StderrLogger {
    fn log(&self, verbosity: u8, message: impl Display) {
        eprintln!("verbosidade={verbosity}: {message}");
    }
}
```

```rust
fn do_things(logger: &impl Logger) {
    logger.log(5, "PSC (_FYI_)");
    logger.log(2, "oh-oh");
}

/// Registra apenas mensagens até o nível de verbosidade fornecido.
struct VerbosityFilter {
    max_verbosity: u8,
    inner: StderrLogger,
}

impl Logger for VerbosityFilter {
    fn log(&self, verbosity: u8, message: impl Display) {
        if verbosity <= self.max_verbosity {
            self.inner.log(verbosity, message);
        }
    }
}

fn main() {
    let l = VerbosityFilter { max_verbosity: 3, inner: StderrLogger };
    do_things(&l);
}
```

Parte IV

Dia 2: Tarde

Capítulo 14

Bem-vindos de volta

Including 10 minute breaks, this session should take about 3 hours and 15 minutes. It contains:

Segment	Duration
Genéricos (Generics)	45 minutes
Tipos da Biblioteca Padrão	1 hour
Traits da Biblioteca Padrão	1 hour and 10 minutes

Capítulo 15

Genéricos (Generics)

This segment should take about 45 minutes. It contains:

Slide	Duration
Funções Genéricas	5 minutes
Tipos de Dados Genéricos	10 minutes
Trait Bounds (Limites de Trait)	10 minutes
impl Trait	5 minutes
dyn Trait	5 minutes
Exercício: min Genérico	10 minutes

15.1 Funções Genéricas

Rust suporta genéricos, o que permite abstrair algoritmos ou estruturas de dados (como ordenação ou uma árvore binária) sobre os tipos usados ou armazenados.

```
/// Escolhe `even` (par) ou `odd` (ímpar) dependendo do valor de `n`.
fn pick<T>(n: i32, even: T, odd: T) -> T {
    if n % 2 == 0 {
        even
    } else {
        odd
    }
}

fn main() {
    println!("escolheu um número: {:?}", pick(97, 222, 333));
    println!("escolheu uma tupla: {:?}", pick(28, ("cachorro", 1), ("gato", 2)));
}
```

- Rust infere um tipo para T com base nos tipos dos argumentos e valor de retorno.
- Isto é semelhante aos *templates* C++, mas Rust compila parcialmente a função genérica imediatamente, de modo que a função deve ser válida para todos os tipos que correspondem às restrições. Por exemplo, tente modificar `pick` para retornar `even`

`+ odd` se `n == 0`. Mesmo que apenas a instância `pick` com inteiros seja usada, Rust ainda a considera inválida. C++ permitiria que você fizesse isso.

- O código genérico é transformado em código não genérico com base nos locais de chamada. Esta é uma abstração sem custo: você obtém exatamente o mesmo resultado como se tivesse codificado as estruturas de dados sem a abstração.

15.2 Tipos de Dados Genéricos

Você pode usar genéricos para abstrair o tipo concreto do campo:

```
struct Point<T> {
    x: T,
    y: T,
}

impl<T> Point<T> {
    fn coords(&self) -> (&T, &T) {
        (&self.x, &self.y)
    }

    fn set_x(&mut self, x: T) {
        self.x = x;
    }
}

fn main() {
    let integer = Point { x: 5, y: 10 };
    let float = Point { x: 1.0, y: 4.0 };
    println!("{integer:?} e {float:?}");
    println!("coords: {:?}", integer.coords());
}
```

- *Pergunta:* Por que `T` é especificado duas vezes em `impl<T> Point<T> {}`? Isso não é redundante?
  - Isso ocorre porque é uma seção de implementação genérica para tipo genérico. Eles são genéricos de forma independente.
  - Significa que esses métodos são definidos para qualquer `T`.
  - É possível escrever `impl Point<u32> { .. }`.
    - `Point` ainda é genérico e você pode usar `Point<f64>`, mas os métodos neste bloco só estarão disponíveis para `Point<u32>`.
- Tente declarar uma nova variável `let p = Point { x: 5, y: 10.0 };`. Atualize o código para permitir pontos que tenham elementos de tipos diferentes, usando duas variáveis de tipo, por exemplo, `T` e `U`.

15.3 Traits Genéricos

Traits também podem ser genéricos, assim como tipos e funções. Os parâmetros de um *trait* recebem tipos concretos quando ele é usado.

```rust
struct Foo(String);

impl From<u32> for Foo {
    fn from(from: u32) -> Foo {
        Foo(format!("Convertido de inteiro: {from}"))
    }
}

impl From<bool> for Foo {
    fn from(from: bool) -> Foo {
        Foo(format!("Convertido de booleano: {from}"))
    }
}

fn main() {
    let from_int = Foo::from(123);
    let from_bool = Foo::from(true);
    println!("{from_int:?}, {from_bool:?}");
}
```

- O *trait* `From` será abordado mais tarde no curso, mas sua definição na documentação `std` é simples.
- As implementações do *trait* não precisam cobrir todos os possíveis parâmetros de tipo. Aqui, `Foo::from("hello")` não seria compilado porque não há implementação `From<&str>` para `Foo`.
- Os *traits* genéricos recebem tipos como "entrada", enquanto os tipos associados são uma espécie de tipo de "saída". Um *trait* pode ter várias implementações para diferentes tipos de entrada.
- Na verdade, o Rust exige que no máximo uma implementação de um *trait* corresponda a qualquer tipo T. Ao contrário de algumas outras linguagens, o Rust não tem uma heurística para escolher a correspondência "mais específica". Há trabalho em adicionar esse suporte, chamado especialização.

15.4 Trait Bounds (Limites de Trait)

Ao trabalhar com genéricos, muitas vezes você exigir que os tipos implementem algum `trait` para poder utilizar os métodos do `trait`.

Você consegue fazer isso com `T:Trait` ou `impl Trait`:

```rust
fn duplicate<T: Clone>(a: T) -> (T, T) {
    (a.clone(), a.clone())
}

// struct NotClonable;

fn main() {
    let foo = String::from("foo");
    let pair = duplicate(foo);
```

```
    println!("{pair:?}");
}
```

- Tente criar um `NonClonable` e passá-lo para `duplicate`.
- Quando vários *traits* são necessários, use `+` para uni-los.
- Mostre uma cláusula `where`, estudantes irão encontrá-la quando lerem código.

```
fn duplicate<T>(a: T) -> (T, T)
where
    T: Clone,
{
    (a.clone(), a.clone())
}
```

  - Organiza a assinatura da função se você tiver muitos parâmetros.
  - Possui recursos adicionais tornando-o mais poderoso.
    - Se alguém perguntar, o recurso extra é que o tipo à esquerda de ":" pode ser arbitrário, como `Option<T>`.
- Observe que o Rust ainda não suporta especialização. Por exemplo, dada a função `duplicate` original, é inválido adicionar uma especialização `duplicate(a: u32)`.

15.5 `impl Trait`

Semelhante aos limites de *trait*, a sintaxe do *trait* `impl` pode ser usada em argumentos de funções e em valores de retorno:

```
// Código simplificado para:
//   fn add_42_millions<T: Into<i32>>(x: T) -> i32 {
fn add_42_millions(x: impl Into<i32>) -> i32 {
    x.into() + 42_000_000
}

fn pair_of(x: u32) -> impl std::fmt::Debug {
    (x + 1, x - 1)
}

fn main() {
    let many = add_42_millions(42_i8);
    println!("{many}");
    let many_more = add_42_millions(10_000_000);
    println!("{many_more}");
    let debuggable = pair_of(27);
    println!("debuggable: {debuggable:?}");
}
```

O `impl Trait` permite que você trabalhe com tipos que você não pode nomear. O significado de `impl Trait` é um pouco diferente nas diferentes posições.

- Como parâmetro, o *trait* `impl` é como um parâmetro genérico anônimo com um limitador de características (trait).

- Como tipo de retorno, significa que o tipo de retorno é algum tipo concreto que implementa o *trait*, sem nomear o tipo. Isso pode ser útil quando você não deseja expor o tipo concreto em uma API pública.

  A inferência é difícil na posição de retorno. Uma função que retorna `impl Foo` escolhe o tipo concreto que retorna, sem escrevê-lo na fonte. Uma função que retorna um tipo genérico como `collect<B>() -> B` pode retornar qualquer tipo que satisfaça `B`, e o chamador pode precisar escolher um, como com `let x: Vec<_> = foo.collect()` ou com o *turbofish*, `foo.collect::<Vec<_>>()`.

Qual é o tipo de `debuggable`? Tente `let debuggable: () = ..` para ver o que a mensagem de erro mostra.

15.6 `dyn Trait`

Além de usar *traits* para despacho estático via genéricos, o Rust também suporta usá-los para despacho dinâmico, apagamento de tipo, via objetos de *trait*:

```
struct Dog {
    name: String,
    age: i8,
}
struct Cat {
    lives: i8,
}

trait Pet {
    fn talk(&self) -> String;
}

impl Pet for Dog {
    fn talk(&self) -> String {
        format!("Auau, meu nome é {}", self.name)
    }
}

impl Pet for Cat {
    fn talk(&self) -> String {
        String::from("Miau!")
    }
}

// Usa genéricos e despacho estático.
fn generic(pet: &impl Pet) {
    println!("Olá, quem é você? {}", pet.talk());
}

// Usa apagamento de tipo e despacho dinâmico.
fn dynamic(pet: &dyn Pet) {
    println!("Olá, quem é você? {}", pet.talk());
}
```

```rust
fn main() {
    let cat = Cat { lives: 9 };
    let dog = Dog { name: String::from("Bidu"), age: 5 };

    generic(&cat);
    generic(&dog);

    dynamic(&cat);
    dynamic(&dog);
}
```

- Os genéricos, incluindo `impl Trait`, usam a monomorfização para criar uma instância especializada da função para cada tipo diferente com o qual o genérico é instanciado. Isso significa que chamar um método de *trait* de dentro de uma função genérica ainda usa despacho estático, pois o compilador tem todas as informações de tipo e pode resolver qual tipo de implementação do *trait* ele deverá utilizar.
- Quando se usa `dyn Trait`, ele usa despacho dinâmico através de uma tabela de métodos virtuais (vtable). Isso significa que há uma única versão de `fn dynamic` que é usada independentemente do tipo de `Pet` que é passado.
- Quando se usa `dyn Trait`, o objeto de *trait* precisa estar atrás de algum tipo de indireção. Neste caso, é uma referência, embora tipos de ponteiro inteligente (smart como `Box` também possam ser usados (isso será demonstrado no dia 3).
- Em tempo de execução, um `&dyn Pet` é representado como um "ponteiro gordo", ou seja, um par de dois ponteiros: Um ponteiro aponta para o objeto concreto que implementa `Pet`, e o outro aponta para a tabela de métodos virtuais para a implementação do *trait* para esse tipo. Ao chamar o método `talk` em `&dyn Pet`, o compilador procura o ponteiro de função para `talk` na tabela de métodos virtuais e então invoca a função, passando o ponteiro para o `Dog` ou `Cat` para essa função. O compilador não precisa saber o tipo concreto do `Pet` para fazer isso.
- Um `dyn Trait` é considerado "apagado de tipo", porque não temos mais conhecimento em tempo de compilação sobre qual é o tipo concreto.

15.7 Exercício: `min` Genérico

Neste exercício curto, você implementará uma função genérica `min` que determina o mínimo de dois valores, usando um *trait* `LessThan`.

```rust
use std::cmp::Ordering;

// TODO: implemente a função `min` usada em `main`.

fn main() {
    assert_eq!(min(0, 10), 0);
    assert_eq!(min(500, 123), 123);

    assert_eq!(min('a', 'z'), 'a');
    assert_eq!(min('7', '1'), '1');
```

```
    assert_eq!(min("olá", "até logo"), "até logo");
    assert_eq!(min("boi", "arara"), "arara");
}
```

- Mostre aos estudantes o *trait* `Ord` e o enum `Ordering`.

15.7.1 Solução

```
use std::cmp::Ordering;

fn min<T: Ord>(l: T, r: T) -> T {
    match l.cmp(&r) {
        Ordering::Less | Ordering::Equal => l,
        Ordering::Greater => r,
    }
}

fn main() {
    assert_eq!(min(0, 10), 0);
    assert_eq!(min(500, 123), 123);

    assert_eq!(min('a', 'z'), 'a');
    assert_eq!(min('7', '1'), '1');

    assert_eq!(min("olá", "até logo"), "até logo");
    assert_eq!(min("boi", "arara"), "arara");
}
```

Capítulo 16

Tipos da Biblioteca Padrão

This segment should take about 1 hour. It contains:

Slide	Duration
Biblioteca Padrão	3 minutes
Documentação	5 minutes
Option	10 minutes
Result	5 minutes
String	5 minutes
Vec	5 minutes
HashMap	5 minutes
Exercício: Contador	20 minutes

Para cada um dos slides desta seção, reserve um tempo para revisar as páginas de documentação, destacando alguns dos métodos mais comuns.

16.1 Biblioteca Padrão

Rust vem com uma biblioteca padrão (*standard library*) que ajuda a estabelecer um conjunto de tipos comuns usados por bibliotecas e programas Rust. Dessa forma, duas bibliotecas podem trabalhar juntas sem problemas porque ambas usam o mesmo tipo `String`.

Na verdade, o Rust contém várias camadas de Biblioteca Padrão: `core`, `alloc` e `std`.

- `core` inclui os tipos e funções mais básicos que não dependem de `libc`, alocador ou até mesmo a presença de um sistema operacional.
- `alloc` inclui tipos que requerem um alocador de heap global, tais como `Vec`, `Box` e `Arc`.
- Os aplicativos Rust embarcados geralmente usam apenas `core` e, às vezes, `alloc`.

16.2 Documentação

O Rust vem com uma extensa documentação. Por exemplo:

- Todos os detalhes sobre loops.
- Tipos primitivos como u8.
- Tipos da biblioteca padrão como Option ou BinaryHeap.

Na verdade, você pode documentar seu próprio código:

```
/// Determine se o primeiro argumento é divisível pelo segundo argumento.
///
/// Se o segundo argumento for zero, o resultado é falso.
fn is_divisible_by(lhs: u32, rhs: u32) -> bool {
    if rhs == 0 {
        return false;
    }
    lhs % rhs == 0
}
```

O conteúdo é tratado como *Markdown*. Todos os *crates* publicados na biblioteca Rust são documentados automaticamente em docs.rs utilizando a ferramenta rustdoc. É idiomático documentar todos os itens públicos em uma API usando este padrão.

Para documentar um item de dentro do item (como dentro de um módulo), use `//!` ou `/*!` .. `*/`, chamado de "comentários de documentação interna":

```
//! Este módulo contém funcionalidades relacionadas à divisibilidade de inteiros.
```

- Mostre aos alunos os documentos gerados para o crate `rand` em [https://docs.rs/rand.

16.3 Option

Já vimos algum uso de `Option<T>`. Ele armazena um valor do tipo `T` ou nada. Por exemplo, `String::find` retorna um `Option<usize>`.

```
fn main() {
    let name = "Löwe 老虎 Léopard Gepardi";
    let mut position: Option<usize> = name.find('é');
    println!("find retornou {position:?}");
    assert_eq!(position.unwrap(), 14);
    position = name.find('Z');
    println!("find retornou {position:?}");
    assert_eq!(position.expect("Caractere não encontrado"), 0);
}
```

- `Option` é amplamente utilizado, não apenas na biblioteca padrão.
- `unwrap` retornará o valor em um `Option`, ou entrará em pânico. `expect` é semelhante, mas recebe uma mensagem de erro.
  - Você pode entrar em pânico em `None`, mas não pode "acidentalmente" esquecer de verificar `None`.
  - É comum `unwrap`/`expect` em todos os lugares ao hackear algo, mas o código de produção normalmente lida com `None` de uma maneira mais elegante.
- A otimização de nicho significa que `Option<T>` muitas vezes tem o mesmo tamanho na memória que `T`.

16.4 Result

`Result` é semelhante a `Option`, mas indica o sucesso ou falha de uma operação, cada um com um tipo diferente. Isso é genérico: `Result<T, E>` onde `T` é usado na variante `Ok` e `E` aparece na variante `Err`.

```
use std::fs::File;
use std::io::Read;

fn main() {
    let file: Result<File, std::io::Error> = File::open("diary.txt");
    match file {
        Ok(mut file) => {
            let mut contents = String::new();
            if let Ok(bytes) = file.read_to_string(&mut contents) {
                println!("Querido diário: {contents} ({bytes} bytes)");
            } else {
                println!("Não foi possível ler o conteúdo do arquivo");
            }
        }
        Err(err) => {
            println!("Não foi possível abrir o diário: {err}");
        }
    }
}
```

- Como em `Option`, o valor bem-sucedido fica dentro de `Result`, forçando o desenvolvedor a extraí-lo explicitamente. Isso encoraja a verificação de erros. No caso em que um erro nunca deve acontecer, `unwrap()` ou `expect()` podem ser chamados, e isso também sinaliza a intenção do desenvolvedor.
- A documentação de `Result` é uma leitura recomendada. Não durante o curso, mas vale a pena mencioná-la. Ele contém muitos métodos e funções de conveniência que ajudam na programação ao estilo funcional.
- `Result` é o tipo padrão para implementar tratamento de erros, como veremos no Dia 4.

16.5 String

`String` é uma string UTF-8 expansível:

```
fn main() {
    let mut s1 = String::new();
    s1.push_str("Olá");
    println!("s1: tam = {}, capacidade = {}", s1.len(), s1.capacity());

    let mut s2 = String::with_capacity(s1.len() + 1);
    s2.push_str(&s1);
    s2.push('!');
    println!("s2: tam = {}, capacidade = {}", s2.len(), s2.capacity());

    let s3 = String::from("🇧🇷");
    println!("s3: tam = {}, número de caracteres = {}", s3.len(), s3.chars().count());
```

```
}
```

`String` implementa `Deref<Target = str>`, o que significa que você pode chamar todos os métodos de `str` em uma `String`.

- `String::new` retorna uma nova string vazia, use `String::with_capacity` quando você sabe a quantidade de dados que você deseja colocar na string.
- `String::len` retorna o tamanho da `String` em bytes (que pode ser diferente de seu comprimento em caracteres).
- `String::chars` retorna um iterador com os caracteres de fato. Observe que um `char` pode ser diferente do que um humano considerará um "caracter" devido a agrupamentos de grafemas (*grapheme clusters*).
- Quando as pessoas se referem a strings, elas podem estar falando sobre `&str` ou `String`.
- Quando um tipo implementa `Deref<Target = T>`, o compilador permitirá que você transparentemente chame métodos de `T`.
  - Ainda não discutimos o *trait* `Deref`, então, neste ponto, isso explica principalmente a estrutura da barra lateral na documentação.
  - `String` implementa `Deref<Target = str>` que, de forma transparente, dá acesso aos métodos de `str`.
  - Escreva e compare `let s3 = s1.deref();` e `let s3 = &*s1;`.
- `String` é implementado como um wrapper em torno de um vetor de bytes, muitas das operações que você vê suportadas em vetores também são suportadas em `String`, mas com algumas garantias extras.
- Compare as diferentes formas de indexar uma `String`:
  - Para um caracter usando `s3.chars().nth(i).unwrap()` onde `i` está dentro dos limites, fora dos limites.
  - Para uma substring usando `s3[0..4]`, onde essa *slice* está nos limites dos caracteres ou não.
- Muitos tipos podem ser convertidos para uma string com o método `to_string`. Este *trait* é implementado automaticamente para todos os tipos que implementam `Display`, então qualquer coisa que possa ser formatada também pode ser convertida para uma string.

16.6 Vec

`Vec` é o buffer padrão redimensionável alocado no heap:

```
fn main() {
    let mut v1 = Vec::new();
    v1.push(42);
    println!("v1: tamanho = {}, capacidade = {}", v1.len(), v1.capacity());

    let mut v2 = Vec::with_capacity(v1.len() + 1);
    v2.extend(v1.iter());
    v2.push(9999);
    println!("v2: tamanho = {}, capacidade = {}", v2.len(), v2.capacity());

    // Macro canônica para inicializar um vetor com elementos.
    let mut v3 = vec![0, 0, 1, 2, 3, 4];

    // Mantém apenas os elementos pares.
```

```
    v3.retain(|x| x % 2 == 0);
    println!("{v3:?}");

    // Remove duplicatas consecutivas.
    v3.dedup();
    println!("{v3:?}");
}
```

`Vec` implementa `Deref<Target = [T]>`, o que significa que você pode chamar métodos de *slice* em um `Vec`.

- `Vec` é um tipo de coleção, como `String` e `HashMap`. Os dados que ele contém são armazenados no heap. Isso significa que a quantidade de dados não precisa ser conhecida em tempo de compilação. Ela pode crescer ou encolher em tempo de execução.
- Observe como `Vec<T>` também é um tipo genérico, mas você não precisa especificar `T` explicitamente. Como sempre, com a inferência de tipos do Rust, `T` foi estabelecido durante a primeira chamada de `push`.
- `vec![...]` é uma macro canônica para usar em vez de `Vec::new()` e suporta a adição de elementos iniciais ao vetor.
- Para indexar o vetor, você usa `[]`, mas uma exceção do tipo *pânico* (`panic`) será gerada se o índice estiver fora dos limites. Alternativamente, usando `get` você obterá um `Option`. A função pop removerá o último elemento.
- Os *slices* são abordados no dia 3. Por enquanto, os alunos só precisam saber que um valor do tipo `Vec` dá acesso a todos os métodos de *slice* documentados, também.

16.7 HashMap

Hash map (Mapa de *hash*) padrão com proteção contra ataques *HashDoS*:

```
use std::collections::HashMap;

fn main() {
    let mut page_counts = HashMap::new();
    page_counts.insert("Adventures of Huckleberry Finn", 207);
    page_counts.insert("Grimms' Fairy Tales", 751);
    page_counts.insert("Pride and Prejudice", 303);

    if !page_counts.contains_key("Les Misérables") {
        println!(
            "Nós sabemos sobre livros {}, mas não Les Misérables.",
            page_counts.len()
        );
    }

    for book in ["Pride and Prejudice", "Alice's Adventure in Wonderland"] {
        match page_counts.get(book) {
            Some(count) => println!("{book}: {count} páginas"),
            None => println!("{book} é desconhecido."),
        }
    }
```

```
    // Use o método .entry() para inserir um valor caso nada seja encontrado.
    for book in ["Pride and Prejudice", "Alice's Adventure in Wonderland"] {
        let page_count: &mut i32 = page_counts.entry(book).or_insert(0);
        *page_count += 1;
    }

    println!("{page_counts:#?}");
}
```

- `HashMap` não está definido no prelúdio e precisa ser incluído no escopo.
- Tente as seguintes linhas de código. A primeira linha verá se um livro está no hash map e, caso não esteja, retorna um valor alternativo. A segunda linha irá inserir o valor alternativo no hash map se o livro não for encontrado.

  ```
  let pc1 = page_counts
      .get("Harry Potter and the Sorcerer's Stone")
      .unwrap_or(&336);
  let pc2 = page_counts
      .entry("The Hunger Games".to_string())
      .or_insert(374);
  ```

- Ao contrário de `vec!`, infelizmente não existe uma macro `hashmap!` padrão.
  - Entretanto, desde o Rust 1.56, o HashMap implementa `From<[(K, V); N]>`, o que nos permite inicializar facilmente um hash map a partir de uma matriz literal:

    ```
    let page_counts = HashMap::from([
      ("Harry Potter and the Sorcerer's Stone".to_string(), 336),
      ("The Hunger Games".to_string(), 374),
    ]);
    ```

- Alternativamente, o HashMap pode ser construído a partir de qualquer `Iterator` que produz tuplas de chave-valor.
- Estamos mostrando `HashMap<String, i32>`, e evite usar `&str` como chave para facilitar os exemplos. É claro que o uso de referências em coleções pode ser feito, mas isto pode levar a complicações com o verificador de empréstimos.
  - Tente remover `to_string()` do exemplo acima e veja se ele ainda compila. Onde você acha que podemos ter problemas?
- Este tipo tem vários tipos de retorno "específicos do método", como `std::collections::hash_map::Keys`. Esses tipos geralmente aparecem em pesquisas nos documentos do Rust. Mostre aos alunos os documentos para este tipo e o link útil de volta ao método `keys`.

16.8 Exercício: Contador

Neste exercício, você usará uma estrutura de dados muito simples e a tornará genérica. Ela usa um `std::collections::HashMap` para acompanhar quais valores foram vistos e quantas vezes cada um apareceu.

A versão inicial de `Counter` é codificada para funcionar apenas para valores `u32`. Faça a estrutura e seus métodos genéricos sobre o tipo de valor sendo rastreado, dessa forma

`Counter` pode rastrear qualquer tipo de valor.

Se você terminar cedo, tente usar o método `entry` para reduzir pela metade o número de pesquisas de hash necessárias para implementar o método `count`.

```
use std::collections::HashMap;

/// Counter conta o número de vezes que cada valor do tipo T foi visto.
struct Counter {
    values: HashMap<u32, u64>,
}

impl Counter {
    /// Cria um novo Counter.
    fn new() -> Self {
        Counter {
            values: HashMap::new(),
        }
    }

    /// Conta uma ocorrência do valor fornecido.
    fn count(&mut self, value: u32) {
        if self.values.contains_key(&value) {
            *self.values.get_mut(&value).unwrap() += 1;
        } else {
            self.values.insert(value, 1);
        }
    }

    /// Retorna o número de vezes que o valor fornecido foi visto.
    fn times_seen(&self, value: u32) -> u64 {
        self.values.get(&value).copied().unwrap_or_default()
    }
}

fn main() {
    let mut ctr = Counter::new();
    ctr.count(13);
    ctr.count(14);
    ctr.count(16);
    ctr.count(14);
    ctr.count(14);
    ctr.count(11);

    for i in 10..20 {
        println!("viu {} valores iguais a {}", ctr.times_seen(i), i);
    }

    let mut strctr = Counter::new();
    strctr.count("apple");
    strctr.count("orange");
    strctr.count("apple");
```

```
    println!("obteve {} maçãs", strctr.times_seen("apple"));
}
```

16.8.1 Solução

```
use std::collections::HashMap;
use std::hash::Hash;

/// Counter conta o número de vezes que cada valor do tipo T foi visto.
struct Counter<T> {
    values: HashMap<T, u64>,
}

impl<T: Eq + Hash> Counter<T> {
    /// Cria um novo Counter.
    fn new() -> Self {
        Counter { values: HashMap::new() }
    }

    /// Conta uma ocorrência do valor fornecido.
    fn count(&mut self, value: T) {
        *self.values.entry(value).or_default() += 1;
    }

    /// Retorna o número de vezes que o valor fornecido foi visto.
    fn times_seen(&self, value: T) -> u64 {
        self.values.get(&value).copied().unwrap_or_default()
    }
}

fn main() {
    let mut ctr = Counter::new();
    ctr.count(13);
    ctr.count(14);
    ctr.count(16);
    ctr.count(14);
    ctr.count(14);
    ctr.count(11);

    for i in 10..20 {
        println!("viu {} valores iguais a {}", ctr.times_seen(i), i);
    }

    let mut strctr = Counter::new();
    strctr.count("apple");
    strctr.count("orange");
    strctr.count("apple");
    println!("obteve {} maçãs", strctr.times_seen("apple"));
}
```

Capítulo 17

Traits da Biblioteca Padrão

This segment should take about 1 hour and 10 minutes. It contains:

Slide	Duration
Comparações	5 minutes
Operadores	5 minutes
From e Into	5 minutes
Conversões	5 minutes
Read e Write	5 minutes
Default, sintaxe de atualização de struct	5 minutes
Closures	10 minutes
Exercício: ROT13	30 minutes

Como nos tipos da biblioteca padrão, reserve um tempo para revisar a documentação de cada `trait`.

Esta seção é longa. Faça uma pausa no meio.

17.1 Comparações

Esses `traits` suportam comparações entre valores. Todos os `traits` podem ser derivados para tipos que contêm campos que implementam esses `traits`.

`PartialEq` e `Eq`

`PartialEq` é uma relação de equivalência parcial, com o método `eq` obrigatório e o método `ne` fornecido. Os operadores `==` e `!=` chamarão esses métodos.

```
struct Key {
    id: u32,
    metadata: Option<String>,
}
impl PartialEq for Key {
    fn eq(&self, other: &Self) -> bool {
```

```
        self.id == other.id
    }
}
```

`Eq` é uma relação de equivalência completa (reflexiva, simétrica e transitiva) e implica `PartialEq`. Funções que exigem equivalência completa usarão `Eq` como um limite de `trait`.

`PartialOrd` e `Ord`

`PartialOrd` define uma ordenação parcial, com um método `partial_cmp`. Ele é usado para implementar os operadores `<`, `<=`, `>=` e `>`.

```
use std::cmp::Ordering;
struct Citation {
    author: String,
    year: u32,
}
impl PartialOrd for Citation {
    fn partial_cmp(&self, other: &Self) -> Option<Ordering> {
        match self.author.partial_cmp(&other.author) {
            Some(Ordering::Equal) => self.year.partial_cmp(&other.year),
            author_ord => author_ord,
        }
    }
}
```

`Ord` é uma ordenação total, com `cmp` retornando `Ordering`.

`PartialEq` pode ser implementado entre diferentes tipos, mas `Eq` não pode, porque é reflexivo:

```
struct Key {
    id: u32,
    metadata: Option<String>,
}
impl PartialEq<u32> for Key {
    fn eq(&self, other: &u32) -> bool {
        self.id == *other
    }
}
```

Na prática, é comum derivar esses `traits`, mas incomum implementá-los.

17.2 Operadores

A sobrecarga de operadores é implementada por meio do `trait` contido em `std::ops`:

```
struct Point {
    x: i32,
    y: i32,
}

impl std::ops::Add for Point {
```

```
    type Output = Self;

    fn add(self, other: Self) -> Self {
        Self { x: self.x + other.x, y: self.y + other.y }
    }
}

fn main() {
    let p1 = Point { x: 10, y: 20 };
    let p2 = Point { x: 100, y: 200 };
    println!("{:?} + {:?} = {:?}", p1, p2, p1 + p2);
}
```

Pontos de discussão:

- Você pode implementar Add para `&Point`. Em quais situações isso é útil?
  - Resposta: `Add::add` consome `self`. Se o tipo `T` para o qual você está sobrecarregando o operador não implementa `Copy`, você deve considerar sobrecarregar o operador para `&T` também. Isso evita a clonagem desnecessária no local da chamada.
- Por que `Output` é um tipo associado? Poderia ser feito um parâmetro de tipo do método?
  - Resposta curta: os parâmetros de tipo de função são controlados pelo chamador, mas os tipos associados (como `Output`) são controlados pelo implementador de um `trait`.
- Você pode implementar Add para dois tipos diferentes, por exemplo, `impl Add<(i32, i32)> for Point` adicionaria uma tupla a um `Point`.

17.3 `From` e `Into`

Os tipos implementam `From` e `Into` para facilitar as conversões de tipo:

```
fn main() {
    let s = String::from("olá");
    let addr = std::net::Ipv4Addr::from([127, 0, 0, 1]);
    let one = i16::from(true);
    let bigger = i32::from(123_i16);
    println!("{s}, {addr}, {one}, {bigger}");
}
```

`Into` é implementado automaticamente quando `From` é implementado:

```
fn main() {
    let s: String = "olá".into();
    let addr: std::net::Ipv4Addr = [127, 0, 0, 1].into();
    let one: i16 = true.into();
    let bigger: i32 = 123_i16.into();
    println!("{s}, {addr}, {one}, {bigger}");
}
```

- É por isso que é comum implementar apenas `From`, já que seu tipo também receberá a implementação de `Into`.
- Ao declarar um tipo de entrada de argumento de função como "qualquer coisa que possa ser convertida em `String`", a regra é oposta, você deve usar `Into`. Sua função aceitará tipos que implementam `From` e aqueles que *apenas* implementam `Into`.

17.4 Conversões

O Rust não tem conversões de tipo *implícitas*, mas suporta conversões explícitas com `as`. Essas geralmente seguem a semântica de C onde elas são definidas.

```
fn main() {
    let value: i64 = 1000;
    println!("como u16: {}", value as u16);
    println!("como i16: {}", value as i16);
    println!("como u8: {}", value as u8);
}
```

Os resultados de `as` são *sempre* definidos no Rust e consistentes em todas as plataformas. Isso pode não corresponder à sua intuição para alterar o sinal ou converter para um tipo menor - verifique a documentação e comente

Converter com `as` é uma ferramenta relativamente afiada que é fácil de usar incorretamente e pode ser uma fonte de bugs sutis à medida que o trabalho de manutenção futuro altera os tipos que são usados ou os intervalos de valores nos tipos. As conversões são melhores usadas apenas quando a intenção é indicar truncamento incondicional (por exemplo, selecionar os 32 bits inferiores de um u64 com `as u32`, independentemente do que estava nos bits altos).

Para conversões infalíveis (por exemplo, u32 para u64), prefira usar `From` ou `Into` em vez de `as` para confirmar que a conversão é de fato infalível. Para conversões falíveis, `TryFrom` e `TryInto` estão disponíveis quando você deseja lidar com conversões que se encaixam de maneira diferente daquelas que não se encaixam.

Considere fazer uma pausa após este slide.

`as` é semelhante a um *cast* estático do C++. O uso de `as` em casos em que os dados podem ser perdidos geralmente é desencorajado, ou pelo menos merece um comentário explicativo.

Isso é comum na conversão de inteiros para `usize` para uso como índice.

17.5 `Read` e `Write`

Usando `Read` e `BufRead`, você pode abstrair as fontes de dados do tipo u8:

```
use std::io::{BufRead, BufReader, Read, Result};

fn count_lines<R: Read>(reader: R) -> usize {
    let buf_reader = BufReader::new(reader);
    buf_reader.lines().count()
}

fn main() -> Result<()> {
    let slice: &[u8] = b"foo\nbar\nbaz\n";
    println!("linhas na _slice_: {}", count_lines(slice));

    let file = std::fs::File::open(std::env::current_exe()?)?;
    println!("linhas no arquivo: {}", count_lines(file));
    Ok(())
}
```

Da mesma forma, `Write` permite abstrair a escrita de dados do tipo u8:

```
use std::io::{Result, Write};

fn log<W: Write>(writer: &mut W, msg: &str) -> Result<()> {
    writer.write_all(msg.as_bytes())?;
    writer.write_all("\n".as_bytes())
}

fn main() -> Result<()> {
    let mut buffer = Vec::new();
    log(&mut buffer, "Olá")?;
    log(&mut buffer, "Mundo")?;
    println!("Registrado: {:?}", buffer);
    Ok(())
}
```

17.6 O Trait `Default`

O *trait* `Default` fornece uma implementação padrão para um tipo.

```
struct Derived {
    x: u32,
    y: String,
    z: Implemented,
}

struct Implemented(String);

impl Default for Implemented {
    fn default() -> Self {
        Self("John Smith".into())
    }
}

fn main() {
    let default_struct = Derived::default();
    println!("{default_struct:#?}");

    let almost_default_struct =
        Derived { y: "Y está definido!".into(), ..Derived::default() };
    println!("{almost_default_struct:#?}");

    let nothing: Option<Derived> = None;
    println!("{:#?}", nothing.unwrap_or_default());
}
```

- Ele pode ser implementado diretamente ou derivado usando `#[derive(Default)]`.
- A implementação usando `derive` produz um valor onde todos os campos são preenchidos com seus valores padrão.
  - Consequentemente, todos os tipos usados no struct devem implementar `Default`

também.
- Frequentemente, os tipos padrão do Rust implementam `Default` com valores razoáveis (p.ex.: `0`, `""`, etc).
- A inicialização parcial do struct funciona bem com o default.
- A bilioteca padrão do Rust sabe que tipos podem implementar o `trait Default` e, convenientemente, provê métodos para isso.
- A sintaxe `..` é chamada de sintaxe de atualização de struct.

17.7 Closures

Closures ou expressões *lambda* têm tipos que não podem ser nomeados. No entanto, eles implementam os *traits* especiais `Fn`, `FnMut` e `FnOnce`:

```
fn apply_with_log(func: impl FnOnce(i32) -> i32, input: i32) -> i32 {
    println!("Chamando a função com {input}");
    func(input)
}

fn main() {
    let add_3 = |x| x + 3;
    println!("add_3: {}", apply_with_log(add_3, 10));
    println!("add_3: {}", apply_with_log(add_3, 20));

    let mut v = Vec::new();
    let mut accumulate = |x: i32| {
        v.push(x);
        v.iter().sum::<i32>()
    };
    println!("accumulate: {}", apply_with_log(&mut accumulate, 4));
    println!("accumulate: {}", apply_with_log(&mut accumulate, 5));

    let multiply_sum = |x| x * v.into_iter().sum::<i32>();
    println!("multiply_sum: {}", apply_with_log(multiply_sum, 3));
}
```

Um `Fn` (p.ex. `add_3`) não consome nem muda os valores capturados ou talvez não capture nada, podendo então ser chamado várias vezes simultaneamente.

Um `FnMut` (p.ex. `accumulate`) pode alterar os valores capturados, logo você pode chamá-lo várias vezes, mas não simultaneamente.

Se você tiver um `FnOnce` (p.ex. `multiply_sum`), poderá chamá-lo apenas uma vez. Ele pode consumir os valores capturados.

`FnMut` é um subtipo de `FnOnce`. `Fn` é um subtipo de `FnMut` e `FnOnce`. Ou seja, você pode usar um `FnMut` sempre que um `FnOnce` é chamado e você pode usar um `Fn` sempre que um `FnMut` ou um `FnOnce` é chamado.

Quando você define uma função que recebe um *closure*, você deve usar `FnOnce` se puder (ou seja, você o chama uma vez) ou `FnMut` caso contrário, e por último `Fn`. Isso permite a maior flexibilidade para o chamador.

Em contraste, quando você tem um *closure*, o mais flexível que você pode ter é `Fn` (ele pode

ser passado para qualquer lugar), então `FnMut` e, por último, `FnOnce`.

O compilador também infere `Copy` (p.ex. para `add_3`) e `Clone` (p.ex.

Por padrão, os *closures* capturam por referência se puderem. A palavra-chave `move` faz com que eles capturem por valor.

```
fn make_greeter(prefix: String) -> impl Fn(&str) {
    return move |name| println!("{} {}", prefix, name);
}

fn main() {
    let hi = make_greeter("Olá".to_string());
    hi("Greg");
}
```

17.8 Exercício: ROT13

Neste exemplo, você implementará o clássico cifra "ROT13". Copie este código para o playground e implemente as partes que faltam. Apenas rotacione caracteres alfabéticos ASCII para garantir que o resultado ainda seja UTF-8 válido.

```
use std::io::Read;

struct RotDecoder<R: Read> {
    input: R,
    rot: u8,
}

// Implemente o trait `Read` para `RotDecoder`.

fn main() {
    let mut rot =
        RotDecoder { input: "Gb trg gb gur bgure fvqr!".as_bytes(), rot: 13 };
    let mut result = String::new();
    rot.read_to_string(&mut result).unwrap();
    println!("{}", result);
}

mod test {
    use super::*;

    fn joke() {
        let mut rot =
            RotDecoder { input: "Gb trg gb gur bgure fvqr!".as_bytes(), rot: 13 };
        let mut result = String::new();
        rot.read_to_string(&mut result).unwrap();
        assert_eq!(&result, "To get to the other side!");
    }

    fn binary() {
        let input: Vec<u8> = (0..=255u8).collect();
```

```
        let mut rot = RotDecoder::<&[u8]> { input: input.as_ref(), rot: 13 };
        let mut buf = [0u8; 256];
        assert_eq!(rot.read(&mut buf).unwrap(), 256);
        for i in 0..=255 {
            if input[i] != buf[i] {
                assert!(input[i].is_ascii_alphabetic());
                assert!(buf[i].is_ascii_alphabetic());
            }
        }
    }
}
```

O que acontece se você encadear duas instâncias de `RotDecoder`, cada uma rotacionando 13 caracteres?

17.8.1 Solução

```
use std::io::Read;

struct RotDecoder<R: Read> {
    input: R,
    rot: u8,
}

impl<R: Read> Read for RotDecoder<R> {
    fn read(&mut self, buf: &mut [u8]) -> std::io::Result<usize> {
        let size = self.input.read(buf)?;
        for b in &mut buf[..size] {
            if b.is_ascii_alphabetic() {
                let base = if b.is_ascii_uppercase() { 'A' } else { 'a' } as u8;
                *b = (*b - base + self.rot) % 26 + base;
            }
        }
        Ok(size)
    }
}

fn main() {
    let mut rot =
        RotDecoder { input: "Gb trg gb gur bgure fvqr!".as_bytes(), rot: 13 };
    let mut result = String::new();
    rot.read_to_string(&mut result).unwrap();
    println!("{}", result);
}

mod test {
    use super::*;

    fn joke() {
        let mut rot =
            RotDecoder { input: "Gb trg gb gur bgure fvqr!".as_bytes(), rot: 13 };
```

```
        let mut result = String::new();
        rot.read_to_string(&mut result).unwrap();
        assert_eq!(&result, "To get to the other side!");
    }

    fn binary() {
        let input: Vec<u8> = (0..=255u8).collect();
        let mut rot = RotDecoder::<&[u8]> { input: input.as_ref(), rot: 13 };
        let mut buf = [0u8; 256];
        assert_eq!(rot.read(&mut buf).unwrap(), 256);
        for i in 0..=255 {
            if input[i] != buf[i] {
                assert!(input[i].is_ascii_alphabetic());
                assert!(buf[i].is_ascii_alphabetic());
            }
        }
    }
}
```

Parte V

Dia 3: Manhã

Capítulo 18

Bem-vindos ao Dia 3

Hoje, vamos cobrir:

- Gerenciamento de memória, tempos de vida (*lifetimes*) e o verificador de empréstimo (*borrow checker*): como o Rust garante a segurança da memória.
- Ponteiros inteligentes (*smart pointers*): tipos de ponteiros da biblioteca padrão.

Agenda

Including 10 minute breaks, this session should take about 2 hours and 20 minutes. It contains:

Segment	Duration
Bem-vindos	3 minutes
Gerenciamento de Memória	1 hour
Ponteiros Inteligentes (Smart Pointers)	55 minutes

Capítulo 19

Gerenciamento de Memória

This segment should take about 1 hour. It contains:

Slide	Duration
Revisão da Memória de Programa	5 minutes
Abordagens para Gerenciamento de Memória	10 minutes
Ownership	5 minutes
Semântica de Movimento	5 minutes
Clone	2 minutes
Tipos Copiáveis	5 minutes
Drop	10 minutes
Exercício: Tipo Builder	20 minutes

19.1 Revisão da Memória de Programa

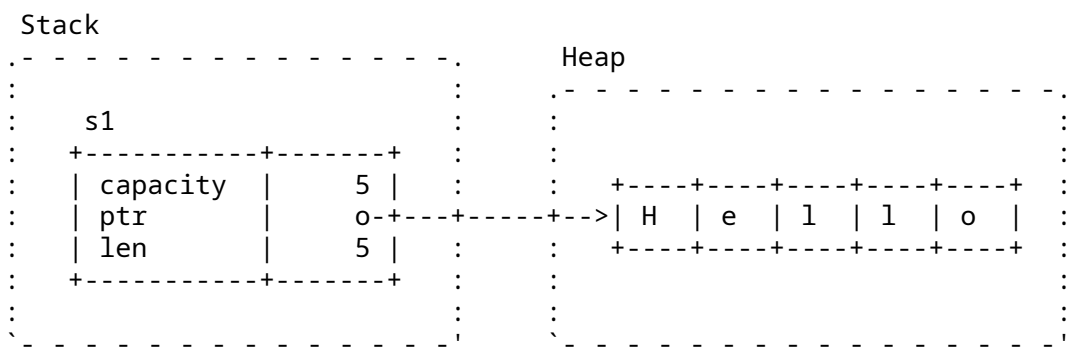
Os programas alocam memória de duas maneiras:

- Pilha: Área contínua de memória para variáveis locais.
  - Os valores têm tamanhos fixos conhecidos em tempo de compilação.
  - Extremamente rápida: basta mover um ponteiro de pilha.
  - Fácil de gerenciar: segue chamadas de função.
  - Ótima localidade de memória.
- Heap: Armazenamento de valores fora das chamadas de função.
  - Valores possuem tamanhos dinâmicos determinados em tempo de execução.
  - Ligeiramente mais devagar que a pilha: é necessário um pouco de gerenciamento.
  - Sem garantias de localidade de memória.

Exemplo

A criação de uma `String` coloca metadados de tamanho fixo na pilha e dados dinamicamente dimensionados - a string propriamente dita - no *heap*:

```rust
fn main() {
    let s1 = String::from("Olá");
}
```



- Mencione que uma `String` é suportada por um `Vec`, portanto ela tem um tamanho e capacidade e pode crescer se for mutável por meio de realocação no heap.
- Se os alunos perguntarem sobre isso, você pode mencionar que a memória subjacente é alocada no heap usando o *System Allocator* e os alocadores personalizados podem ser implementados usando a *API Allocator*.

Mais para Explorar

Podemos inspecionar o layout da memória com Rust inseguro (`unsafe`). No entanto, você deve apontar que isso é legitimamente inseguro!

```rust
fn main() {
    let mut s1 = String::from("Olá");
    s1.push(' ');
    s1.push_str("mundo");
    // NÃO FAÇA ISSO EM CASA! Somente com propósito educacional.
    // String não fornece nenhuma garantia sobre o seu layout, então isso pode causar
    // um comportamento indefinido.
    unsafe {
        let (capacity, ptr, len): (usize, usize, usize) = std::mem::transmute(s1);
        println!("capacidade = {capacity}, ptr = {ptr:#x}, compr = {len}");
    }
}
```

19.2 Abordagens para Gerenciamento de Memória

Tradicionalmente, as linguagens se dividem em duas grandes categorias:

- Controle total através do gerenciamento manual de memória: C, C++, Pascal, ...
  - Programador decide quando alocar ou liberar memória do heap.
  - Programador deve determinar se um ponteiro ainda aponta para uma memória válida.
  - Estudos mostram que os programadores cometem erros.
- Segurança total através do gerenciamento automático de memória em tempo de execução: Java, Python, Go, Haskell, ...

  - Um sistema em tempo de execução garante que a memória não seja liberada até que não possa mais ser referenciada.
  - Normalmente implementado com contagem de referência, coleta de lixo ou RAII.

Rust oferece uma nova combinação:

> Controle total *e* segurança por imposição do correto gerenciamento de memória em tempo de compilação.

Ele faz isso com um conceito de *ownership* (posse) explícito.

Este slide tem a intenção de ajudar os alunos que vêm de outras linguagens a colocar o Rust em contexto.

- Em C, o gerenciamento do heap é feito manualmente com `malloc` e `free`. Os erros comuns incluem esquecer de chamar `free`, chamá-lo várias vezes para o mesmo ponteiro ou desreferenciar um ponteiro depois que a memória para a qual ele aponta foi liberada.
- O C++ possui ferramentas como ponteiros inteligentes (`unique_ptr`, `shared_ptr`) que aproveitam as garantias da linguagem sobre a chamada de destrutores para garantir que a memória seja liberada quando uma função retorna. Ainda é muito fácil usar essas ferramentas de maneira incorreta e criar bugs semelhantes aos do C.
- Java, Go e Python dependem do coletor de lixo para identificar a memória que não é mais acessível e descartá-la. Isso garante que qualquer ponteiro possa ser desreferenciado, eliminando o uso após a liberação e outras classes de bugs. Mas, o coletor de lixo tem um custo de tempo de execução e é difícil de ajustar corretamente.

O modelo de *ownership* e *borrowing* do Rust pode, em muitos casos, obter o desempenho do C, com operações de alocação e liberação precisamente onde elas são necessárias - custo zero. Ele também fornece ferramentas semelhantes aos ponteiros inteligentes do C++. Quando necessário, outras opções, como contagem de referência, estão disponíveis, e até mesmo crates de terceiros estão disponíveis para suportar a coleta de lixo em tempo de execução (não abordada nesta aula).

19.3 Ownership

Todas as associações de variáveis têm um *escopo* onde são válidas e é um erro usar uma variável fora de seu escopo:

```
struct Point(i32, i32);

fn main() {
    {
        let p = Point(3, 4);
        println!("x: {}", p.0);
    }
    println!("y: {}", p.1);
}
```

Dizemos que a variável *owns* (*possui*) o valor. Todo valor em Rust tem precisamente um *owner* (dono) em todos os momentos.

No final do escopo, a variável é descartada e os dados são liberados. Um destrutor pode ser executado aqui para liberar recursos.

Os alunos familiarizados com implementações de coleta de lixo saberão que um coletor de lixo começa com um conjunto de ”raízes” para encontrar toda a memória acessível. O princípio do *”single owner”* (”único dono”) do Rust é uma ideia semelhante.

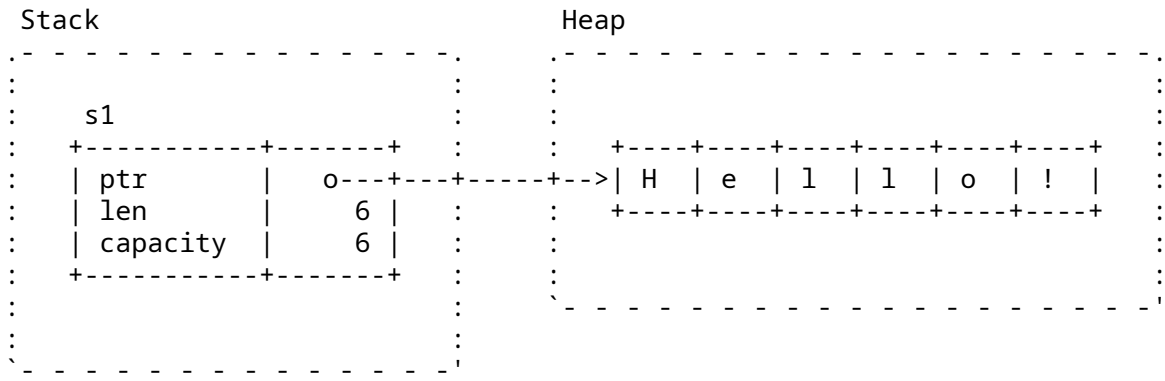
19.4 Semântica de Movimento

Uma atribuição transferirá o *ownership* entre variáveis:

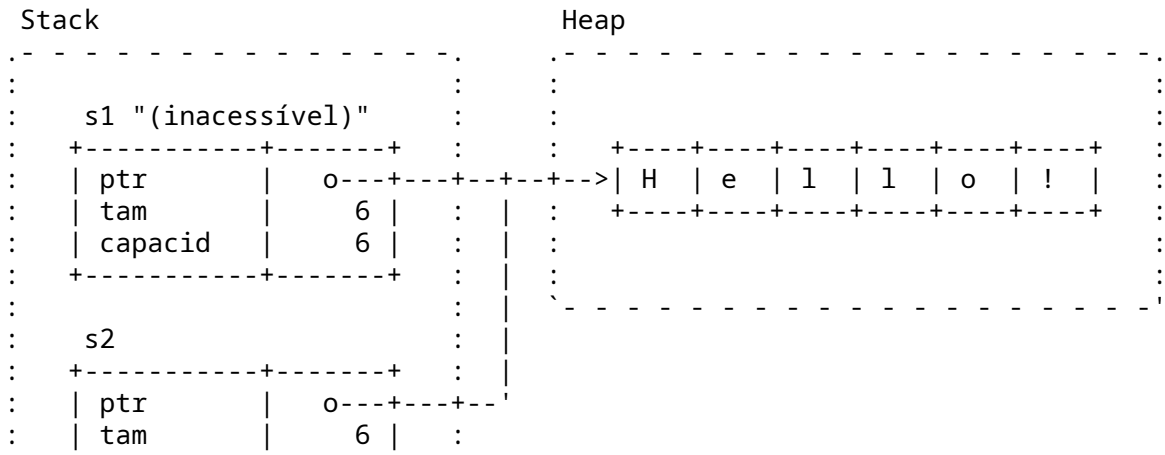
```
fn main() {
    let s1: String = String::from("Olá!");
    let s2: String = s1;
    println!("s2: {s2}");
    // println!("s1: {s1}");
}
```

- A atribuição de `s1` a `s2` transfere o *ownership*.
- Quando `s1` sai do escopo, nada acontece: ele não tem *ownership*.
- Quando `s2` sai do escopo, os dados da string são liberados.

Antes de mover para `s2`:



Depois de mover para `s2`:



```
:   | capacid   |     6 |   :
:   +-----------+-------+   :
:                           :
`- - - - - - - - - - - - - -'
```

Quando você passa um valor para uma função, o valor é atribuído ao parâmetro da função. Isso transfere a *ownership*:

```
fn say_hello(name: String) {
    println!("Olá {name}")
}

fn main() {
    let name = String::from("Alice");
    say_hello(name);
    // say_hello(name);
}
```

- Mencione que isso é o oposto dos *defaults* (padrões) em C++, que copia por valor, a menos que você use `std::move` (e seu construtor esteja definido!).
- Apenas o *ownership* é movido. A geração de código de máquina para manipular os dados é uma questão de otimização, e essas cópias são agressivamente otimizadas.
- Valores simples (tais como inteiros) podem ser marcados como Copy (cópia) (veja slides mais adiante).
- No Rust, clones são explícitos (utilizando-se `clone`).

No exemplo `say_hello`:

- Com a primeira chamada para `diga_ola`, `main` desiste da ownership de nome. Depois disso, nome não pode mais ser usado dentro de `main`.
- A memória do heap alocada para `name` será liberada no final da função `say_hello`.
- `main` pode manter a ownership se passar nome como uma referência (`&name`) e se `say_hello` aceitar uma referência como um parâmetro.
- Alternativamente, `main` pode passar um clone de nome na primeira chamada (`name.clone()`).
- Rust torna mais difícil a criação de cópias inadvertidamente do que o C++, tornando padrão a semântica de movimento e forçando os programadores a tornar os clones explícitos.

Mais para Explorar

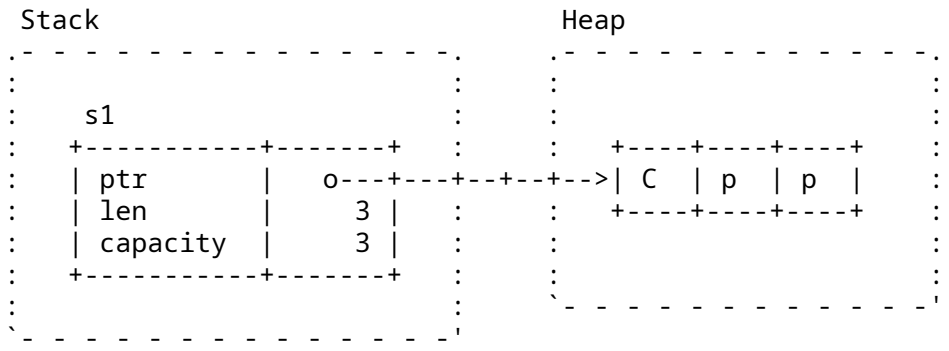
Cópias Defensivas em C++ Moderno

O C++ moderno resolve isso de maneira diferente:

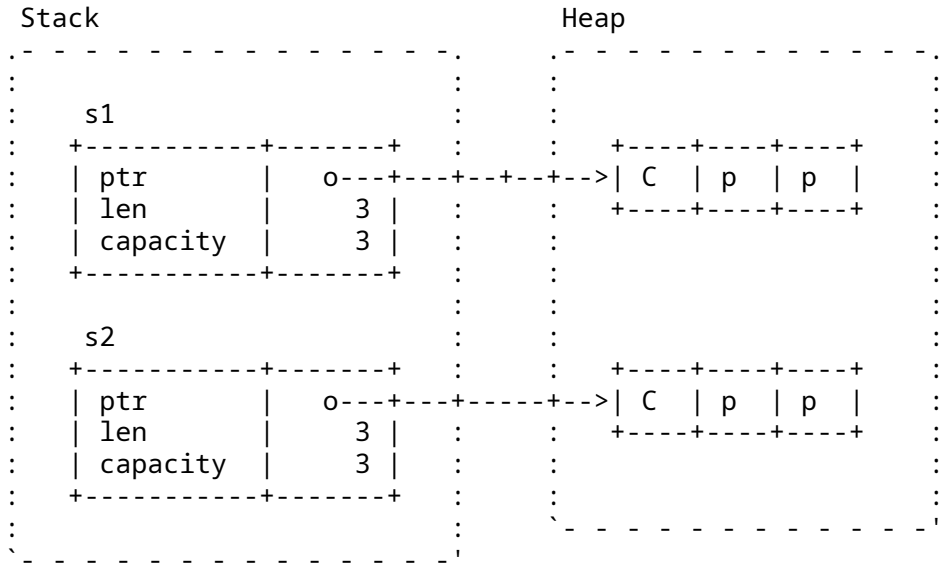
```
std::string s1 = "Cpp";
std::string s2 = s1;  // Duplica os dados em s1.
```

- Os dados de `s1` no heap são duplicados e `s2` obtém sua própria cópia independente.
- Quando `s1` e `s2` saem de escopo, cada um libera sua própria memória.

Antes da atribuição por cópia:



Após atribuição por cópia:



Pontos chave:

- O C++ fez uma escolha ligeiramente diferente do Rust. Como = copia dados, os dados da string devem ser clonados. Caso contrário, obteríamos uma dupla liberação quando qualquer string saísse de escopo.
- O C++ também possui `std::move`, que é usado para indicar quando um valor pode ser movido. Se o exemplo fosse `s2 = std::move(s1)`, nenhuma alocação de heap seria feita. Após a movimentação, `s1` estaria em um estado válido, mas não especificado. Diferentemente do Rust, o programador pode continuar usando `s1`.
- Diferentemente do Rust, `=` em C++ pode executar código arbitrário conforme determinado pelo tipo que está sendo copiado ou movido.

19.5 Clone

Às vezes você *quer* fazer uma cópia de um valor. O *trait* `Clone` consegue isso.

```
fn say_hello(name: String) {
    println!("Olá {name}")
```

```
}

fn main() {
    let name = String::from("Alice");
    say_hello(name.clone());
    say_hello(name);
}
```

- A ideia de `Clone` é tornar fácil identificar onde as alocações de heap estão ocorrendo. Procure por `.clone()` e alguns outros como `vec!` ou `Box::new`.
- É comum "clonar sua saída" de problemas com o verificador de empréstimo e retornar mais tarde para tentar otimizar esses clones.
- `clone` geralmente realiza uma cópia profunda do valor, o que significa que se você, por exemplo, clonar um array, todos os elementos do array também são clonados.
- O comportamento para `clone` é definido pelo(a) usuário(a), então ele(a) pode executar lógica de clonagem personalizada, se necessário.

19.6 Tipos Copiáveis

Embora a semântica de movimento seja o padrão, certos tipos são copiados por padrão:

```
fn main() {
    let x = 42;
    let y = x;
    println!("x: {x}"); // would not be accessible if not Copy
    println!("y: {y}");
}
```

Esses tipos implementam o *trait* `Copy`.

Você pode habilitar seus próprios tipos para usar a semântica de cópia:

```
struct Point(i32, i32);

fn main() {
    let p1 = Point(3, 4);
    let p2 = p1;
    println!("p1: {p1:?}");
    println!("p2: {p2:?}");
}
```

- Após a atribuição, tanto `p1` quanto `p2` possuem seus próprios dados.
- Também podemos usar `p1.clone()` para copiar os dados explicitamente.

Copia e clonagem não são a mesma coisa:

- Cópia refere-se a cópias bit a bit de regiões de memória e não funciona em objetos arbitrários.
- Cópia não permite lógica personalizada (ao contrário dos construtores de cópia em C++).
- Clonagem é uma operação mais geral e também permite um comportamento personalizado através da implementação do trait `Clone`.
- Cópia não funciona em tipos que implementam o trait `Drop`.

No exemplo acima, tente o seguinte:

- Adicione um campo `String` ao `struct Point`. Ele não irá compilar porque `String` não é um tipo Copy.
- Remova Copy do atributo `derive`. O erro do compilador agora está no `println!` para `p1`.
- Mostre que ele funciona se ao invés disso você clonar `p1`.

Mais para Explorar

- Referências compartilhadas são Copy/Clone, referências mutáveis não. Isso porque Rust requer que referências mutáveis sejam exclusivas, então, embora seja válido fazer uma cópia de uma referência compartilhada, criar uma cópia de uma referência mutável violaria as regras de empréstimo do Rust.

19.7 O Trait `Drop`

Valores que implementam `Drop` podem especificar o código a ser executado quando saem do escopo:

```
struct Droppable {
    name: &'static str,
}

impl Drop for Droppable {
    fn drop(&mut self) {
        println!("Descartando {}", self.name);
    }
}

fn main() {
    let a = Droppable { name: "a" };
    {
        let b = Droppable { name: "b" };
        {
            let c = Droppable { name: "c" };
            let d = Droppable { name: "d" };
            println!("Saindo do bloco B");
        }
        println!("Saindo do bloco A");
    }
    drop(a);
    println!("Saindo do main");
}
```

- Observe que `std::mem::drop` não é o mesmo que `std::ops::Drop::drop`.
- Os valores são descartados automaticamente quando saem do escopo.
- Quando um valor é descartado, se ele implementa `std::ops::Drop` então sua implementação `Drop::drop` será chamada.

- Todas as seus campos serão descartadas também, independentemente de implementar `Drop`.
- `std::mem::drop` é apenas uma função vazia que recebe qualquer valor. A importância é que ela assume a *ownership* do valor, então no final de seu escopo ele é descartado. Isso torna uma maneira conveniente de descartar explicitamente valores mais cedo do que eles sairiam do escopo.
  - Isso pode ser útil para objetos que fazem algum trabalho em `drop`: liberando travas, fechando arquivos, etc.

Pontos de discussão:

- Por que `Drop::drop` não recebe `self`?
  - Resposta curta: Se recebesse, `std::mem::drop` seria chamado no final do bloco, resultando em outra chamada para `Drop::drop` ocasionando um estouro de pilha.
- Tente substituir `drop(a)` por `a.drop()`.

19.8 Exercício: Tipo Builder

Neste exemplo, implementaremos um tipo de dados complexo que possui todos os seus dados. Usaremos o *"builder pattern"* para suportar a construção de um novo valor peça por peça, usando funções de conveniência.

Preencha as peças que faltam.

```
enum Language {
    Rust,
    Java,
    Perl,
}

struct Dependency {
    name: String,
    version_expression: String,
}

/// Uma representação de um pacote de software.
struct Package {
    name: String,
    version: String,
    authors: Vec<String>,
    dependencies: Vec<Dependency>,
    language: Option<Language>,
}

impl Package {
    /// Retorna uma representação deste pacote como uma dependência, para uso na
    /// construção de outros pacotes.
    fn as_dependency(&self) -> Dependency {
        todo!("1")
    }
}
```

```rust
/// Um construtor para um Pacote. Use `build()` para criar o próprio `Package`.
struct PackageBuilder(Package);

impl PackageBuilder {
    fn new(name: impl Into<String>) -> Self {
        todo!("2")
    }

    /// Define a versão do pacote.
    fn version(mut self, version: impl Into<String>) -> Self {
        self.0.version = version.into();
        self
    }

    /// Define os autores do pacote.
    fn authors(mut self, authors: Vec<String>) -> Self {
        todo!("3")
    }

    /// Adiciona uma dependência adicional.
    fn dependency(mut self, dependency: Dependency) -> Self {
        todo!("4")
    }

    /// Define a linguagem. Se não definida, a linguagem é None.
    fn language(mut self, language: Language) -> Self {
        todo!("5")
    }

    fn build(self) -> Package {
        self.0
    }
}

fn main() {
    let base64 = PackageBuilder::new("base64").version("0.13").build();
    println!("base64: {base64:?}");
    let log =
        PackageBuilder::new("log").version("0.4").language(Language::Rust).build();
    println!("log: {log:?}");
    let serde = PackageBuilder::new("serde")
        .authors(vec!["djmitche".into()])
        .version(String::from("4.0"))
        .dependency(base64.as_dependency())
        .dependency(log.as_dependency())
        .build();
    println!("serde: {serde:?}");
}
```

19.8.1 Solução

```
enum Language {
    Rust,
    Java,
    Perl,
}

struct Dependency {
    name: String,
    version_expression: String,
}

/// Uma representação de um pacote de software.
struct Package {
    name: String,
    version: String,
    authors: Vec<String>,
    dependencies: Vec<Dependency>,
    language: Option<Language>,
}

impl Package {
    /// Retorna uma representação deste pacote como uma dependência, para uso na
    /// construção de outros pacotes.
    fn as_dependency(&self) -> Dependency {
        Dependency {
            name: self.name.clone(),
            version_expression: self.version.clone(),
        }
    }
}

/// Um construtor para um Pacote. Use `build()` para criar o próprio `Package`.
struct PackageBuilder(Package);

impl PackageBuilder {
    fn new(name: impl Into<String>) -> Self {
        Self(Package {
            name: name.into(),
            version: "0.1".into(),
            authors: vec![],
            dependencies: vec![],
            language: None,
        })
    }

    /// Define a versão do pacote.
    fn version(mut self, version: impl Into<String>) -> Self {
        self.0.version = version.into();
        self
```

```
    }

    /// Define os autores do pacote.
    fn authors(mut self, authors: Vec<String>) -> Self {
        self.0.authors = authors;
        self
    }

    /// Adiciona uma dependência adicional.
    fn dependency(mut self, dependency: Dependency) -> Self {
        self.0.dependencies.push(dependency);
        self
    }

    /// Define a linguagem. Se não definida, a linguagem é None.
    fn language(mut self, language: Language) -> Self {
        self.0.language = Some(language);
        self
    }

    fn build(self) -> Package {
        self.0
    }
}

fn main() {
    let base64 = PackageBuilder::new("base64").version("0.13").build();
    println!("base64: {base64:?}");
    let log =
        PackageBuilder::new("log").version("0.4").language(Language::Rust).build();
    println!("log: {log:?}");
    let serde = PackageBuilder::new("serde")
        .authors(vec!["djmitche".into()])
        .version(String::from("4.0"))
        .dependency(base64.as_dependency())
        .dependency(log.as_dependency())
        .build();
    println!("serde: {serde:?}");
}
```

Capítulo 20

Ponteiros Inteligentes (Smart Pointers)

This segment should take about 55 minutes. It contains:

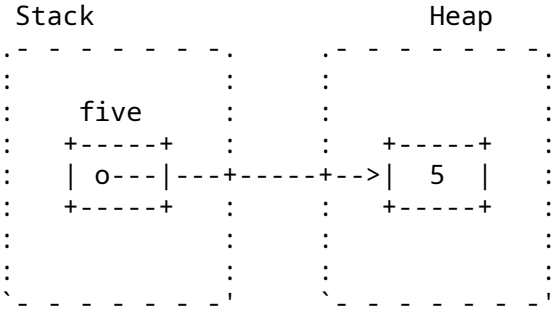
Slide	Duration
Box	

|10 minutes| |Rc|5 minutes| |Objetos de Trait Proprietários|10 minutes| |Exercício: Árvore Binária|30 minutes|

20.1 Box<T>

Box é um ponteiro *owned* para dados no heap:

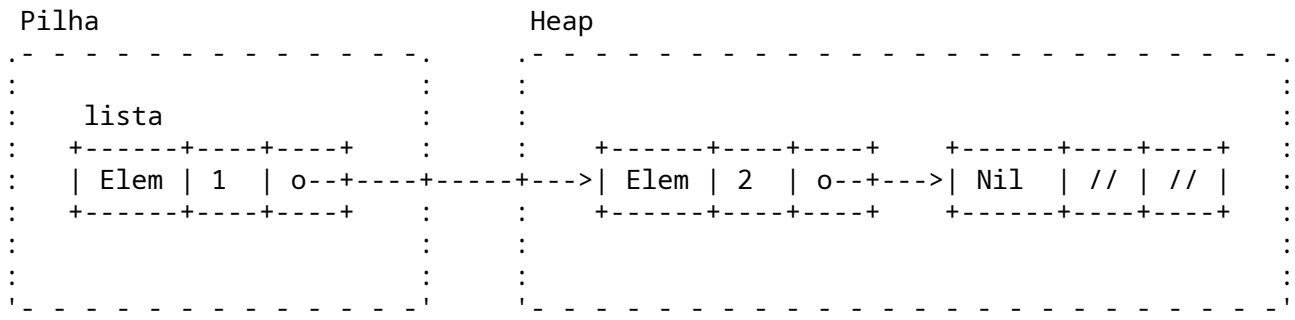
```
fn main() {
    let five = Box::new(5);
    println!("cinco: {}", *five);
}
```



Box<T> implementa Deref<Target = T>, o que significa que você pode chamar métodos de T diretamente em um Box<T>.

Tipos de dados recursivos ou tipos de dados com tamanhos dinâmicos precisam usar uma Box:

```
enum List<T> {
    /// Uma lista não vazia: primeiro elemento e o resto da lista.
    Element(T, Box<List<T>>),
    /// Uma lista vazia.
    Nil,
}

fn main() {
    let list: List<i32> =
        List::Element(1, Box::new(List::Element(2, Box::new(List::Nil))));
    println!("{list:?}");
}
```



- Box é parecido com `std::unique_ptr` em C++, exceto que ele é garantidamente não nulo.
- Uma Box é útil quando você:
  - há um tipo cujo tamanho não está disponível em tempo de compilação, mas o compilador Rust precisa saber o tamanho exato.
  - quer transferir o *ownership* de um grande volume de dados. Ao invés de copiar grandes volumes de dados na pilha, eles são armazenados usando uma Box no *heap* e apenas o ponteiro é movido.
- Se Box não for usado e tentarmos incorporar um `List` diretamente no `List`, o compilador não conseguiria calcular um tamanho fixo da *struct* na memória (`List` teria tamanho infinito).
- Box resolve esse problema, pois tem o mesmo tamanho de um ponteiro normal e apenas aponta para o próximo elemento da `List` no *heap*.
- Remova o Box na definição de `List` e mostre o erro de compilação. Nós obtemos a mensagem ”recursive without indirection” (recursivo sem indireção), porque para recursão de dados, temos que usar indireção, um Box ou referência de algum tipo, ao invés de armazenar o valor diretamente.

Mais para Explorar

Otimização de Nicho

Embora `Box` pareça com `std::unique_ptr` em C++, ele não pode ser vazio/nulo. Isso faz com que `Box` seja um dos tipos que permitem ao compilador otimizar o armazenamento de alguns *enums*.

Por exemplo, `Option<Box<T>>` tem o mesmo tamanho que apenas `Box<T>`, porque o compilador usa o valor NULL para discriminar as variantes em vez de usar uma tag explícita ("Null Pointer Optimization"):

```
use std::mem::size_of_val;

struct Item(String);

fn main() {
    let just_box: Box<Item> = Box::new(Item("Apenas box".into()));
    let optional_box: Option<Box<Item>> =
        Some(Box::new(Item("Box opcional".into())));
    let none: Option<Box<Item>> = None;

    assert_eq!(size_of_val(&just_box), size_of_val(&optional_box));
    assert_eq!(size_of_val(&just_box), size_of_val(&none));

    println!("Tamanho de just_box: {}", size_of_val(&just_box));
    println!("Tamanho de optional_box: {}", size_of_val(&optional_box));
    println!("Tamanho de none: {}", size_of_val(&none));
}
```

20.2 Rc

`Rc` é um ponteiro compartilhado com contagem de referência. Use-o quando precisar consultar os mesmos dados a partir de vários locais:

```
use std::rc::Rc;

fn main() {
    let a = Rc::new(10);
    let b = Rc::clone(&a);

    println!("a: {a}");
    println!("b: {b}");
}
```

- Veja `Arc` e `Mutex` se você estiver em um contexto multi-thread.
- Você pode demover (*downgrade*) um ponteiro compartilhado para um ponteiro `Weak` (fraco) para criar ciclos que serão descartados.
- O contador do `Rc` garante que os seus valores contidos sejam válidos enquanto houver referências.
- `Rc` em Rust é como `std::shared_ptr` em C++.

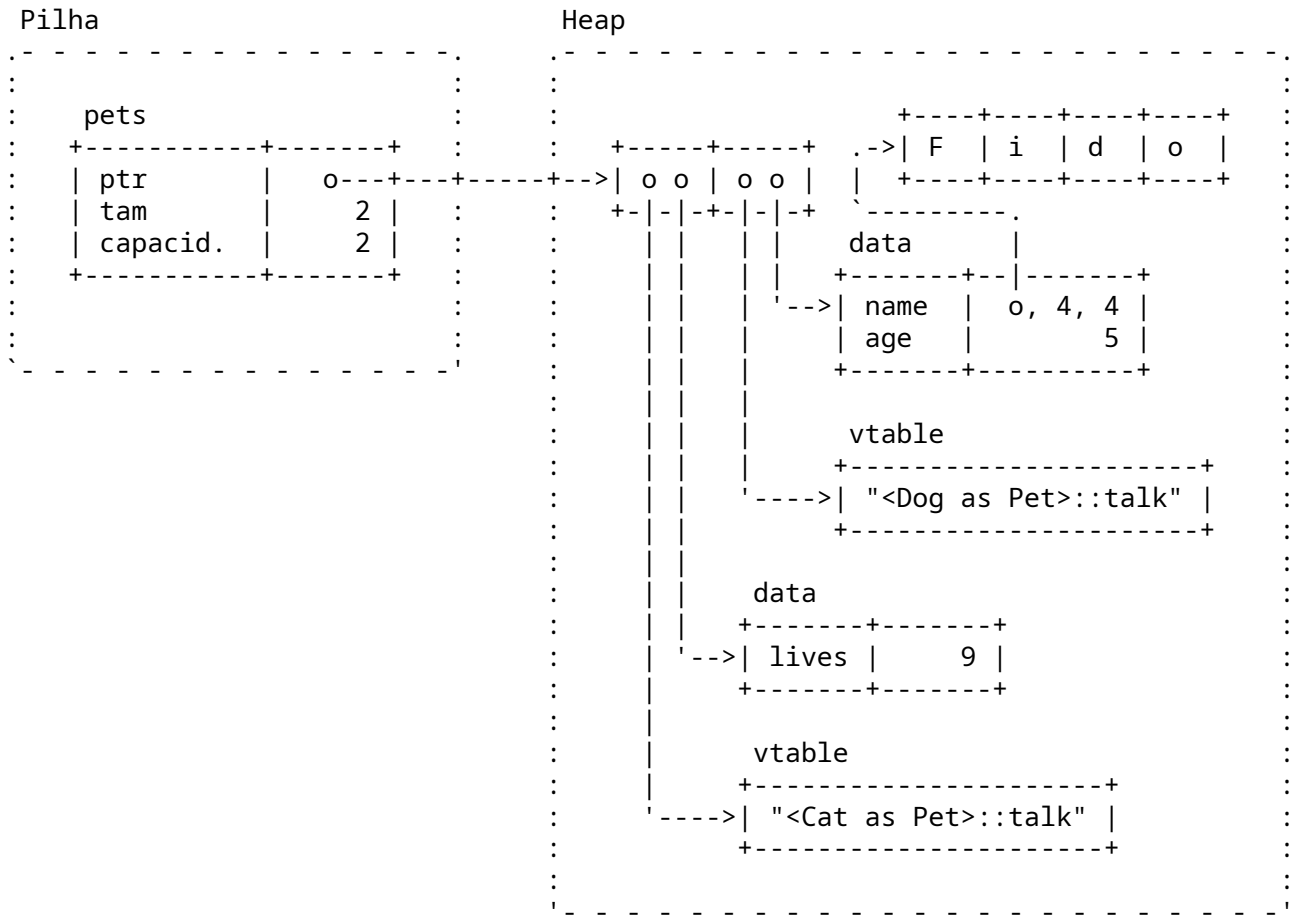
- `Rc::clone` é barato: ele cria um ponteiro para a mesma alocação e aumenta a contagem de referência. Ele não faz um "clone profundo" (*deep clone*) e geralmente pode ser ignorado ao procurar problemas de desempenho no código.
- `make_mut` realmente clona o valor interno se necessário ("*clone-on-write*") e retorna uma referência mutável.
- Use `Rc::strong_count` para verificar a contagem de referência.
- `Rc::downgrade` fornece um objeto com *contagem de referência fraca* (*weakly reference-counted*) para criar ciclos que serão descartados corretamente (provavelmente em combinação com `RefCell`).

20.3 Objetos de Trait Proprietários

Anteriormente vimos como objetos de trait podem ser usados com referências, por exemplo, `&dyn Pet`. No entanto, também podemos usar objetos de trait com ponteiros inteligentes como `Box` para criar um objeto de trait *owned*: `Box<dyn Pet>`.

```
struct Dog {
    name: String,
    age: i8,
}
struct Cat {
    lives: i8,
}

trait Pet {
    fn talk(&self) -> String;
}

impl Pet for Dog {
    fn talk(&self) -> String {
        format!("Auau, meu nome é {}", self.name)
    }
}

impl Pet for Cat {
    fn talk(&self) -> String {
        String::from("Miau!")
    }
}

fn main() {
    let pets: Vec<Box<dyn Pet>> = vec![
        Box::new(Cat { lives: 9 }),
        Box::new(Dog { name: String::from("Bidu"), age: 5 }),
    ];
    for pet in pets {
        println!("Olá, quem é você? {}", pet.talk());
    }
}
```

Layout da memória após alocar `pets`:



- Tipos que implementam um dado `trait` podem ter tamanhos diferentes. Isto torna impossível haver coisas como `Vec<dyn Pet>` no exemplo anterior.
- `dyn Pet` é uma maneira de dizer ao compilador sobre um tipo de tamanho dinâmico que implementa `Pet`.
- No exemplo, `pets` é alocado na pilha e os dados do vetor estão no heap. Os dois elementos do vetor são *fat pointers* (ponteiros "gordos"):
  - Um *fat pointer* é um ponteiro de dupla largura. Ele tem dois componentes: um ponteiro para o objeto real e um ponteiro para a tabela de métodos virtuais (vtable) para a implementação `Pet` desse objeto em particular.
  - Os dados para o `Dog` chamado Fido são os campos `name` e `age`. O `Cat` tem um campo `lives`.
- Compare estas saídas no exemplo anterior::

```
println!("{} {}", std::mem::size_of::<Dog>(), std::mem::size_of::<Cat>());
println!("{} {}", std::mem::size_of::<&Dog>(), std::mem::size_of::<&Cat>());
println!("{}", std::mem::size_of::<&dyn Pet>());
println!("{}", std::mem::size_of::<Box<dyn Pet>>());
```

20.4 Exercício: Árvore Binária

Uma árvore binária é uma estrutura de dados do tipo árvore onde cada nó tem dois filhos (esquerdo e direito). Criaremos uma árvore onde cada nó armazena um valor. Para um determinado nó N, todos os nós na subárvore esquerda de N contêm valores menores, e todos os nós na subárvore direita de N conterão valores maiores.

Implemente os seguintes tipos, para que os testes fornecidos passem.

Extra: implemente um iterador sobre uma árvore binária que retorna os valores em ordem.

```
/// Um nó na árvore binária.
struct Node<T: Ord> {
    value: T,
    left: Subtree<T>,
    right: Subtree<T>,
}

/// Uma subárvore possivelmente vazia.
struct Subtree<T: Ord>(Option<Box<Node<T>>>);

/// Um contêiner que armazena um conjunto de valores, usando uma árvore binária.
///
/// Se o mesmo valor for adicionado várias vezes, ele é armazenado apenas uma vez.
pub struct BinaryTree<T: Ord> {
    root: Subtree<T>,
}

impl<T: Ord> BinaryTree<T> {
    fn new() -> Self {
        Self { root: Subtree::new() }
    }

    fn insert(&mut self, value: T) {
        self.root.insert(value);
    }

    fn has(&self, value: &T) -> bool {
        self.root.has(value)
    }

    fn len(&self) -> usize {
        self.root.len()
    }
}

// Implemente `new`, `insert`, `len` e `has` para `Subtree`.

mod tests {
    use super::*;

    fn len() {
```

```
        let mut tree = BinaryTree::new();
        assert_eq!(tree.len(), 0);
        tree.insert(2);
        assert_eq!(tree.len(), 1);
        tree.insert(1);
        assert_eq!(tree.len(), 2);
        tree.insert(2); // não é um item único
        assert_eq!(tree.len(), 2);
    }

    fn has() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
        fn check_has(tree: &BinaryTree<i32>, exp: &[bool]) {
            let got: Vec<bool> =
                (0..exp.len()).map(|i| tree.has(&(i as i32))).collect();
            assert_eq!(&got, exp);
        }

        check_has(&tree, &[false, false, false, false, false]);
        tree.insert(0);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, false]);
        tree.insert(4);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, true]);
        tree.insert(4);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, true]);
        tree.insert(3);
        check_has(&tree, &[true, false, false, true, true]);
    }

    fn unbalanced() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
        for i in 0..100 {
            tree.insert(i);
        }
        assert_eq!(tree.len(), 100);
        assert!(tree.has(&50));
    }
}
```

20.4.1 Solução

```
use std::cmp::Ordering;

/// Um nó na árvore binária.
struct Node<T: Ord> {
    value: T,
    left: Subtree<T>,
    right: Subtree<T>,
}

/// Uma subárvore possivelmente vazia.
```

```rust
struct Subtree<T: Ord>(Option<Box<Node<T>>>);

/// Um contêiner que armazena um conjunto de valores, usando uma árvore binária.
///
/// Se o mesmo valor for adicionado várias vezes, ele é armazenado apenas uma vez.
pub struct BinaryTree<T: Ord> {
    root: Subtree<T>,
}

impl<T: Ord> BinaryTree<T> {
    fn new() -> Self {
        Self { root: Subtree::new() }
    }

    fn insert(&mut self, value: T) {
        self.root.insert(value);
    }

    fn has(&self, value: &T) -> bool {
        self.root.has(value)
    }

    fn len(&self) -> usize {
        self.root.len()
    }
}

impl<T: Ord> Subtree<T> {
    fn new() -> Self {
        Self(None)
    }

    fn insert(&mut self, value: T) {
        match &mut self.0 {
            None => self.0 = Some(Box::new(Node::new(value))),
            Some(n) => match value.cmp(&n.value) {
                Ordering::Less => n.left.insert(value),
                Ordering::Equal => {}
                Ordering::Greater => n.right.insert(value),
            },
        }
    }

    fn has(&self, value: &T) -> bool {
        match &self.0 {
            None => false,
            Some(n) => match value.cmp(&n.value) {
                Ordering::Less => n.left.has(value),
                Ordering::Equal => true,
                Ordering::Greater => n.right.has(value),
            },
```

```
        }
    }

    fn len(&self) -> usize {
        match &self.0 {
            None => 0,
            Some(n) => 1 + n.left.len() + n.right.len(),
        }
    }
}

impl<T: Ord> Node<T> {
    fn new(value: T) -> Self {
        Self { value, left: Subtree::new(), right: Subtree::new() }
    }
}

fn main() {
    let mut tree = BinaryTree::new();
    tree.insert("foo");
    assert_eq!(tree.len(), 1);
    tree.insert("bar");
    assert!(tree.has(&"foo"));
}

mod tests {
    use super::*;

    fn len() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
        assert_eq!(tree.len(), 0);
        tree.insert(2);
        assert_eq!(tree.len(), 1);
        tree.insert(1);
        assert_eq!(tree.len(), 2);
        tree.insert(2); // não é um item único
        assert_eq!(tree.len(), 2);
    }

    fn has() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
        fn check_has(tree: &BinaryTree<i32>, exp: &[bool]) {
            let got: Vec<bool> =
                (0..exp.len()).map(|i| tree.has(&(i as i32))).collect();
            assert_eq!(&got, exp);
        }

        check_has(&tree, &[false, false, false, false, false]);
        tree.insert(0);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, false]);
        tree.insert(4);
```

```
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, true]);
        tree.insert(4);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, true]);
        tree.insert(3);
        check_has(&tree, &[true, false, false, true, true]);
    }

    fn unbalanced() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
        for i in 0..100 {
            tree.insert(i);
        }
        assert_eq!(tree.len(), 100);
        assert!(tree.has(&50));
    }
}
```

Parte VI

Dia 3: Tarde

Capítulo 21

Bem-vindos de volta

Including 10 minute breaks, this session should take about 1 hour and 55 minutes. It contains:

Segment	Duration
Empréstimo (Borrowing)	55 minutes
Tempos de Vida (Lifetimes)	50 minutes

Capítulo 22

Empréstimo (Borrowing)

This segment should take about 55 minutes. It contains:

Slide	Duration
Emprestando um Valor	10 minutes
Verificação de Empréstimo	10 minutes
Erros de Empréstimo	3 minutes
Mutabilidade Interior	10 minutes
Exercício: Estatísticas de Saúde	20 minutes

22.1 Emprestando um Valor

Como vimos antes, ao invés de transferir a *ownership* ao chamar uma função, você pode deixar uma função *emprestar* (*borrow*) o valor:

```
struct Point(i32, i32);

fn add(p1: &Point, p2: &Point) -> Point {
    Point(p1.0 + p2.0, p1.1 + p2.1)
}

fn main() {
    let p1 = Point(3, 4);
    let p2 = Point(10, 20);
    let p3 = add(&p1, &p2);
    println!("{p1:?} + {p2:?} = {p3:?}");
}
```

- A função add *pega emprestado* (*borrows*) dois pontos e retorna um novo ponto.
- O chamador mantém a *ownership* das entradas.

Este slide é uma revisão do material sobre referências do dia 1, expandindo um pouco para incluir argumentos e valores de retorno de funções.

Mais para Explorar

Notas sobre os retornos da pilha e inlining:

- Demonstre que o retorno de `somar` é barato porque o compilador pode eliminar a operação de cópia. Modifique o código acima para imprimir endereços da pilha e execute-o no Playground ou veja o código *assembly* em Godbolt. No nível de otimização "DEBUG", os endereços devem mudar, enquanto eles permanecem os mesmos quando a configuração é alterada para "RELEASE":

```
struct Point(i32, i32);

fn add(p1: &Point, p2: &Point) -> Point {
    let p = Point(p1.0 + p2.0, p1.1 + p2.1);
    println!("&p.0: {:p}", &p.0);
    p
}

pub fn main() {
    let p1 = Point(3, 4);
    let p2 = Point(10, 20);
    let p3 = add(&p1, &p2);
    println!("&p3.0: {:p}", &p3.0);
    println!("{p1:?} + {p2:?} = {p3:?}");
}
```

- O compilador Rust pode fazer inlining automático, que pode ser desativado em um nível de função com `#[inline(never)]`.
- Uma vez desativado, o endereço impresso mudará em todos os níveis de otimização. Olhando para Godbolt ou Playground, pode-se ver que, neste caso, o retorno do valor depende do ABI, por exemplo, no amd64 os dois i32 que compõem o ponto serão retornados em 2 registradores (eax e edx).

22.2 Verificação de Empréstimo

O *verificador de empréstimo* (*borrow checker*) do Rust impõe restrições sobre as maneiras como você pode emprestar valores. Para um determinado valor, a qualquer momento:

- Você pode ter uma ou mais referências compartilhadas para o valor, *ou*
- Você pode ter exatamente uma referência exclusiva para o valor.

```
fn main() {
    let mut a: i32 = 10;
    let b: &i32 = &a;

    {
        let c: &mut i32 = &mut a;
        *c = 20;
    }

    println!("a: {a}");
```

```
    println!("b: {b}");
}
```

- Observe que o requisito é que as referências conflitantes não *existam* no mesmo ponto. Não importa onde a referência é desreferenciada.
- O código acima não compila porque `a` é emprestado como mutável (através de `c`) e como imutável (através de `b`) ao mesmo tempo.
- Mova a instrução `println!` para `b` antes do escopo que introduz `c` para fazer o código compilar.
- Após essa alteração, o compilador percebe que `b` só é usado antes do novo empréstimo mutável de `a` através de `c`. Este é um recurso do verificador de empréstimo (*borrow checker*) chamado ”tempos de vida não lexicais”.
- A restrição de referência exclusiva é bastante forte. O Rust a usa para que *data races* (*corridas de dados*) não ocorram. O Rust também *depende* dessa restrição para otimizar o código. Por exemplo, um valor atrás de uma referência compartilhada pode ser armazenado com segurança em um registrador pelo tempo de vida dessa referência.
- O verificador de empréstimo (*borrow checker*) é projetado para acomodar muitos padrões comuns, como obter referências exclusivas para campos diferentes em uma *struct* ao mesmo tempo. Mas, há algumas situações em que ele não entende muito bem e isso geralmente resulta em ”lutar com o verificador de empréstimo”.

22.3 Erros de Empréstimo

Como um exemplo concreto de como essas regras de empréstimo evitam erros de memória, considere o caso de modificar uma coleção enquanto há referências para os seus elementos:

```
fn main() {
    let mut vec = vec![1, 2, 3, 4, 5];
    let elem = &vec[2];
    vec.push(6);
    println!("{elem}");
}
```

Da mesma forma, considere o caso de invalidação do iterador:

```
fn main() {
    let mut vec = vec![1, 2, 3, 4, 5];
    for elem in &vec {
        vec.push(elem * 2);
    }
}
```

- Em ambos os casos, modificar a coleção ao adicionar novos elementos a ela pode potencialmente invalidar referências existentes para os elementos da coleção se a coleção tiver que realocar.

22.4 Mutabilidade Interior

Em algumas situações, é necessário modificar dados atrás de uma referência compartilhada (somente leitura). Por exemplo, uma estrutura de dados compartilhada pode ter um cache interno e desejar atualizar esse cache a partir de métodos somente leitura.

O padrão de ”mutabilidade interna” permite acesso exclusivo (mutável) por trás de uma referência compartilhada. A biblioteca padrão fornece várias maneiras de fazer isso, garantindo segurança, geralmente realizando uma verificação em tempo de execução.

RefCell

```
use std::cell::RefCell;

fn main() {
    // Observe que `cell` NÃO é declarado como mutável.
    let cell = RefCell::new(5);

    {
        let mut cell_ref = cell.borrow_mut();
        *cell_ref = 123;

        // Isso gera um erro em tempo de execução.
        // let other = cell.borrow();
        // println!("{}", *other);
    }

    println!("{cell:?}");
}
```

Cell

`Cell` envolve um valor e permite obter ou definir o valor, mesmo com uma referência compartilhada para o `Cell`. No entanto, não permite nenhuma referência ao valor. Como não há referências, as regras de empréstimo não podem ser quebradas.

```
use std::cell::Cell;

fn main() {
    // Observe que `cell` NÃO é declarado como mutável.
    let cell = Cell::new(5);

    cell.set(123);
    println!("{}", cell.get());
}
```

O principal a ser observado neste slide é que o Rust fornece maneiras *seguras* de modificar dados por trás de uma referência compartilhada. Há uma variedade de maneiras de garantir essa segurança, e `RefCell` e `Cell` são duas delas.

- `RefCell` faz cumprir as regras de empréstimo usuais do Rust (ou várias referências compartilhadas ou uma única referência exclusiva) com uma verificação em tempo de execução. Neste caso, todos os empréstimos são muito curtos e nunca se sobrepõem, então as verificações sempre têm sucesso.
  - O bloco extra no exemplo de `RefCell` é para encerrar o empréstimo criado pela chamada a `borrow_mut` antes de imprimir o `cell`. Tentar imprimir um `RefCell` emprestado mostra apenas a mensagem `"{borrowed}"`.

- `Cell` é um meio mais simples de garantir a segurança: ele tem um método `set` que recebe `&self`. Isso não precisa de uma verificação em tempo de execução, mas requer mover valores, o que pode ter seu próprio custo.
- Tanto `RefCell` quanto `Cell` são `!Sync`, o que significa que `&RefCell` e `&Cell` não podem ser passados entre threads. Isso impede que duas threads tentem acessar o `cell` ao mesmo tempo.

22.5 Exercício: Estatísticas de Saúde

Você está trabalhando na implementação de um sistema de monitoramento de saúde. Como parte disso, você precisa acompanhar as estatísticas de saúde dos usuários.

Você começará com um esboço de função em um bloco `impl` e também uma definição de `struct User`. Seu objetivo é implementar o método esboçado na `struct User` definida no bloco `impl`.

Copie o código abaixo em https://play.rust-lang.org/ e implemente os métodos que estão faltando:

```
// TODO: remova isto quando você terminar sua implementação.


pub struct User {
    name: String,
    age: u32,
    height: f32,
    visit_count: usize,
    last_blood_pressure: Option<(u32, u32)>,
}

pub struct Measurements {
    height: f32,
    blood_pressure: (u32, u32),
}

pub struct HealthReport<'a> {
    patient_name: &'a str,
    visit_count: u32,
    height_change: f32,
    blood_pressure_change: Option<(i32, i32)>,
}

impl User {
    pub fn new(name: String, age: u32, height: f32) -> Self {
        Self { name, age, height, visit_count: 0, last_blood_pressure: None }
    }

    pub fn visit_doctor(&mut self, measurements: Measurements) -> HealthReport {
        todo!("Atualiza as estatísticas de um usuário com base nas medições de uma visi
    }
}
```

```
fn main() {
    let bob = User::new(String::from("Bob"), 32, 155.2);
    println!("Eu sou {} e minha idade é {}", bob.name, bob.age);
}

fn test_visit() {
    let mut bob = User::new(String::from("Bob"), 32, 155.2);
    assert_eq!(bob.visit_count, 0);
    let report =
        bob.visit_doctor(Measurements { height: 156.1, blood_pressure: (120, 80) });
    assert_eq!(report.patient_name, "Bob");
    assert_eq!(report.visit_count, 1);
    assert_eq!(report.blood_pressure_change, None);

    let report =
        bob.visit_doctor(Measurements { height: 156.1, blood_pressure: (115, 76) });

    assert_eq!(report.visit_count, 2);
    assert_eq!(report.blood_pressure_change, Some((-5, -4)));
}
```

22.5.1 Solução

```
pub struct User {
    name: String,
    age: u32,
    height: f32,
    visit_count: usize,
    last_blood_pressure: Option<(u32, u32)>,
}

pub struct Measurements {
    height: f32,
    blood_pressure: (u32, u32),
}

pub struct HealthReport<'a> {
    patient_name: &'a str,
    visit_count: u32,
    height_change: f32,
    blood_pressure_change: Option<(i32, i32)>,
}

impl User {
    pub fn new(name: String, age: u32, height: f32) -> Self {
        Self { name, age, height, visit_count: 0, last_blood_pressure: None }
    }

    pub fn visit_doctor(&mut self, measurements: Measurements) -> HealthReport {
```

```
        self.visit_count += 1;
        let bp = measurements.blood_pressure;
        let report = HealthReport {
            patient_name: &self.name,
            visit_count: self.visit_count as u32,
            height_change: measurements.height - self.height,
            blood_pressure_change: match self.last_blood_pressure {
                Some(lbp) => {
                    Some((bp.0 as i32 - lbp.0 as i32, bp.1 as i32 - lbp.1 as i32))
                }
                None => None,
            },
        };
        self.height = measurements.height;
        self.last_blood_pressure = Some(bp);
        report
    }
}

fn main() {
    let bob = User::new(String::from("Bob"), 32, 155.2);
    println!("Eu sou {} e minha idade é {}", bob.name, bob.age);
}

fn test_visit() {
    let mut bob = User::new(String::from("Bob"), 32, 155.2);
    assert_eq!(bob.visit_count, 0);
    let report =
        bob.visit_doctor(Measurements { height: 156.1, blood_pressure: (120, 80) });
    assert_eq!(report.patient_name, "Bob");
    assert_eq!(report.visit_count, 1);
    assert_eq!(report.blood_pressure_change, None);

    let report =
        bob.visit_doctor(Measurements { height: 156.1, blood_pressure: (115, 76) });

    assert_eq!(report.visit_count, 2);
    assert_eq!(report.blood_pressure_change, Some((-5, -4)));
}
```

Capítulo 23

Tempos de Vida (Lifetimes)

This segment should take about 50 minutes. It contains:

Slide	Duration
Anotações de Tempo de Vida	10 minutes
Elisão de Tempo de Vida	5 minutes
Tempos de Vida de Structs	5 minutes
Exercício: Análise de Protobuf	30 minutes

23.1 Anotações de Tempo de Vida

Uma referência tem um *tempo de vida* (lifetime), que não deve ”sobreviver” ao valor ao qual se refere. Isso é verificado pelo *borrow checker* (verificador de empréstimo).

O tempo de vida pode ser implícito - isso é o que vimos até agora. Os tempos de vida também podem ser explícitos: `&'a Point`, `&'document str`. Os tempos de vida começam com `'` e `'a` é um nome padrão típico. Leia `&'a Point` como ”um `Point` emprestado que é válido por pelo menos o tempo de vida `a`”.

Os tempos de vida são sempre inferidos pelo compilador: você não pode atribuir um tempo de vida por conta própria. Anotações explícitas de tempo de vida criam restrições onde há ambiguidade; o compilador verifica se há uma solução válida.

Os tempos de vida se tornam mais complicados ao considerar a passagem de valores para e a devolução de valores de funções.

```
struct Point(i32, i32);

fn left_most(p1: &Point, p2: &Point) -> &Point {
    if p1.0 < p2.0 {
        p1
    } else {
        p2
    }
}
```

```rust
fn main() {
    let p1: Point = Point(10, 10);
    let p2: Point = Point(20, 20);
    let p3 = left_most(&p1, &p2); // Qual é o tempo de vida de p3?
    println!("p3: {p3:?}");
}
```

Neste exemplo, o compilador não sabe qual tempo de vida inferir para p3. Olhando dentro do corpo da função nos mostra que ele só pode assumir com segurança que o tempo de vida de p3 é o mais curto de p1 e p2. Mas assim como os tipos, o Rust requer anotações explícitas de tempos de vida nos argumentos e valores de retorno da função.

Adicione `'a` apropriadamente a `left_most` (mais à esquerda):

```rust
fn left_most<'a>(p1: &'a Point, p2: &'a Point) -> &'a Point {
```

Isto diz, ”dado p1 e p2 que sobrevivem a `'a`, o valor de retorno vive por pelo menos `'a`.

Em casos comuns, os tempos de vida podem ser omitidos, como descrito no próximo slide.

23.2 Tempos de vida (Lifetimes) em Chamadas de Função

Tempos de vida para argumentos de função e valores de retorno precisam ser completamente especificados, mas o Rust permite que eles sejam omitidos na maioria das vezes com algumas regras simples. Isso não é inferência - é apenas uma abreviação sintática.

- Cada argumento que não tem uma anotação de tempo de vida é dado um.
- Se houver apenas um tempo de vida de argumento, ele é dado a todos os valores de retorno não anotados.
- Se houver vários tempos de vida de argumento, mas o primeiro for para `self` (*self*), esse tempo de vida é dado a todos os valores de retorno não anotados.

```rust
struct Point(i32, i32);

fn cab_distance(p1: &Point, p2: &Point) -> i32 {
    (p1.0 - p2.0).abs() + (p1.1 - p2.1).abs()
}

fn nearest<'a>(points: &'a [Point], query: &Point) -> Option<&'a Point> {
    let mut nearest = None;
    for p in points {
        if let Some((_, nearest_dist)) = nearest {
            let dist = cab_distance(p, query);
            if dist < nearest_dist {
                nearest = Some((p, dist));
            }
        } else {
            nearest = Some((p, cab_distance(p, query)));
        };
    }
    nearest.map(|(p, _)| p)
}
```

```
fn main() {
    println!(
        "{:?}",
        nearest(
            &[Point(1, 0), Point(1, 0), Point(-1, 0), Point(0, -1),],
            &Point(0, 2)
        )
    );
}
```

Neste exemplo, `cab_distance` é trivialmente omitido.

A função `nearest` fornece outro exemplo de uma função com várias referências em seus argumentos que requer anotação explícita.

Tente ajustar a assinatura para "mentir" sobre os tempos de vida retornados:

```
fn nearest<'a, 'q>(points: &'a [Point], query: &'q Point) -> Option<&'q Point> {
```

Isso não irá compilar, demonstrando que as anotações são verificadas quanto à validade pelo compilador. Observe que esse não é o caso dos ponteiros brutos (*raw pointers*) (inseguros), e essa é uma fonte comum de erros com Rust inseguro.

Os alunos podem perguntar quando usar tempos de vida. Os empréstimos do Rust sempre têm tempos de vida. Na maioria das vezes, a omissão e a inferência de tipo significam que eles não precisam ser escritos. Em casos mais complicados, as anotações de tempo de vida podem ajudar a resolver a ambiguidade. Muitas vezes, especialmente ao prototipar, é mais fácil trabalhar com dados *owned* (*owned data*) clonando valores quando necessário.

23.3 Tempos de Vida em Estruturas de Dados

Se um tipo de dados armazena dados emprestados, ele deve ser anotado com um tempo de vida:

```
struct Highlight<'doc>(&'doc str);

fn erase(text: String) {
    println!("Até logo {text}!");
}

fn main() {
    let text = String::from("The quick brown fox jumps over the lazy dog.");
    let fox = Highlight(&text[4..19]);
    let dog = Highlight(&text[35..43]);
    // erase(text);
    println!("{fox:?}");
    println!("{dog:?}");
}
```

- No exemplo acima, a anotação em `Highlight` impõe que os dados subjacentes ao `&str` contido vivam pelo menos tanto quanto qualquer instância de `Highlight` que use esses dados.

- Se `text` for consumido antes do final do tempo de vida de `fox` (ou dog), o *borrow checker* (verificador de empréstimo) lançará um erro.
- Tipos com *borrowed data* (dados emprestados) forçam os usuários a manter os dados originais. Isso pode ser útil para criar exibições leves, mas geralmente as tornam um pouco mais difíceis de usar.
- Quando possível, faça com que as estruturas de dados possuam (*own*) seus dados diretamente.
- Algumas *structs* com múltiplas referências internas podem ter mais de uma anotação de tempo de vida. Isso pode ser necessário se houver a necessidade de descrever-se relacionamentos de tempo de vida entre as próprias referências, além do tempo de vida da própria *struct*. Esses são casos de uso bastante avançados.

23.4 Exercício: Análise de Protobuf

Neste exercício, você construirá um analisador (*parser*) para a codificação binária de protobuf. Não se preocupe, é mais simples do que parece! Isso ilustra um padrão de análise comum, passando *slices* de dados. Os próprios dados subjacentes nunca são copiados.

Analisar (*parse*) completamente uma mensagem protobuf requer conhecer os tipos dos campos, indexados por seus números de campo. Isso é normalmente fornecido em um arquivo `proto`. Neste exercício, codificaremos essas informações em declarações `match` em funções que são chamadas para cada campo.

Usaremos o seguinte proto:

```
message PhoneNumber {
  optional string number = 1;
  optional string type = 2;
}

message Person {
  optional string name = 1;
  optional int32 id = 2;
  repeated PhoneNumber phones = 3;
}
```

Uma mensagem proto é codificada como uma série de campos, um após o outro. Cada um é implementado como uma ”tag” seguida pelo valor. A tag contém um número de campo (por exemplo, 2 para o campo `id` de uma mensagem `Person`) e um tipo de fio (*wire type*) definindo como a carga útil deve ser determinada a partir do fluxo (*stream*) de bytes.

Números inteiros, incluindo a tag, são representados com uma codificação de comprimento variável chamada VARINT. Felizmente, `parse_varint` é definido para você abaixo. O código fornecido também define *callbacks* para lidar com campos `Person` e `PhoneNumber`, e para analisar uma mensagem em uma série de chamadas para esses *callbacks*.

O que resta para você é implementar a função `parse_field` e o *trait* `ProtoMessage` para `Person` e `PhoneNumber`.

```
/// Um wire type como visto no wire.
enum WireType {
    /// O Varint WireType indica que o valor é um único VARINT.
    Varint,
```

```
    //I64,  -- não é necessário para este exercício
    /// O Len WireType indica que o valor é um comprimento representado como um
    /// VARINT seguido exatamente por esse número de bytes.
    Len,
    /// O I32 WireType indica que o valor é precisamente 4 bytes em
    /// ordem little-endian contendo um inteiro de 32 bits com sinal.
    I32,
}

/// O valor de um campo, digitado com base no wire type.
enum FieldValue<'a> {
    Varint(u64),
    //I64(i64),  -- não é necessário para este exercício
    Len(&'a [u8]),
    I32(i32),
}

/// Um campo, contendo o número do campo e seu valor.
struct Field<'a> {
    field_num: u64,
    value: FieldValue<'a>,
}

trait ProtoMessage<'a>: Default + 'a {
    fn add_field(&mut self, field: Field<'a>);
}

impl From<u64> for WireType {
    fn from(value: u64) -> Self {
        match value {
            0 => WireType::Varint,
            //1 => WireType::I64,  -- não é necessário para este exercício
            2 => WireType::Len,
            5 => WireType::I32,
            _ => panic!("Wire-type inválido: {value}"),
        }
    }
}

impl<'a> FieldValue<'a> {
    fn as_string(&self) -> &'a str {
        let FieldValue::Len(data) = self else {
            panic!("Esperava-se que a string fosse um campo `Len`");
        };
        std::str::from_utf8(data).expect("String inválida")
    }

    fn as_bytes(&self) -> &'a [u8] {
        let FieldValue::Len(data) = self else {
            panic!("Esperava-se que os bytes fossem um campo `Len`");
        };
```

```
        data
    }

    fn as_u64(&self) -> u64 {
        let FieldValue::Varint(value) = self else {
            panic!("Esperava-se que `u64` fosse um campo `Varint");
        };
        *value
    }

    fn as_i32(&self) -> i32 {
        let FieldValue::I32(value) = self else {
            panic!("Esperava-se que `i32` fosse um campo `I32");
        };
        *value
    }
}

/// Analise (_parse_) um VARINT, retornando o valor analisado e os bytes restantes.
fn parse_varint(data: &[u8]) -> (u64, &[u8]) {
    for i in 0..7 {
        let Some(b) = data.get(i) else {
            panic!("Não há bytes suficientes para o varint");
        };
        if b & 0x80 == 0 {
            // Este é o último byte do VARINT, então converta-o para
            // um u64 e retorne-o.
            let mut value = 0u64;
            for b in data[..=i].iter().rev() {
                value = (value << 7) | (b & 0x7f) as u64;
            }
            return (value, &data[i + 1..]);
        }
    }

    // Mais de 7 bytes é inválido.
    panic!("Bytes demais para varint");
}

/// Converta uma tag em um número de campo e um WireType.
fn unpack_tag(tag: u64) -> (u64, WireType) {
    let field_num = tag >> 3;
    let wire_type = WireType::from(tag & 0x7);
    (field_num, wire_type)
}


/// Analise (_parse_) um campo, retornando os bytes restantes
fn parse_field(data: &[u8]) -> (Field, &[u8]) {
    let (tag, remainder) = parse_varint(data);
    let (field_num, wire_type) = unpack_tag(tag);
```

```
    let (fieldvalue, remainder) = match wire_type {
        _ => todo!("Com base no wire type, construa um Field, consumindo quantos bytes f
    };
    todo!("Retorne o campo e quaisquer bytes não consumidos.")
}

/// Analise (_parse_) uma mensagem nos dados fornecidos, chamando `T::add_field` para ca
/// mensagem.
///
/// Todo o input é consumido.
fn parse_message<'a, T: ProtoMessage<'a>>(mut data: &'a [u8]) -> T {
    let mut result = T::default();
    while !data.is_empty() {
        let parsed = parse_field(data);
        result.add_field(parsed.0);
        data = parsed.1;
    }
    result
}

struct PhoneNumber<'a> {
    number: &'a str,
    type_: &'a str,
}

struct Person<'a> {
    name: &'a str,
    id: u64,
    phone: Vec<PhoneNumber<'a>>,
}

// TODO: Implemente ProtoMessage para Person e PhoneNumber.

fn main() {
    let person: Person = parse_message(&[
        0x0a, 0x07, 0x6d, 0x61, 0x78, 0x77, 0x65, 0x6c, 0x6c, 0x10, 0x2a, 0x1a,
        0x16, 0x0a, 0x0e, 0x2b, 0x31, 0x32, 0x30, 0x32, 0x2d, 0x35, 0x35, 0x35,
        0x2d, 0x31, 0x32, 0x31, 0x32, 0x12, 0x04, 0x68, 0x6f, 0x6d, 0x65, 0x1a,
        0x18, 0x0a, 0x0e, 0x2b, 0x31, 0x38, 0x30, 0x30, 0x2d, 0x38, 0x36, 0x37,
        0x2d, 0x35, 0x33, 0x30, 0x38, 0x12, 0x06, 0x6d, 0x6f, 0x62, 0x69, 0x6c,
        0x65,
    ]);
    println!("{:#?}", person);
}
```

- Neste exercício, há vários casos em que a análise de protobuf pode falhar, por exemplo, se você tentar analisar um `i32` quando houver menos de 4 bytes restantes no buffer de dados. Em código Rust normal, lidaríamos com isso com o enum `Result`, mas para simplicidade neste exercício, lançamos um pânico se ocorrerem erros. No dia 4, abordaremos o tratamento de erros em Rust com mais detalhes.

23.4.1 Solução

```
/// Um wire type como visto no wire.
enum WireType {
    /// O Varint WireType indica que o valor é um único VARINT.
    Varint,
    //I64,  -- não é necessário para este exercício
    /// O Len WireType indica que o valor é um comprimento representado como um
    /// VARINT seguido exatamente por esse número de bytes.
    Len,
    /// O I32 WireType indica que o valor é precisamente 4 bytes em
    /// ordem little-endian contendo um inteiro de 32 bits com sinal.
    I32,
}

/// O valor de um campo, digitado com base no wire type.
enum FieldValue<'a> {
    Varint(u64),
    //I64(i64),  -- não é necessário para este exercício
    Len(&'a [u8]),
    I32(i32),
}

/// Um campo, contendo o número do campo e seu valor.
struct Field<'a> {
    field_num: u64,
    value: FieldValue<'a>,
}

trait ProtoMessage<'a>: Default + 'a {
    fn add_field(&mut self, field: Field<'a>);
}

impl From<u64> for WireType {
    fn from(value: u64) -> Self {
        match value {
            0 => WireType::Varint,
            //1 => WireType::I64,  -- não é necessário para este exercício
            2 => WireType::Len,
            5 => WireType::I32,
            _ => panic!("Wire-type inválido: {value}"),
        }
    }
}

impl<'a> FieldValue<'a> {
    fn as_string(&self) -> &'a str {
        let FieldValue::Len(data) = self else {
            panic!("Esperava-se que a string fosse um campo `Len`");
        };
        std::str::from_utf8(data).expect("String inválida")
```

```
    }

    fn as_bytes(&self) -> &'a [u8] {
        let FieldValue::Len(data) = self else {
            panic!("Esperava-se que os bytes fossem um campo `Len`");
        };
        data
    }

    fn as_u64(&self) -> u64 {
        let FieldValue::Varint(value) = self else {
            panic!("Esperava-se que `u64` fosse um campo `Varint");
        };
        *value
    }

    fn as_i32(&self) -> i32 {
        let FieldValue::I32(value) = self else {
            panic!("Esperava-se que `i32` fosse um campo `I32");
        };
        *value
    }
}

/// Analise (_parse_) um VARINT, retornando o valor analisado e os bytes restantes.
fn parse_varint(data: &[u8]) -> (u64, &[u8]) {
    for i in 0..7 {
        let Some(b) = data.get(i) else {
            panic!("Não há bytes suficientes para o varint");
        };
        if b & 0x80 == 0 {
            // Este é o último byte do VARINT, então converta-o para
            // um u64 e retorne-o.
            let mut value = 0u64;
            for b in data[..=i].iter().rev() {
                value = (value << 7) | (b & 0x7f) as u64;
            }
            return (value, &data[i + 1..]);
        }
    }

    // Mais de 7 bytes é inválido.
    panic!("Bytes demais para varint");
}

/// Converta uma tag em um número de campo e um WireType.
fn unpack_tag(tag: u64) -> (u64, WireType) {
    let field_num = tag >> 3;
    let wire_type = WireType::from(tag & 0x7);
    (field_num, wire_type)
}
```

```rust
/// Analise (_parse_) um campo, retornando os bytes restantes
fn parse_field(data: &[u8]) -> (Field, &[u8]) {
    let (tag, remainder) = parse_varint(data);
    let (field_num, wire_type) = unpack_tag(tag);
    let (fieldvalue, remainder) = match wire_type {
        WireType::Varint => {
            let (value, remainder) = parse_varint(remainder);
            (FieldValue::Varint(value), remainder)
        }
        WireType::Len => {
            let (len, remainder) = parse_varint(remainder);
            let len: usize = len.try_into().expect("len não é um `usize` válido");
            if remainder.len() < len {
                panic!("EOF inesperado");
            }
            let (value, remainder) = remainder.split_at(len);
            (FieldValue::Len(value), remainder)
        }
        WireType::I32 => {
            if remainder.len() < 4 {
                panic!("EOF inesperado");
            }
            let (value, remainder) = remainder.split_at(4);
            // Unwrap o erro porque `value` definitivamente tem 4 bytes.
            let value = i32::from_le_bytes(value.try_into().unwrap());
            (FieldValue::I32(value), remainder)
        }
    };
    (Field { field_num, value: fieldvalue }, remainder)
}

/// Analise (_parse_) uma mensagem nos dados fornecidos, chamando `T::add_field` para ca
/// mensagem.
///
/// Todo o input é consumido.
fn parse_message<'a, T: ProtoMessage<'a>>(mut data: &'a [u8]) -> T {
    let mut result = T::default();
    while !data.is_empty() {
        let parsed = parse_field(data);
        result.add_field(parsed.0);
        data = parsed.1;
    }
    result
}

struct PhoneNumber<'a> {
    number: &'a str,
    type_: &'a str,
}
```

```
struct Person<'a> {
    name: &'a str,
    id: u64,
    phone: Vec<PhoneNumber<'a>>,
}

impl<'a> ProtoMessage<'a> for Person<'a> {
    fn add_field(&mut self, field: Field<'a>) {
        match field.field_num {
            1 => self.name = field.value.as_string(),
            2 => self.id = field.value.as_u64(),
            3 => self.phone.push(parse_message(field.value.as_bytes())),
            _ => {} // pule todo o resto
        }
    }
}

impl<'a> ProtoMessage<'a> for PhoneNumber<'a> {
    fn add_field(&mut self, field: Field<'a>) {
        match field.field_num {
            1 => self.number = field.value.as_string(),
            2 => self.type_ = field.value.as_string(),
            _ => {} // pule todo o resto
        }
    }
}

fn main() {
    let person: Person = parse_message(&[
        0x0a, 0x07, 0x6d, 0x61, 0x78, 0x77, 0x65, 0x6c, 0x6c, 0x10, 0x2a, 0x1a,
        0x16, 0x0a, 0x0e, 0x2b, 0x31, 0x32, 0x30, 0x32, 0x2d, 0x35, 0x35, 0x35,
        0x2d, 0x31, 0x32, 0x31, 0x32, 0x12, 0x04, 0x68, 0x6f, 0x6d, 0x65, 0x1a,
        0x18, 0x0a, 0x0e, 0x2b, 0x31, 0x38, 0x30, 0x30, 0x2d, 0x38, 0x36, 0x37,
        0x2d, 0x35, 0x33, 0x30, 0x38, 0x12, 0x06, 0x6d, 0x6f, 0x62, 0x69, 0x6c,
        0x65,
    ]);
    println!("{:#?}", person);
}
```

Parte VII

Dia 4: Manhã

Capítulo 24

Bem-vindos ao Dia 4

Hoje abordaremos tópicos relacionados à construção de software em larga escala em Rust:

- Iteradores: uma análise profunda do *trait* `Iterator`.
- Módulos e visibilidade.
- Testes.
- Tratamento de erros: pânicos, `Result` e o operador `?`.
- Rust inseguro: a saída de emergência quando você não consegue se expressar em Rust seguro.

Agenda

Including 10 minute breaks, this session should take about 2 hours and 40 minutes. It contains:

Segment	Duration
Bem-vindos	3 minutes
Iteradores	45 minutes
Módulos	40 minutes
Testes	45 minutes

Capítulo 25

Iteradores

This segment should take about 45 minutes. It contains:

Slide	Duration
Iterator	5 minutes
IntoIterator	5 minutes
FromIterator	5 minutes
Exercício: Encadeamento de Métodos de Iterador	30 minutes

25.1 `Iterator`

O *trait* `Iterator` suporta a iteração sobre valores em uma coleção. Ele requer um método `next` e fornece muitos métodos. Muitos tipos da biblioteca padrão implementam `Iterator`, e você também pode implementá-lo:

```
struct Fibonacci {
    curr: u32,
    next: u32,
}

impl Iterator for Fibonacci {
    type Item = u32;

    fn next(&mut self) -> Option<Self::Item> {
        let new_next = self.curr + self.next;
        self.curr = self.next;
        self.next = new_next;
        Some(self.curr)
    }
}

fn main() {
    let fib = Fibonacci { curr: 0, next: 1 };
    for (i, n) in fib.enumerate().take(5) {
```

```
        println!("fib({i}): {n}");
    }
}
```

- O *trait* `Iterator` implementa muitas operações comuns de programação funcional sobre coleções (por exemplo, `map`, `filter`, `reduce`, etc). Este é o *trait* onde você pode encontrar toda a documentação sobre eles. Em Rust, essas funções devem produzir o código tão eficiente quanto as implementações imperativas equivalentes.
- `IntoIterator` é o *trait* que faz os laços `for` funcionarem. Ele é implementado por tipos de coleção como `Vec<T>` e referências a eles como `&Vec<T>` e `&[T]`. Intervalos (*ranges*) também o implementam. É por isso que você pode iterar sobre um vetor com `for i in some_vec { .. }`, mas `some_vec.next()` não existe.

25.2 IntoIterator

O *trait* `Iterator` informa como *iterar* depois de criar um iterador. O *trait* relacionado `IntoIterator` define como criar um iterador para um tipo. Ele é usado automaticamente pelo laço `for`.

```
struct Grid {
    x_coords: Vec<u32>,
    y_coords: Vec<u32>,
}

impl IntoIterator for Grid {
    type Item = (u32, u32);
    type IntoIter = GridIter;
    fn into_iter(self) -> GridIter {
        GridIter { grid: self, i: 0, j: 0 }
    }
}

struct GridIter {
    grid: Grid,
    i: usize,
    j: usize,
}

impl Iterator for GridIter {
    type Item = (u32, u32);

    fn next(&mut self) -> Option<(u32, u32)> {
        if self.i >= self.grid.x_coords.len() {
            self.i = 0;
            self.j += 1;
            if self.j >= self.grid.y_coords.len() {
                return None;
            }
        }
        let res = Some((self.grid.x_coords[self.i], self.grid.y_coords[self.j]));
```

```
        self.i += 1;
        res
    }
}

fn main() {
    let grid = Grid { x_coords: vec![3, 5, 7, 9], y_coords: vec![10, 20, 30, 40] };
    for (x, y) in grid {
        println!("point = {x}, {y}");
    }
}
```

Clique na documentação para `IntoIterator`. Toda implementação de `IntoIterator` deve declarar dois tipos:

- `Item`: o tipo sobre o qual iteramos, como `i8`,
- `IntoIter`: o tipo `Iterator` retornado pelo método `into_iter`.

Observe que `IntoIter` e `Item` estão vinculados: o iterador deve ter o mesmo tipo `Item`, o que significa que ele retorna `Option<Item>`

O exemplo itera sobre todas as combinações de coordenadas x e y.

Tente iterar sobre o *grid* duas vezes em `main`. Por que isso falha? Observe que `IntoIterator::into_iter` assume a propriedade de `self`.

Corrija este problema implementando `IntoIterator` para `&Grid` e armazenando uma referência ao `Grid` em `GridIter`.

O mesmo problema pode ocorrer para tipos da biblioteca padrão: `for e in some_vector` assumirá a propriedade de `some_vector` e iterará sobre elementos *owned* desse vetor. Use `for e in &some_vector` em vez disso, para iterar sobre referências aos elementos de `some_vector`.

25.3 FromIterator

`FromIterator` permite que você construa uma coleção a partir de um `Iterator`.

```
fn main() {
    let primes = vec![2, 3, 5, 7];
    let prime_squares = primes.into_iter().map(|p| p * p).collect::<Vec<_>>();
    println!("prime_squares: {prime_squares:?}");
}
```

`Iterator` implementa

```
fn collect<B>(self) -> B
where
    B: FromIterator<Self::Item>,
    Self: Sized
```

Existem duas maneiras de especificar `B` para este método:

- Com o "turbofish": `some_iterator.collect::<COLLECTION_TYPE>()`, como mostrado. O *shorthand* `_` usado aqui permite que o Rust infira o tipo dos elementos do `Vec`.

- Com inferência de tipo: `let prime_squares: Vec<_> = some_iterator.collect()`. Reescreva o exemplo para usar esta forma.

Há implementações básicas de `FromIterator` para `Vec`, `HashMap`, etc. Também existem implementações mais especializadas que permitem fazer coisas legais, como converter um `Iterator<Item = Result<V, E>>` em um `Result<Vec<V>, E>`.

25.4 Exercício: Encadeamento de Métodos de Iterador

Neste exercício, você precisará encontrar e usar alguns dos métodos fornecidos no *trait* `Iterator` para implementar um cálculo complexo.

Copie o seguinte código para https://play.rust-lang.org/ e faça os testes passarem. Use uma expressão de iterador e `collect` o resultado para construir o valor de retorno.

```
/// Calcule as diferenças entre os elementos de `values` deslocados por `offset`,
/// voltando ao início de `values` no final.
///
/// O elemento `n` do resultado é `values[(n+offset)%len] - values[n]`.
fn offset_differences<N>(offset: usize, values: Vec<N>) -> Vec<N>
where
    N: Copy + std::ops::Sub<Output = N>,
{
    unimplemented!()
}

fn test_offset_one() {
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3, 5, 7]), vec![2, 2, 2, -6]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3, 5]), vec![2, 2, -4]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3]), vec![2, -2]);
}

fn test_larger_offsets() {
    assert_eq!(offset_differences(2, vec![1, 3, 5, 7]), vec![4, 4, -4, -4]);
    assert_eq!(offset_differences(3, vec![1, 3, 5, 7]), vec![6, -2, -2, -2]);
    assert_eq!(offset_differences(4, vec![1, 3, 5, 7]), vec![0, 0, 0, 0]);
    assert_eq!(offset_differences(5, vec![1, 3, 5, 7]), vec![2, 2, 2, -6]);
}

fn test_custom_type() {
    assert_eq!(
        offset_differences(1, vec![1.0, 11.0, 5.0, 0.0]),
        vec![10.0, -6.0, -5.0, 1.0]
    );
}

fn test_degenerate_cases() {
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![0]), vec![0]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1]), vec![0]);
    let empty: Vec<i32> = vec![];
    assert_eq!(offset_differences(1, empty), vec![]);
```

```
}
```

25.4.1 Solução

```
/// Calcule as diferenças entre os elementos de `values` deslocados por `offset`,
/// voltando ao início de `values` no final.
///
/// O elemento `n` do resultado é `values[(n+offset)%len] - values[n]`.
fn offset_differences<N>(offset: usize, values: Vec<N>) -> Vec<N>
where
    N: Copy + std::ops::Sub<Output = N>,
{
    let a = (&values).into_iter();
    let b = (&values).into_iter().cycle().skip(offset);
    a.zip(b).map(|(a, b)| *b - *a).collect()
}

fn test_offset_one() {
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3, 5, 7]), vec![2, 2, 2, -6]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3, 5]), vec![2, 2, -4]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3]), vec![2, -2]);
}

fn test_larger_offsets() {
    assert_eq!(offset_differences(2, vec![1, 3, 5, 7]), vec![4, 4, -4, -4]);
    assert_eq!(offset_differences(3, vec![1, 3, 5, 7]), vec![6, -2, -2, -2]);
    assert_eq!(offset_differences(4, vec![1, 3, 5, 7]), vec![0, 0, 0, 0]);
    assert_eq!(offset_differences(5, vec![1, 3, 5, 7]), vec![2, 2, 2, -6]);
}

fn test_custom_type() {
    assert_eq!(
        offset_differences(1, vec![1.0, 11.0, 5.0, 0.0]),
        vec![10.0, -6.0, -5.0, 1.0]
    );
}

fn test_degenerate_cases() {
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![0]), vec![0]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1]), vec![0]);
    let empty: Vec<i32> = vec![];
    assert_eq!(offset_differences(1, empty), vec![]);
}

fn main() {}
```

Capítulo 26

Módulos

This segment should take about 40 minutes. It contains:

Slide	Duration
Módulos	3 minutes
Hierarquia do Sistema de Arquivos	5 minutes
Visibilidade	5 minutes
use, super, self	10 minutes
Exercício: Módulos para uma Biblioteca GUI	15 minutes

26.1 Módulos

Vimos como os blocos `impl` nos permitem usar *namespaces* (espaços de nomes) de funções para um tipo.

Da mesma forma, `mod` nos permite usar *namespaces* de tipos e funções:

```
mod foo {
    pub fn do_something() {
        println!("No módulo foo");
    }
}

mod bar {
    pub fn do_something() {
        println!("No módulo bar");
    }
}

fn main() {
    foo::do_something();
    bar::do_something();
}
```

- Pacotes (*packages*) fornecem funcionalidades e incluem um arquivo `Cargo.toml` que descreve como gerar um pacote com um ou mais *crates*.
- *Crates* são arvores de módulos, onde um *crate* binário cria um executável e um *crate* de biblioteca é compilado em uma biblioteca.
- Módulos definem organização, escopo e são o foco desta seção.

26.2 Hierarquia do Sistema de Arquivos

Omitir o conteúdo do módulo dirá ao Rust para procurá-lo em outro arquivo:

```
mod garden;
```

Isto diz ao Rust que o conteúdo do módulo `garden` é encontrado em `src/garden.rs`. Da mesma forma, um módulo `garden::vegetables` pode ser encontrado em `src/garden/vegetables.rs`.

A raiz do `crate` está em:

- `src/lib.rs` (para um *crate* de biblioteca)
- `src/main.rs` (para um *crate* binário)

Módulos definidos em arquivos também podem ser documentados usando "comentários internos de documento" (*inner doc comments*). Estes documentam o item que os contém - neste caso, um módulo.

```
//! Este módulo implementa o jardim (_garden_), incluindo uma implementação de germinaçã
//!  de alto desempenho.

// Re-exporta tipos deste módulo.
pub use garden::Garden;
pub use seeds::SeedPacket;

/// Semeia os pacotes de semente fornecidos.
pub fn sow(seeds: Vec<SeedPacket>) {
    todo!()
}

/// Colhe os vegetais no jardim que está pronto.
pub fn harvest(garden: &mut Garden) {
    todo!()
}
```

- Antes do Rust 2018, os módulos precisavam estar localizados em `module/mod.rs` ao invés de `module.rs`, e esta ainda é uma alternativa funcional para edições posteriores a 2018.
- A principal razão para introduzir `nome_de_arquivo.rs` como alternativa a `nome_de_arquivo/mod.rs` foi porque muitos arquivos denominados `mod.rs` podem ser difíceis de distinguir em IDEs.
- O aninhamento mais profundo pode usar pastas, mesmo que o módulo principal seja um arquivo:

```
src/
├── main.rs
├── top_module.rs
```

```
└── top_module/
    └── sub_module.rs
```

- O local no qual o Rust irá procurar por módulos pode ser alterado por meio de uma diretiva de compilador:

  ```
  mod some_module;
  ```

  Isto é útil, por exemplo, se você quiser colocar testes para um módulo em um arquivo chamado `algum_modulo_teste.rs`, semelhante à convenção em Go.

26.3 Visibilidade

Módulos são limitadores de privacidade:

- Itens do módulo são privados por padrão (ocultam detalhes de implementação).
- Itens paternos e fraternos são sempre visíveis.
- Em outras palavras, se um item é visível no módulo `foo`, ele é visível em todos os descendentes de `foo`.

```
mod outer {
    fn private() {
        println!("outer::private");
    }

    pub fn public() {
        println!("outer::public");
    }

    mod inner {
        fn private() {
            println!("outer::inner::private");
        }

        pub fn public() {
            println!("outer::inner::public");
            super::private();
        }
    }
}

fn main() {
    outer::public();
}
```

- Use a palavra reservada pub para tornar módulos públicos.

Adicionamente, existem especificadores `pub(...)` avançados para restringir o escopo de visibilidade pública.

- Veja a Referência Rust.
- A configuração de visibilidade `pub(crate)` é um padrão comum.
- Menos comum, você pode dar visibilidade para um caminho específico.

- Em todo caso, a visibilidade deve ser concedida a um módulo ancestral (e a todos os seus descendentes).

26.4 use, super, self

Um módulo pode trazer símbolos de outro módulo para o escopo com `use`. Normalmente, você verá algo assim na parte superior de cada módulo:

```
use std::collections::HashSet;
use std::process::abort;
```

Caminhos (*Paths*)

Caminhos são resolvidos da seguinte forma:

1. Como um caminho relativo:
    - `foo` ou `self::foo` referem-se à `foo` no módulo atual,
    - `super::foo` refere-se à `foo` no módulo pai.
2. Como um caminho absoluto:
    - `crate::foo` refere-se à `foo` na raiz do *crate* atual,
    - `bar::foo` refere-se a `foo` no *crate* `bar`.

- É comum "re-exportar" símbolos em um caminho mais curto. Por exemplo, o nível superior `lib.rs` em um *crate* pode ter

  ```
  mod storage;

  pub use storage::disk::DiskStorage;
  pub use storage::network::NetworkStorage;
  ```

  tornando `DiskStorage` e `NetworkStorage` disponíveis para outros *crates* com um caminho conveniente e curto.

- Na maior parte, apenas itens que aparecem em um módulo precisam ser `use`. No entanto, um *trait* deve estar no escopo para chamar quaisquer métodos nesse *trait*, mesmo que um tipo que implemente esse *trait* já esteja no escopo. Por exemplo, para usar o método `read_to_string` em um tipo que implementa o *trait* `Read`, você precisa `use std::io::Read`.
- A instrução `use` pode ter um curinga: `use std::io::*`. Isso é desencorajado porque não está claro quais itens são importados, e eles podem mudar ao longo do tempo.

26.5 Exercício: Módulos para uma Biblioteca GUI

Neste exercício, você reorganizará uma pequena implementação de uma biblioteca GUI. Esta biblioteca define um *trait* `Widget` e algumas implementações desse *trait*, bem como uma função `main`.

É típico colocar cada tipo ou conjunto de tipos intimamente relacionados em seu próprio módulo, então cada tipo de *widget* deve ter seu próprio módulo.

Configuração do Cargo

O *playground* do Rust suporta apenas um arquivo, então você precisará criar um projeto Cargo em seu sistema de arquivos local:

```
cargo init gui-modules
cd gui-modules
cargo run
```

Edite o `src/main.rs` resultante para adicionar declarações `mod`, e adicione arquivos adicionais no diretório `src`.

Código-fonte

Aqui está a implementação de um único módulo da biblioteca GUI:

```
pub trait Widget {
    /// Largura natural de `self`.
    fn width(&self) -> usize;

    /// Desenha o _widget_ em um buffer.
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write);

    /// Desenha o _widget_ na saída padrão.
    fn draw(&self) {
        let mut buffer = String::new();
        self.draw_into(&mut buffer);
        println!("{buffer}");
    }
}

pub struct Label {
    label: String,
}

impl Label {
    fn new(label: &str) -> Label {
        Label { label: label.to_owned() }
    }
}

pub struct Button {
    label: Label,
}

impl Button {
    fn new(label: &str) -> Button {
        Button { label: Label::new(label) }
    }
}

pub struct Window {
```

```
    title: String,
    widgets: Vec<Box<dyn Widget>>,
}

impl Window {
    fn new(title: &str) -> Window {
        Window { title: title.to_owned(), widgets: Vec::new() }
    }

    fn add_widget(&mut self, widget: Box<dyn Widget>) {
        self.widgets.push(widget);
    }

    fn inner_width(&self) -> usize {
        std::cmp::max(
            self.title.chars().count(),
            self.widgets.iter().map(|w| w.width()).max().unwrap_or(0),
        )
    }
}

impl Widget for Window {
    fn width(&self) -> usize {
        // Adiciona 4 preenchimentos para as bordas
        self.inner_width() + 4
    }

    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        let mut inner = String::new();
        for widget in &self.widgets {
            widget.draw_into(&mut inner);
        }

        let inner_width = self.inner_width();

        // TODO: Altere draw_into para retornar Result<(), std::fmt::Error>. Então use
        // o operador ? aqui em vez de .unwrap().
        writeln!(buffer, "+-{:-<inner_width$}-+", "").unwrap();
        writeln!(buffer, "| {:^inner_width$} |", &self.title).unwrap();
        writeln!(buffer, "+={:=<inner_width$}=+", "").unwrap();
        for line in inner.lines() {
            writeln!(buffer, "| {:inner_width$} |", line).unwrap();
        }
        writeln!(buffer, "+-{:-<inner_width$}-+", "").unwrap();
    }
}

impl Widget for Button {
    fn width(&self) -> usize {
        self.label.width() + 8 // adicione um pouco de preenchimento
    }
```

```
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        let width = self.width();
        let mut label = String::new();
        self.label.draw_into(&mut label);

        writeln!(buffer, "+{:-<width$}+", "").unwrap();
        for line in label.lines() {
            writeln!(buffer, "|{:^width$}|", &line).unwrap();
        }
        writeln!(buffer, "+{:-<width$}+", "").unwrap();
    }
}

impl Widget for Label {
    fn width(&self) -> usize {
        self.label.lines().map(|line| line.chars().count()).max().unwrap_or(0)
    }

    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        writeln!(buffer, "{}", &self.label).unwrap();
    }
}

fn main() {
    let mut window = Window::new("Rust GUI Demo 1.23");
    window.add_widget(Box::new(Label::new("Este é um pequeno demo de GUI em texto.")));
    window.add_widget(Box::new(Button::new("Clique em mim!")));
    window.draw();
}
```

Incentive os alunos a dividir o código de uma maneira que pareça natural para eles, e se acostumem com as declarações `mod`, `use` e `pub` necessárias. Depois, discuta quais organizações são mais idiomáticas.

26.5.1 Solução

```
src
├── main.rs
├── widgets
│   ├── button.rs
│   ├── label.rs
│   └── window.rs
└── widgets.rs
```

```
// ---- src/widgets.rs ----
mod button;
mod label;
mod window;

pub trait Widget {
```

```
    /// Largura natural de `self`.
    fn width(&self) -> usize;

    /// Desenha o _widget_ em um buffer.
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write);

    /// Desenha o _widget_ na saída padrão.
    fn draw(&self) {
        let mut buffer = String::new();
        self.draw_into(&mut buffer);
        println!("{buffer}");
    }
}

pub use button::Button;
pub use label::Label;
pub use window::Window;
```

```
// ---- src/widgets/label.rs ----
use super::Widget;

pub struct Label {
    label: String,
}

impl Label {
    pub fn new(label: &str) -> Label {
        Label { label: label.to_owned() }
    }
}

impl Widget for Label {
    fn width(&self) -> usize {
        // ANCHOR_END: Label-width
        self.label.lines().map(|line| line.chars().count()).max().unwrap_or(0)
    }

    // ANCHOR: Label-draw_into
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        // ANCHOR_END: Label-draw_into
        writeln!(buffer, "{}", &self.label).unwrap();
    }
}
```

```
// ---- src/widgets/button.rs ----
use super::{Label, Widget};

pub struct Button {
    label: Label,
}

impl Button {
```

```
    pub fn new(label: &str) -> Button {
        Button { label: Label::new(label) }
    }
}

impl Widget for Button {
    fn width(&self) -> usize {
        // ANCHOR_END: Button-width
        self.label.width() + 8 // adicione um pouco de preenchimento
    }

    // ANCHOR: Button-draw_into
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        // ANCHOR_END: Button-draw_into
        let width = self.width();
        let mut label = String::new();
        self.label.draw_into(&mut label);

        writeln!(buffer, "+{:-<width$}+", "").unwrap();
        for line in label.lines() {
            writeln!(buffer, "|{:^width$}|", &line).unwrap();
        }
        writeln!(buffer, "+{:-<width$}+", "").unwrap();
    }
}

// ---- src/widgets/window.rs ----
use super::Widget;

pub struct Window {
    title: String,
    widgets: Vec<Box<dyn Widget>>,
}

impl Window {
    pub fn new(title: &str) -> Window {
        Window { title: title.to_owned(), widgets: Vec::new() }
    }

    pub fn add_widget(&mut self, widget: Box<dyn Widget>) {
        self.widgets.push(widget);
    }

    fn inner_width(&self) -> usize {
        std::cmp::max(
            self.title.chars().count(),
            self.widgets.iter().map(|w| w.width()).max().unwrap_or(0),
        )
    }
}
```

```
impl Widget for Window {
    fn width(&self) -> usize {
        // ANCHOR_END: Window-width
        // Adiciona 4 preenchimentos para as bordas
        self.inner_width() + 4
    }

    // ANCHOR: Window-draw_into
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        // ANCHOR_END: Window-draw_into
        let mut inner = String::new();
        for widget in &self.widgets {
            widget.draw_into(&mut inner);
        }

        let inner_width = self.inner_width();

        // TODO: depois de aprender sobre tratamento de erros, você pode alterar
        // draw_into para retornar Result<(), std::fmt::Error>. Então use
        // o operador ? aqui em vez de .unwrap().
        writeln!(buffer, "+-{:-<inner_width$}-+", "").unwrap();
        writeln!(buffer, "| {:^inner_width$} |", &self.title).unwrap();
        writeln!(buffer, "+={:=<inner_width$}=+", "").unwrap();
        for line in inner.lines() {
            writeln!(buffer, "| {:inner_width$} |", line).unwrap();
        }
        writeln!(buffer, "+-{:-<inner_width$}-+", "").unwrap();
    }
}

// ---- src/main.rs ----
mod widgets;

use widgets::Widget;

fn main() {
    let mut window = widgets::Window::new("Rust GUI Demo 1.23");
    window
        .add_widget(Box::new(widgets::Label::new("Este é um pequeno demo de GUI em texto
    window.add_widget(Box::new(widgets::Button::new("Clique em mim!")));
    window.draw();
}
```

Capítulo 27

Testes

This segment should take about 45 minutes. It contains:

Slide	Duration
Módulos de Teste	5 minutes
Outros Tipos de Testes	5 minutes
Lints do Compilador e Clippy	3 minutes
Exercício: Algoritmo de Luhn	30 minutes

27.1 Testes Unitários

Rust e Cargo vêm com uma estrutura de testes unitários simples:

- Testes unitários são suportados em todo o seu código.
- Testes de integração são suportados através do diretório `tests/`.

Testes são marcados com `#[test]`. Testes unitários são frequentemente colocados em um módulo aninhado `tests`, usando `#[cfg(test)]` para compilá-los condicionalmente apenas ao construir testes.

```
fn first_word(text: &str) -> &str {
    match text.find(' ') {
        Some(idx) => &text[..idx],
        None => &text,
    }
}

mod tests {
    use super::*;

    fn test_empty() {
        assert_eq!(first_word(""), "");
    }
```

```
    fn test_single_word() {
        assert_eq!(first_word("Olá"), "Olá");
    }

    fn test_multiple_words() {
        assert_eq!(first_word("Hello World"), "Olá");
    }
}
```

- Isso permite que você tenha testes unitários auxiliares privados.
- O atributo `#[cfg(test)]` somente fica ativo quando você executa `cargo test`.

Execute os testes no *playground* para mostrar seus resultados.

27.2 Outros Tipos de Testes

Testes de Integração

Se quiser testar sua biblioteca como um cliente, use um teste de integração.

Crie um arquivo `.rs` em `tests/`:

```
// tests/my_library.rs
use my_library::init;

fn test_init() {
    assert!(init().is_ok());
}
```

Esses testes têm acesso somente à API pública do seu crate.

Testes de Documentação

Rust tem suporte embutido para testes de documentação:

```
/// Reduz uma string para o comprimento fornecido.
///
/// ```
/// # use playground::shorten_string;
/// assert_eq!(shorten_string("Hello World", 5), "Hello");
/// assert_eq!(shorten_string("Hello World", 20), "Hello World");
/// ```
pub fn shorten_string(s: &str, length: usize) -> &str {
    &s[..std::cmp::min(length, s.len())]
}
```

- Blocos de código em comentários `///` são vistos automaticamente como código Rust.
- O código será compilado e executado como parte do `cargo test`.
- Adicionar # no código o ocultará da documentação, mas ainda o compilará/executará.
- Teste o código acima no Rust Playground.

27.3 Lints do Compilador e Clippy

O compilador Rust produz mensagens de erro fantásticas, bem como alertas/lints úteis embutidos. Clippy fornece ainda mais lints, organizados em grupos que podem ser habilitados por projeto.

```
fn main() {
    let x = 3;
    while (x < 70000) {
        x *= 2;
    }
    println!("X provavelmente cabe em um u16, certo? {}", x as u16);
}
```

Execute o exemplo de código e examine a mensagem de erro. Existem também alertas/lints visíveis aqui, mas esses não serão mostrados uma vez que o código seja compilado. Mude para o site do *Playground* para mostrar esses lints.

Depois de resolver os lints, execute `clippy` no site do *playground* para mostrar alertas/lints do clippy. Clippy tem uma extensa documentação de seus lints, e adiciona novos lints (incluindo lints de negação padrão) o tempo todo.

Observe que erros ou alertas/lints com `help: ...` podem ser corrigidos com `cargo fix` ou via seu editor.

27.4 Exercício: Algoritmo de Luhn

Algoritmo de Luhn

O algoritmo de Luhn é usado para validar números de cartão de crédito. O algoritmo recebe uma string como entrada e faz o seguinte para validar o número do cartão de crédito:

- Ignore todos os espaços. Rejeite números com menos de dois dígitos.
- Movendo-se da **direita para a esquerda**, dobre cada segundo dígito: para o número 1234, dobramos 3 e 1. Para o número 98765, dobramos 6 e 8.
- Depois de dobrar um dígito, some os dígitos se o resultado for maior que 9. Então, dobrar 7 se torna 14 que se torna `1 + 4 = 5`.
- Some todos os dígitos, dobrados ou não.
- O número do cartão de crédito é válido se a soma terminar em `0`.

O código fornecido provê uma implementação com bugs do algoritmo de Luhn, junto com dois testes unitários básicos que confirmam que a maior parte do algoritmo é implementada corretamente.

Copie o código abaixo para https://play.rust-lang.org/ e escreva testes adicionais para descobrir bugs na implementação fornecida, corrigindo quaisquer bugs que você encontrar.

```
pub fn luhn(cc_number: &str) -> bool {
    let mut sum = 0;
    let mut double = false;
```

```
    for c in cc_number.chars().rev() {
        if let Some(digit) = c.to_digit(10) {
            if double {
                let double_digit = digit * 2;
                sum +=
                    if double_digit > 9 { double_digit - 9 } else { double_digit };
            } else {
                sum += digit;
            }
            double = !double;
        } else {
            continue;
        }
    }

    sum % 10 == 0
}

mod test {
    use super::*;

    fn test_valid_cc_number() {
        assert!(luhn("4263 9826 4026 9299"));
        assert!(luhn("4539 3195 0343 6467"));
        assert!(luhn("7992 7398 713"));
    }

    fn test_invalid_cc_number() {
        assert!(!luhn("4223 9826 4026 9299"));
        assert!(!luhn("4539 3195 0343 6476"));
        assert!(!luhn("8273 1232 7352 0569"));
    }
}
```

27.4.1 Solução

```
// Esta é a versão com bugs que aparece no problema.
pub fn luhn(cc_number: &str) -> bool {
    let mut sum = 0;
    let mut double = false;

    for c in cc_number.chars().rev() {
        if let Some(digit) = c.to_digit(10) {
            if double {
                let double_digit = digit * 2;
                sum +=
                    if double_digit > 9 { double_digit - 9 } else { double_digit };
            } else {
                sum += digit;
            }
            double = !double;
```

```
        } else {
            continue;
        }
    }

    sum % 10 == 0
}

// Esta é a solução e passa em todos os testes abaixo.
pub fn luhn(cc_number: &str) -> bool {
    let mut sum = 0;
    let mut double = false;
    let mut digits = 0;

    for c in cc_number.chars().rev() {
        if let Some(digit) = c.to_digit(10) {
            digits += 1;
            if double {
                let double_digit = digit * 2;
                sum +=
                    if double_digit > 9 { double_digit - 9 } else { double_digit };
            } else {
                sum += digit;
            }
            double = !double;
        } else if c.is_whitespace() {
            continue;
        } else {
            return false;
        }
    }

    digits >= 2 && sum % 10 == 0
}

fn main() {
    let cc_number = "1234 5678 1234 5670";
    println!(
        "O número do cartão de crédito {cc_number} é válido? {}",
        if luhn(cc_number) { "sim" } else { "não" }
    );
}

mod test {
    use super::*;

    fn test_valid_cc_number() {
        assert!(luhn("4263 9826 4026 9299"));
        assert!(luhn("4539 3195 0343 6467"));
        assert!(luhn("7992 7398 713"));
    }
```

```
    fn test_invalid_cc_number() {
        assert!(!luhn("4223 9826 4026 9299"));
        assert!(!luhn("4539 3195 0343 6476"));
        assert!(!luhn("8273 1232 7352 0569"));
    }

    fn test_non_digit_cc_number() {
        assert!(!luhn("foo"));
        assert!(!luhn("foo 0 0 "));
    }

    fn test_empty_cc_number() {
        assert!(!luhn(""));
        assert!(!luhn(" "));
        assert!(!luhn("   "));
        assert!(!luhn("    "));
    }

    fn test_single_digit_cc_number() {
        assert!(!luhn("0"));
    }

    fn test_two_digit_cc_number() {
        assert!(luhn(" 0 0 "));
    }
}
```

Parte VIII

Dia 4: Tarde

Capítulo 28

Bem-vindos de volta

Including 10 minute breaks, this session should take about 2 hours and 15 minutes. It contains:

Segment	Duration
Tratamento de Erros	1 hour
Rust Inseguro (Unsafe)	1 hour and 5 minutes

Capítulo 29

Tratamento de Erros

This segment should take about 1 hour. It contains:

Slide	Duration
Pânicos (Panics)	3 minutes
Result	5 minutes
Operador Try	5 minutes
Conversões Try	5 minutes
Trait Error	5 minutes
thiserror e anyhow	5 minutes
Exercício: Reescrevendo com Result	30 minutes

29.1 Pânicos (Panics)

Rust lida com erros fatais com um ”pânico”.

O Rust irá disparar um *panic* (pânico) se um erro fatal ocorrer em tempo de execução:

```
fn main() {
    let v = vec![10, 20, 30];
    println!("v[100]: {}", v[100]);
}
```

- *Pânicos* são para erros irrecuperáveis e inesperados.
  - Pânicos são sintomas de bugs no programa.
  - Falhas em tempo de execução como verificações de limites falhadas podem disparar um pânico
  - Asserções (como `assert!`) disparam um pânico em caso de falha
  - Pânicos com moticos específicos podem usar a macro `panic!`.
- Um pânico irá ”desenrolar” a pilha, descartando valores como se as funções tivessem retornado.
- Use APIs que não disparam erros do tipo *pânico* (como `Vec::get`) se não for aceitável o travamento do programa.

Por padrão, um pânico causará a *resolução* da pilha. A resolução pode ser capturada:

```
use std::panic;

fn main() {
    let result = panic::catch_unwind(|| "Nenhum problema aqui!");
    println!("{result:?}");

    let result = panic::catch_unwind(|| {
        panic!("ah não!");
    });
    println!("{result:?}");
}
```

- Capturar é incomum; não tente implementar exceções com `catch_unwind`!
- Isso pode ser útil em servidores que devem continuar rodando mesmo se uma requisição tenha falhado.
- Isso não funciona se `panic = 'abort'` estiver definido em seu `Cargo.toml`.

29.2 `Result`

Nosso mecanismo primário para tratamento de erros em Rust é o enum `Result`, que vimos brevemente ao discutir tipos da biblioteca padrão.

```
use std::fs::File;
use std::io::Read;

fn main() {
    let file: Result<File, std::io::Error> = File::open("diary.txt");
    match file {
        Ok(mut file) => {
            let mut contents = String::new();
            if let Ok(bytes) = file.read_to_string(&mut contents) {
                println!("Querido diário: {contents} ({bytes} bytes)");
            } else {
                println!("Não foi possível ler o conteúdo do arquivo");
            }
        }
        Err(err) => {
            println!("Não foi possível abrir o diário: {err}");
        }
    }
}
```

- `Result` tem duas variantes: `Ok` que contém o valor de sucesso, e `Err` que contém um valor de erro de algum tipo.
- Se uma função pode ou não produzir um erro é codificado na assinatura de tipo da função, fazendo-a retornar um valor `Result`.
- Assim como com `Option`, não há como esquecer de lidar com um erro: você não pode acessar nem o valor de sucesso nem o valor de erro sem primeiro corresponder a um padrão no `Result` para verificar qual variante você tem. Métodos como `unwrap` facilitam a escrita de código rápido e sujo que não faz um tratamento de erros robusto,

mas significa que você sempre pode ver em seu código-fonte onde o tratamento de erros adequado está sendo ignorado.

Mais para Explorar

Pode ser útil comparar o tratamento de erros em Rust com convenções de tratamento de erros com as quais os alunos podem estar familiarizados de outras linguagens de programação.

Exceções

- Muitas linguagens usam exceções, por exemplo, C++, Java, Python.
- Na maioria das linguagens com exceções, se uma função pode ou não lançar uma exceção não é visível como parte de sua assinatura de tipo. Isso geralmente significa que você não pode dizer ao chamar uma função se ela pode lançar uma exceção ou não.
- Exceções geralmente desmontam a pilha de chamadas, propagando-se para cima até que um bloco `try` seja alcançado. Um erro originado profundamente na pilha de chamadas pode impactar uma função não relacionada mais acima.

Números de Erro

- Algumas linguagens têm funções que retornam um número de erro (ou algum outro valor de erro) separadamente do valor de retorno bem-sucedido da função. Exemplos incluem C e Go.
- Dependendo da linguagem, pode ser possível esquecer de verificar o valor de erro, caso em que você pode estar acessando um valor de sucesso não inicializado ou de outra forma inválido.

29.3 Operador Try

Erros em tempo de execução como conexão recusada ou arquivo não encontrado são tratados com o tipo `Result`, mas combinar esse tipo em cada chamada pode ser complicado. O operador `?` é usado para retornar erros ao chamador. Ele permite que você transforme o comum

```
match some_expression {
    Ok(value) => value,
    Err(err) => return Err(err),
}
```

no muito mais simples

```
some_expression?
```

Podemos usar isso para simplificar nosso código de tratamento de erros:

```
use std::io::Read;
use std::{fs, io};

fn read_username(path: &str) -> Result<String, io::Error> {
```

```
    let username_file_result = fs::File::open(path);
    let mut username_file = match username_file_result {
        Ok(file) => file,
        Err(err) => return Err(err),
    };

    let mut username = String::new();
    match username_file.read_to_string(&mut username) {
        Ok(_) => Ok(username),
        Err(err) => Err(err),
    }
}

fn main() {
    //fs::write("config.dat", "alice").unwrap();
    let username = read_username("config.dat");
    println!("username ou erro: {username:?}");
}
```

Simplifique a função `read_username` para usar `?`.

Pontos chave:

- A variável `username` pode ser `Ok(string)` ou `Err(error)`.
- Use a chamada `fs::write` para testar os diferentes cenários: nenhum arquivo, arquivo vazio e arquivo com nome de usuário.
- Observe que `main` pode retornar um `Result<(), E>` desde que implemente `std::process:Termination`. Na prática, isso significa que `E` implementa `Debug`. O executável irá imprimir a variante `Err` e retornar um status de saída diferente de zero em caso de erro.

29.4 Conversões Try

A expansão efetiva do operador `?` é um pouco mais complicada do que indicado anteriormente:

`expression?`

funciona da mesma forma que

```
match expression {
    Ok(value) => value,
    Err(err)  => return Err(From::from(err)),
}
```

A chamada `From::from` aqui significa que tentamos converter o tipo de erro para o tipo retornado pela função. Isso torna fácil encapsular erros em erros de nível superior.

Exemplo

```
use std::error::Error;
use std::fmt::{self, Display, Formatter};
use std::fs::File;
```

```rust
use std::io::{self, Read};

enum ReadUsernameError {
    IoError(io::Error),
    EmptyUsername(String),
}

impl Error for ReadUsernameError {}

impl Display for ReadUsernameError {
    fn fmt(&self, f: &mut Formatter) -> fmt::Result {
        match self {
            Self::IoError(e) => write!(f, "Erro E/S: {e}"),
            Self::EmptyUsername(path) => write!(f, "Nome de usuário não encontrado em {p
        }
    }
}

impl From<io::Error> for ReadUsernameError {
    fn from(err: io::Error) -> Self {
        Self::IoError(err)
    }
}

fn read_username(path: &str) -> Result<String, ReadUsernameError> {
    let mut username = String::with_capacity(100);
    File::open(path)?.read_to_string(&mut username)?;
    if username.is_empty() {
        return Err(ReadUsernameError::EmptyUsername(String::from(path)));
    }
    Ok(username)
}

fn main() {
    //std::fs::write("config.dat", "").unwrap();
    let username = read_username("config.dat");
    println!("username ou erro: {username:?}");
}
```

O operador `?` deve retornar um valor compatível com o tipo de retorno da função. Para `Result`, isso significa que os tipos de erro devem ser compatíveis. Uma função que retorna `Result<T, ErrorOuter>` só pode usar `?` em um valor do tipo `Result<U, ErrorInner>` se `ErrorOuter` e `ErrorInner` forem do mesmo tipo ou se `ErrorOuter` implementar `From<ErrorInner>`.

Uma alternativa comum a uma implementação `From` é `Result::map_err`, especialmente quando a conversão ocorre apenas em um local.

Não há requisito de compatibilidade para `Option`. Uma função que retorna `Option<T>` pode usar o operador `?` em `Option<U>` para tipos `T` e `U` arbitrários.

Uma função que retorna `Result` não pode usar `?` em `Option` e vice-versa. No entanto, `Option::ok_or` converte `Option` em `Result`, enquanto `Result::ok` transforma `Result`

em `Option`.

29.5 Tipos de Erros Dinâmicos

Às vezes, queremos permitir que qualquer tipo de erro seja retornado sem escrever nosso próprio enum cobrindo todas as possibilidades diferentes. O *trait* `std::error::Error` torna fácil criar um objeto *trait* que pode conter qualquer erro.

```
use std::error::Error;
use std::fs;
use std::io::Read;

fn read_count(path: &str) -> Result<i32, Box<dyn Error>> {
    let mut count_str = String::new();
    fs::File::open(path)?.read_to_string(&mut count_str)?;
    let count: i32 = count_str.parse()?;
    Ok(count)
}

fn main() {
    fs::write("count.dat", "1i3").unwrap();
    match read_count("count.dat") {
        Ok(count) => println!("Contagem: {count}"),
        Err(err) => println!("Erro: {err}"),
    }
}
```

A função `read_count` pode retornar `std::io::Error` (de operações de arquivo) ou `std::num::ParseIntError` (de `String::parse`).

Encaixotar (*boxing*) erros economiza código, mas sacrifica a capacidade de lidar elegantemente com diferentes casos de erro de forma individualizada no programa. Como tal, geralmente não é uma boa ideia usar `Box<dyn Error>` na API pública de uma biblioteca, mas pode ser uma boa opção em um programa onde você só quer exibir a mensagem de erro em algum lugar.

Certifique-se de implementar o *trait* `std::error::Error` ao definir um tipo de erro personalizado para que ele possa ser encaixotado. Mas se você precisa suportar o atributo `no_std`, tenha em mente que o *trait* `std.error::Error` é atualmente compatível com `no_std` apenas em nightly.

29.6 `thiserror` e `anyhow`

Os *crates* `thiserror` e `anyhow` são amplamente utilizados para simplificar o tratamento de erros.

- `thiserror` é frequentemente usado em bibliotecas para criar tipos de erro personalizados que implementam `From<T>`.
- `anyhow` é frequentemente usado por aplicações para ajudar no tratamento de erros em funções, incluindo adicionar informações contextuais aos seus erros.

```rust
use anyhow::{bail, Context, Result};
use std::fs;
use std::io::Read;
use thiserror::Error;

struct EmptyUsernameError(String);

fn read_username(path: &str) -> Result<String> {
    let mut username = String::with_capacity(100);
    fs::File::open(path)
        .with_context(|| format!("Falha ao abrir {path}"))?
        .read_to_string(&mut username)
        .context("Falha ao ler")?;
    if username.is_empty() {
        bail!(EmptyUsernameError(path.to_string()));
    }
    Ok(username)
}

fn main() {
    //fs::write("config.dat", "").unwrap();
    match read_username("config.dat") {
        Ok(username) => println!("Nome do usuário: {username}"),
        Err(err) => println!("Erro: {err:?}"),
    }
}
```

`thiserror`

- A macro `Error` é fornecida por `thiserror` e possui vários atributos úteis para ajudar a definir tipos de erro de forma compacta.
- O *trait* `std::error::Error` é derivado automaticamente.
- A mensagem de `#[error]` é usada para derivar o *trait* `Display`.

`anyhow`

- `anyhow::Error` é essencialmente um wrapper em torno de `Box<dyn Error>`. Como tal, geralmente não é uma boa escolha para a API pública de uma biblioteca, mas é amplamente utilizado em aplicações.
- `anyhow::Result<V>` é um *alias* de tipo para `Result<V, anyhow::Error>`.
- O tipo de erro real dentro dele pode ser extraído para exame, se necessário.
- A funcionalidade fornecida por `anyhow::Result<T>` pode ser familiar para desenvolvedores Go, pois fornece padrões de uso e ergonomia semelhantes a `(T, error)` de Go.
- `anyhow::Context` é um *trait* implementado para os tipos padrão `Result` e `Option`. `use anyhow::Context` é necessário para habilitar `.context()` e `.with_context()` nesses tipos.

29.7 Exercício: Reescrevendo com Result

O seguinte implementa um analisador muito simples para uma linguagem de expressão. No entanto, ele lida com erros disparando um pânico. Reescreva-o para usar o tratamento de erros idiomático e propagar erros para um retorno de `main`. Sinta-se à vontade para usar `thiserror` e anyhow.

DICA: comece corrigindo o tratamento de erros na função `parse`. Depois que isso estiver funcionando corretamente, atualize `Tokenizer` para implementar `Iterator<Item=Result<Token, TokenizerError>>` e trate isso no analisador (*parser*).

```
use std::iter::Peekable;
use std::str::Chars;

/// Um operador aritmético.
enum Op {
    Add,
    Sub,
}

/// Um token na linguagem de expressão.
enum Token {
    Number(String),
    Identifier(String),
    Operator(Op),
}

/// Uma expressão na linguagem de expressão.
enum Expression {
    /// Uma referência a uma variável.
    Var(String),
    /// Um número literal.
    Number(u32),
    /// Uma operação binária.
    Operation(Box<Expression>, Op, Box<Expression>),
}

fn tokenize(input: &str) -> Tokenizer {
    return Tokenizer(input.chars().peekable());
}

struct Tokenizer<'a>(Peekable<Chars<'a>>);

impl<'a> Tokenizer<'a> {
    fn collect_number(&mut self, first_char: char) -> Token {
        let mut num = String::from(first_char);
        while let Some(&c @ '0'..='9') = self.0.peek() {
            num.push(c);
            self.0.next();
        }
        Token::Number(num)
    }
```

```
    fn collect_identifier(&mut self, first_char: char) -> Token {
        let mut ident = String::from(first_char);
        while let Some(&c @ ('a'..='z' | '_' | '0'..='9')) = self.0.peek() {
            ident.push(c);
            self.0.next();
        }
        Token::Identifier(ident)
    }
}

impl<'a> Iterator for Tokenizer<'a> {
    type Item = Token;

    fn next(&mut self) -> Option<Token> {
        let c = self.0.next()?;
        match c {
            '0'..='9' => Some(self.collect_number(c)),
            'a'..='z' => Some(self.collect_identifier(c)),
            '+' => Some(Token::Operator(Op::Add)),
            '-' => Some(Token::Operator(Op::Sub)),
            _ => panic!("Caractere inesperado {c}"),
        }
    }
}

fn parse(input: &str) -> Expression {
    let mut tokens = tokenize(input);

    fn parse_expr<'a>(tokens: &mut Tokenizer<'a>) -> Expression {
        let Some(tok) = tokens.next() else {
            panic!("Fim de entrada inesperado");
        };
        let expr = match tok {
            Token::Number(num) => {
                let v = num.parse().expect("Inteiro de 32 bits inválido'");
                Expression::Number(v)
            }
            Token::Identifier(ident) => Expression::Var(ident),
            Token::Operator(_) => panic!("Token inesperado {tok:?}"),
        };
        // Olhe adiante para analisar uma operação binária, se presente.
        match tokens.next() {
            None => expr,
            Some(Token::Operator(op)) => Expression::Operation(
                Box::new(expr),
                op,
                Box::new(parse_expr(tokens)),
            ),
            Some(tok) => panic!("Token inesperado {tok:?}"),
        }
```

```
    }

    parse_expr(&mut tokens)
}

fn main() {
    let expr = parse("10+foo+20-30");
    println!("{expr:?}");
}
```

29.7.1 Solução

```
use thiserror::Error;
use std::iter::Peekable;
use std::str::Chars;

/// Um operador aritmético.
enum Op {
    Add,
    Sub,
}

/// Um token na linguagem de expressão.
enum Token {
    Number(String),
    Identifier(String),
    Operator(Op),
}

/// Uma expressão na linguagem de expressão.
enum Expression {
    /// Uma referência a uma variável.
    Var(String),
    /// Um número literal.
    Number(u32),
    /// Uma operação binária.
    Operation(Box<Expression>, Op, Box<Expression>),
}

fn tokenize(input: &str) -> Tokenizer {
    return Tokenizer(input.chars().peekable());
}

enum TokenizerError {
    UnexpectedCharacter(char),
}

struct Tokenizer<'a>(Peekable<Chars<'a>>);

impl<'a> Tokenizer<'a> {
    fn collect_number(&mut self, first_char: char) -> Token {
```

```
        let mut num = String::from(first_char);
        while let Some(&c @ '0'..='9') = self.0.peek() {
            num.push(c);
            self.0.next();
        }
        Token::Number(num)
    }

    fn collect_identifier(&mut self, first_char: char) -> Token {
        let mut ident = String::from(first_char);
        while let Some(&c @ ('a'..='z' | '_' | '0'..='9')) = self.0.peek() {
            ident.push(c);
            self.0.next();
        }
        Token::Identifier(ident)
    }
}

impl<'a> Iterator for Tokenizer<'a> {
    type Item = Result<Token, TokenizerError>;

    fn next(&mut self) -> Option<Result<Token, TokenizerError>> {
        let c = self.0.next()?;
        match c {
            '0'..='9' => Some(Ok(self.collect_number(c))),
            'a'..='z' | '_' => Some(Ok(self.collect_identifier(c))),
            '+' => Some(Ok(Token::Operator(Op::Add))),
            '-' => Some(Ok(Token::Operator(Op::Sub))),
            _ => Some(Err(TokenizerError::UnexpectedCharacter(c))),
        }
    }
}

enum ParserError {
    TokenizerError(#[from] TokenizerError),
    UnexpectedEOF,
    UnexpectedToken(Token),
    InvalidNumber(#[from] std::num::ParseIntError),
}

fn parse(input: &str) -> Result<Expression, ParserError> {
    let mut tokens = tokenize(input);

    fn parse_expr<'a>(
        tokens: &mut Tokenizer<'a>,
    ) -> Result<Expression, ParserError> {
        let tok = tokens.next().ok_or(ParserError::UnexpectedEOF)??;
        let expr = match tok {
            Token::Number(num) => {
                let v = num.parse()?;
                Expression::Number(v)
```

```
            }
            Token::Identifier(ident) => Expression::Var(ident),
            Token::Operator(_) => return Err(ParserError::UnexpectedToken(tok)),
        };
        // Olhe adiante para analisar uma operação binária, se presente.
        Ok(match tokens.next() {
            None => expr,
            Some(Ok(Token::Operator(op))) => Expression::Operation(
                Box::new(expr),
                op,
                Box::new(parse_expr(tokens)?),
            ),
            Some(Err(e)) => return Err(e.into()),
            Some(Ok(tok)) => return Err(ParserError::UnexpectedToken(tok)),
        })
    }

    parse_expr(&mut tokens)
}

fn main() -> anyhow::Result<()> {
    let expr = parse("10+foo+20-30")?;
    println!("{expr:?}");
    Ok(())
}
```

Capítulo 30

Rust Inseguro (Unsafe)

This segment should take about 1 hour and 5 minutes. It contains:

Slide	Duration
Inseguro (Unsafe)	5 minutes
Desreferenciando Ponteiros Brutos	10 minutes
Variáveis Estáticas Mutáveis	5 minutes
Uniões	5 minutes
Funções Inseguras	5 minutes
Traits Inseguros	5 minutes
Exercício: Wrapper FFI	30 minutes

30.1 Rust Inseguro (Unsafe)

A linguagem Rust tem duas partes:

- **Rust Seguro (*Safe*):** memória segura, nenhum comportamento indefinido é possível.
- **Rust Inseguro (*Unsafe*):** pode desencadear comportamento indefinido se pré-condições forem violadas.

Veremos principalmente Rust seguro neste curso, mas é importante saber o que é Rust inseguro.

Código inseguro é geralmente pequeno e isolado, e seu funcionamento correto deve ser cuidadosamente documentado. Geralmente é envolto em uma camada de abstração segura.

O código inseguro do Rust oferece acesso a cinco novos recursos:

- Desreferenciar ponteiros brutos (*raw pointers*).
- Acessar ou modificar variáveis estáticas mutáveis.
- Acessar os campos de uma `union`.
- Chamar funções `unsafe` (inseguras), incluindo funções `extern` (externas).
- Implementar *traits* `unsafe`.

A seguir, abordaremos brevemente os recursos inseguros. Para detalhes completos, consulte o Capítulo 19.1 no Rust Book e o Rustonomicon.

Rust inseguro não significa que o código esteja incorreto. Significa que os desenvolvedores desligaram os recursos de segurança do compilador e precisam escrever o código corretamente por eles mesmos. Significa também que o compilador não impõe mais as regras de segurança de memória do Rust.

30.2 Desreferenciando Ponteiros Brutos

Criar ponteiros é seguro, mas desreferenciá-los requer `unsafe`:

```
fn main() {
    let mut s = String::from("cuidado!");

    let r1 = &mut s as *mut String;
    let r2 = r1 as *const String;

    // SEGURANÇA: r1 e r2 foram obtidos através de referências e logo é
    // garantido que eles não sejam nulos e sejam propriamente alinhados, os objetos
    // cujas referências foram obtidas são válidos por
    // todo o bloco inseguro, e eles não sejam acessados tanto através das
    // referências ou concorrentemente através de outros ponteiros.
    unsafe {
        println!("r1 é: {}", *r1);
        *r1 = String::from("oh-oh");
        println!("r2 é: {}", *r2);
    }

    // INSEGURO. NÃO FAÇA ISSO.
    /*
    let r3: &String = unsafe { &*r1 };
    drop(s);
    println!("r3 é: {}", *r3);
    */
}
```

É uma boa prática (e exigida pelo guia de estilo do Android Rust) escrever um comentário para cada bloco `unsafe` explicando como o código dentro dele satisfaz os requisitos de segurança para a operação insegura que está fazendo.

No caso de desreferência de ponteiros, isso significa que os ponteiros devem ser *válidos*, ou seja:

- O ponteiro deve ser não nulo.
- O ponteiro deve ser *desreferenciável* (dentro dos limites de um único objeto alocado).
- O objeto não deve ter sido desalocado.
- Não deve haver acessos simultâneos à mesma localização.
- Se o ponteiro foi obtido lançando uma referência, o objeto subjacente deve estar válido e nenhuma referência pode ser usada para acessar a memória.

Na maioria dos casos, o ponteiro também deve estar alinhado corretamente.

A seção ”NÃO É SEGURO” dá um exemplo de um tipo comum de bug UB: `*r1` tem o tempo de vida `'static`, então `r3` tem o tipo `&'static String`, e portanto sobrevive a `s`. Criar uma referência a partir de um ponteiro requer *muito cuidado*.

30.3 Variáveis Estáticas Mutáveis

É seguro ler uma variável estática imutável:

```
static HELLO_WORLD: &str = "Olá, mundo!";

fn main() {
    println!("HELLO_WORLD: {HELLO_WORLD}");
}
```

No entanto, como podem ocorrer corridas de dados (*data races*), não é seguro ler e gravar dados em variáveis estáticas mutáveis:

```
static mut COUNTER: u32 = 0;

fn add_to_counter(inc: u32) {
    // SEGURANÇA: Não há outras _threads_ que poderiam estar acessando `COUNTER`.
    unsafe {
        COUNTER += inc;
    }
}

fn main() {
    add_to_counter(42);

    // SEGURANÇA: Não há outras _threads_ que poderiam estar acessando `COUNTER`.
    unsafe {
        println!("COUNTER: {COUNTER}");
    }
}
```

- O programa aqui é seguro porque é *single-threaded*. No entanto, o compilador Rust é conservador e assumirá o pior. Tente remover o `unsafe` e veja como o compilador explica que é um comportamento indefinido alterar uma variável estática de várias *threads*.
- Usar uma variável estática mutável geralmente é uma má ideia, mas há alguns casos em que isso pode fazer sentido, tais como em código `no_std` de baixo nível, como implementar um alocador de heap ou trabalhar com algumas APIs C.

30.4 Uniões

Unions são como *enums*, mas você mesmo precisa rastrear o campo ativo:

```
union MyUnion {
    i: u8,
    b: bool,
}

fn main() {
    let u = MyUnion { i: 42 };
    println!("int: {}", unsafe { u.i });
```

```
    println!("bool: {}", unsafe { u.b }); // Comportamento indefinido!
}
```

Unions raramente são necessárias no Rust, pois geralmente você pode usar um *enum*. Elas são ocasionalmente necessárias para interagir com as APIs da biblioteca C.

Se você deseja apenas reinterpretar os bytes como um tipo diferente, você provavelmente deveria usar `std::mem::transmute` ou um wrapper seguro como o *crate* `zerocopy`.

30.5 Funções Inseguras

Chamando Funções Inseguras

Uma função ou método pode ser marcado como `unsafe` se houver pré-condições extras que você deve respeitar para evitar comportamento indefinido:

```
extern "C" {
    fn abs(input: i32) -> i32;
}

fn main() {
    let emojis = "🗻∈🌏";

    // SEGURANÇA: Os índices estão na ordem correta, dentro dos limites da
    // slice da string, e contido dentro da sequência UTF-8.
    unsafe {
        println!("emoji: {}", emojis.get_unchecked(0..4));
        println!("emoji: {}", emojis.get_unchecked(4..7));
        println!("emoji: {}", emojis.get_unchecked(7..11));
    }

    println!("contador de caracteres: {}", count_chars(unsafe { emojis.get_unchecked(0..

    // SEGURANÇA: `abs` não lida com ponteiros e não tem nenhum requisito de
    // segurança.
    unsafe {
        println!("Valor absoluto de -3 de acordo com C: {}", abs(-3));
    }

    // Não manter o requerimento de codificação UTF-8 viola segurança de memória!
    // println!("emoji: {}", unsafe { emojis.get_unchecked(0..3) });
    // println!("contador caracter: {}", count_chars(unsafe {
    // emojis.get_unchecked(0..3) }));
}

fn count_chars(s: &str) -> usize {
    s.chars().count()
}
```

Escrevendo Funções Inseguras

Você pode marcar suas próprias funções como *inseguras* (`unsafe`) se elas exigirem condições específicas para evitar comportamentos indefinidos.

```
/// Troca os valores apontadoes pelos ponteiros fornecidos.
///
/// # Segurança
///
/// Os ponteiros precisam ser válidos e corretamente alinhados.
unsafe fn swap(a: *mut u8, b: *mut u8) {
    let temp = *a;
    *a = *b;
    *b = temp;
}

fn main() {
    let mut a = 42;
    let mut b = 66;

    // SEGURANÇA: ...
    unsafe {
        swap(&mut a, &mut b);
    }

    println!("a = {}, b = {}", a, b);
}
```

Chamando Funções Inseguras

`get_unchecked`, como a maioria das funções `_unchecked`, é insegura, porque pode criar UB se o intervalo estiver incorreto. `abs` está incorreto por um motivo diferente: é uma função externa (FFI). Chamar funções externas é geralmente um problema apenas quando essas funções fazem coisas com ponteiros que podem violar o modelo de memória do Rust, mas, em geral, qualquer função C pode ter comportamento indefinido sob quaisquer circunstâncias arbitrárias.

O `"C"` neste exemplo é o ABI; outros ABIs também estão disponíveis.

Escrevendo Funções Inseguras

Na verdade, não usaríamos ponteiros para uma função `swap` - isto pode ser feito com referências com segurança.

Observe que o código inseguro é permitido dentro de uma função insegura sem um bloco `unsafe`. Podemos proibir isso com `#[deny(unsafe_op_in_unsafe_fn)]`. Tente adicioná-lo e veja o que acontece. Isso provavelmente mudará em uma edição futura do Rust.

30.6 Implementando Traits Inseguros

Assim como nas funções, você pode marcar um `trait` como `unsafe` se a implementação precisa garantir condições particulares para evitar comportamento indefinido.

Por exemplo, o *crate* `zerocopy` tem um *trait* inseguro que parece algo assim:

```
use std::mem::size_of_val;
use std::slice;

/// ...
/// # Segurança
/// O tipo precisa ter uma representação definida e nenhum preenchimento.
pub unsafe trait AsBytes {
    fn as_bytes(&self) -> &[u8] {
        unsafe {
            slice::from_raw_parts(
                self as *const Self as *const u8,
                size_of_val(self),
            )
        }
    }
}

// SEGURANÇA: `u32` possui uma representação definida e sem preenchimento.
unsafe impl AsBytes for u32 {}
```

Deve haver uma seção `# Safety` no Rustdoc para o `trait` explicando os requisitos para ser implementado com segurança.

Na verdade, a seção de segurança para `AsBytes` é bem mais longa e complicada.

Os *traits* integrados Send e Sync são inseguros.

30.7 Wrapper FFI seguro

Rust tem ótimo suporte para chamar funções por meio de uma interface para funções externas (*Function Foreign Interface* - FFI). Usaremos isso para construir um *wrapper* (invólucro) seguro para as funções da `libc` de C que você usaria para ler os nomes dos arquivos de um diretório.

Você vai querer consultar as páginas do manual:

- `opendir(3)`
- `readdir(3)`
- `closedir(3)`

Você também vai querer navegar pelo módulo `std::ffi`. Lá você encontrará um número de tipos de string que você precisará para o exercício:

Tipos	Codificação	Uso
`str` e `String`	UTF-8	Processamento de texto em Rust

Tipos	Codificação	Uso
`CStr` e `CString`	terminado em NUL	Comunicação com funções em C
`OsStr` e `OsString`	específico ao SO	Comunicação com o SO

Você irá converter entre todos estes tipos:

- `&str` para `CString`: você precisa alocar espaço para o caracter terminador `\0`,
- `CString` para `*const i8`: você precisa de um ponteiro para chamar funções em C,
- `*const i8` para `&CStr`: você você precisa de algo que pode encontrar o caracter terminador `\0`,
- `&CStr` para `&[u8]`: um *slice* de bytes é a interface universal para "algum dado desconhecido",
- `&[u8]` para `&OsStr`: `&OsStr` é um passo em direção a `OsString`, use `OsStrExt` para criá-lo,
- `&OsStr` para `OsString`: você precisa clonar os dados em `&OsStr` para poder retorná-lo e chamar `readdir` novamente.

O Nomicon também tem um capítulo bastante útil sobre FFI.

Copie o código abaixo para https://play.rust-lang.org/ e implemente as funções e métodos que faltam:

```
// TODO: remova isto quando você terminar sua implementação.

mod ffi {
    use std::os::raw::{c_char, c_int};
    use std::os::raw::{c_long, c_uchar, c_ulong, c_ushort};

    // Tipo opaco. Veja https://doc.rust-lang.org/nomicon/ffi.html.
    pub struct DIR {
        _data: [u8; 0],
        _marker: core::marker::PhantomData<(*mut u8, core::marker::PhantomPinned)>,
    }

    // Layout de acordo com a página man do Linux para readdir(3), onde ino_t e
    // off_t são resolvidos de acordo com as definições em
    // /usr/include/x86_64-linux-gnu/{sys/types.h, bits/typesizes.h}.
    pub struct dirent {
        pub d_ino: c_ulong,
        pub d_off: c_long,
        pub d_reclen: c_ushort,
        pub d_type: c_uchar,
        pub d_name: [c_char; 256],
    }

    // Layout de acordo com a página man do macOS man page para dir(5).
    pub struct dirent {
        pub d_fileno: u64,
```

```
        pub d_seekoff: u64,
        pub d_reclen: u16,
        pub d_namlen: u16,
        pub d_type: u8,
        pub d_name: [c_char; 1024],
    }

    extern "C" {
        pub fn opendir(s: *const c_char) -> *mut DIR;

        pub fn readdir(s: *mut DIR) -> *const dirent;

        // Veja https://github.com/rust-lang/libc/issues/414 e a seção sobre
        // _DARWIN_FEATURE_64_BIT_INODE na página man do macOS para stat(2).
        //
        // "Plataformas que existiram antes destas atualizações estarem disponíveis" re
        // ao macOS (ao contrário do iOS / wearOS / etc.) em Intel e PowerPC.
        pub fn readdir(s: *mut DIR) -> *const dirent;

        pub fn closedir(s: *mut DIR) -> c_int;
    }
}

use std::ffi::{CStr, CString, OsStr, OsString};
use std::os::unix::ffi::OsStrExt;

struct DirectoryIterator {
    path: CString,
    dir: *mut ffi::DIR,
}

impl DirectoryIterator {
    fn new(path: &str) -> Result<DirectoryIterator, String> {
        // Chama opendir e retorna um valor Ok se funcionar,
        // ou retorna Err com uma mensagem.
        unimplemented!()
    }
}

impl Iterator for DirectoryIterator {
    type Item = OsString;
    fn next(&mut self) -> Option<OsString> {
        // Continua chamando readdir até nós obtermos um ponteiro NULL de volta.
        unimplemented!()
    }
}

impl Drop for DirectoryIterator {
    fn drop(&mut self) {
        // Chama closedir se necessário.
        unimplemented!()
```

```
    }
}

fn main() -> Result<(), String> {
    let iter = DirectoryIterator::new(".")?;
    println!("files: {:#?}", iter.collect::<Vec<_>>());
    Ok(())
}
```

30.7.1 Solução

```
mod ffi {
    use std::os::raw::{c_char, c_int};
    use std::os::raw::{c_long, c_uchar, c_ulong, c_ushort};

    // Tipo opaco. Veja https://doc.rust-lang.org/nomicon/ffi.html.
    pub struct DIR {
        _data: [u8; 0],
        _marker: core::marker::PhantomData<(*mut u8, core::marker::PhantomPinned)>,
    }

    // Layout de acordo com a página man do Linux para readdir(3), onde ino_t e
    // off_t são resolvidos de acordo com as definições em
    // /usr/include/x86_64-linux-gnu/{sys/types.h, bits/typesizes.h}.
    pub struct dirent {
        pub d_ino: c_ulong,
        pub d_off: c_long,
        pub d_reclen: c_ushort,
        pub d_type: c_uchar,
        pub d_name: [c_char; 256],
    }

    // Layout de acordo com a página man do macOS man page para dir(5).
    pub struct dirent {
        pub d_fileno: u64,
        pub d_seekoff: u64,
        pub d_reclen: u16,
        pub d_namlen: u16,
        pub d_type: u8,
        pub d_name: [c_char; 1024],
    }

    extern "C" {
        pub fn opendir(s: *const c_char) -> *mut DIR;

        pub fn readdir(s: *mut DIR) -> *const dirent;

        // Veja https://github.com/rust-lang/libc/issues/414 e a seção sobre
        // _DARWIN_FEATURE_64_BIT_INODE na página man do macOS para stat(2).
        //
        // "Plataformas que existiram antes destas atualizações estarem disponíveis" re
```

```
        // ao macOS (ao contrário do iOS / wearOS / etc.) em Intel e PowerPC.
        pub fn readdir(s: *mut DIR) -> *const dirent;

        pub fn closedir(s: *mut DIR) -> c_int;
    }
}

use std::ffi::{CStr, CString, OsStr, OsString};
use std::os::unix::ffi::OsStrExt;

struct DirectoryIterator {
    path: CString,
    dir: *mut ffi::DIR,
}

impl DirectoryIterator {
    fn new(path: &str) -> Result<DirectoryIterator, String> {
        // Chama opendir e retorna um valor Ok se funcionar,
        // ou retorna Err com uma mensagem.
        let path =
            CString::new(path).map_err(|err| format!("Caminho inválido: {err}"))?;
        // SEGURANÇA: path.as_ptr() não pode ser NULL.
        let dir = unsafe { ffi::opendir(path.as_ptr()) };
        if dir.is_null() {
            Err(format!("Não foi possível abrir {:?}", path))
        } else {
            Ok(DirectoryIterator { path, dir })
        }
    }
}

impl Iterator for DirectoryIterator {
    type Item = OsString;
    fn next(&mut self) -> Option<OsString> {
        // Continua chamando readdir até nós obtermos um ponteiro NULL de volta.
        // SEGURANÇA: self.dir nunca é NULL.
        let dirent = unsafe { ffi::readdir(self.dir) };
        if dirent.is_null() {
            // Chegamos ao final do diretório.
            return None;
        }
        // SEGURANÇA: dirent não é NULL e dirent.d_name é terminado em NUL
        let d_name = unsafe { CStr::from_ptr((*dirent).d_name.as_ptr()) };
        let os_str = OsStr::from_bytes(d_name.to_bytes());
        Some(os_str.to_owned())
    }
}

impl Drop for DirectoryIterator {
    fn drop(&mut self) {
        // Chama closedir se necessário.
```

```
        if !self.dir.is_null() {
            // SEGURANÇA: self.dir não é NULL.
            if unsafe { ffi::closedir(self.dir) } != 0 {
                panic!("Não foi possível fechar {:?}", self.path);
            }
        }
    }
}

fn main() -> Result<(), String> {
    let iter = DirectoryIterator::new(".")?;
    println!("files: {:#?}", iter.collect::<Vec<_>>());
    Ok(())
}

mod tests {
    use super::*;
    use std::error::Error;

    fn test_nonexisting_directory() {
        let iter = DirectoryIterator::new("no-such-directory");
        assert!(iter.is_err());
    }

    fn test_empty_directory() -> Result<(), Box<dyn Error>> {
        let tmp = tempfile::TempDir::new()?;
        let iter = DirectoryIterator::new(
            tmp.path().to_str().ok_or("Caracter não UTF-8 no caminho")?,
        )?;
        let mut entries = iter.collect::<Vec<_>>();
        entries.sort();
        assert_eq!(entries, &[".", ".."]);
        Ok(())
    }

    fn test_nonempty_directory() -> Result<(), Box<dyn Error>> {
        let tmp = tempfile::TempDir::new()?;
        std::fs::write(tmp.path().join("foo.txt"), "The Foo Diaries\n")?;
        std::fs::write(tmp.path().join("bar.png"), "<PNG>\n")?;
        std::fs::write(tmp.path().join("crab.rs"), "//! Caranguejo (Crab)\n")?;
        let iter = DirectoryIterator::new(
            tmp.path().to_str().ok_or("Caracter não UTF-8 no caminho")?,
        )?;
        let mut entries = iter.collect::<Vec<_>>();
        entries.sort();
        assert_eq!(entries, &[".", "..", "bar.png", "crab.rs", "foo.txt"]);
        Ok(())
    }
}
```

Parte IX

Android

Capítulo 31

Bem-vindos ao Rust para Android

O Rust é suportado para software de sistema no Android. Isso significa que você pode escrever novos serviços, bibliotecas, drivers ou até mesmo firmware em Rust (ou melhorar o código existente conforme necessário).

> Hoje tentaremos chamar Rust a partir de um de seus próprios projetos. Então tente encontrar um cantinho da sua base de código onde podemos mover algumas linhas de código para o Rust. Quanto menos dependências e tipos ”exóticos”, melhor. Algo que analise alguns bytes brutos seria o ideal.

O instrutor pode mencionar qualquer um dos seguintes, dada a crescente utilização do Rust no Android:

- Exemplo de serviço: DNS sobre HTTP
- Bibliotecas: Interface Gráfica Virtual Rutabaga
- Drivers de kernel: Binder
- Firmware: firmware pKVM

Capítulo 32

Configuração

Usaremos um Dispositivo Virtual Android Cuttlefish para testar nosso código. Certifique-se de ter acesso a um ou crie um novo com:

```
source build/envsetup.sh
lunch aosp_cf_x86_64_phone-trunk_staging-userdebug
acloud create
```

Consulte o Codelab para Desenvolvedor Android para maiores detalhes.

Pontos chave:

- Cuttlefish é um dispositivo Android de referência projetado para funcionar em desktops Linux genéricos. O suporte ao MacOS também está planejado.
- A imagem do sistema Cuttlefish mantém alta fidelidade aos dispositivos reais, e é o emulador ideal para executar muitos casos de uso do Rust.

Capítulo 33

Regras de Compilação (Build Rules)

O sistema de compilação do Android (Soong) oferece suporte ao Rust por meio de vários módulos:

Tipo de Módulo	Descrição
`rust_binary`	Produz um binário Rust.
`rust_library`	Produz uma biblioteca Rust e fornece as variantes `rlib` e `dylib`.
`rust_ffi`	Produz uma biblioteca Rust C utilizável por módulos `cc` e fornece variantes estáticas e compartilhadas.
`rust_proc_macro`	Produz uma biblioteca Rust `proc-macro`. Estes são análogos aos plugins do compilador.
`rust_test`	Produz um binário de teste Rust que usa a funcionalidade padrão de teste do Rust.
`rust_fuzz`	Produz um binário Rust fuzz aproveitando `libfuzzer`.
`rust_protobuf`	Gera o código-fonte e produz uma biblioteca Rust que fornece uma interface para um *protobuf* específico.
`rust_bindgen`	Gera fonte e produz uma biblioteca Rust contendo vínculos em Rust para bibliotecas C.

Veremos `rust_binary` e `rust_library` a seguir.

Itens adicionais que o instrutor pode mencionar:

- Cargo não é otimizado para repositórios multi-idiomas e também baixa pacotes da internet.

- Para conformidade e desempenho, o Android deve ter *crates* no repositório. Também deve interoperar com código C/C++/Java. Soong preenche essa lacuna.
- Soong tem muitas semelhanças com o Bazel, que é a variante de código aberto do Blaze (usado no google3).
- Há um plano para transicionar o Android, ChromeOS e Fuchsia para o Bazel.
- Aprender regras de compilação semelhantes ao Bazel é útil para todos os desenvolvedores Rust de SO.
- Curiosidade: Data de Star Trek é um Android do tipo Soong.

33.1 Binários do Rust

Vamos começar com um aplicativo simples. Na raiz de um checkout AOSP, crie os seguintes arquivos:

hello_rust/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "hello_rust",
    crate_name: "hello_rust",
    srcs: ["src/main.rs"],
}
```

hello_rust/src/main.rs:

```
//! Rust demo.

/// Imprime uma saudação na saída padrão.
fn main() {
    println!("Olá do Rust!");
}
```

Agora você pode compilar, enviar e executar o binário:

```
m hello_rust
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/hello_rust /data/local/tmp"
adb shell /data/local/tmp/hello_rust
```

```
Hello from Rust!
```

33.2 Bibliotecas de Rust

Você usa `rust_library` para criar uma nova biblioteca Rust para Android.

Aqui declaramos uma dependência em duas bibliotecas:

- `libgreeting`, que definimos abaixo,
- `libtextwrap`, que é um `crate` já oferecido em `external/rust/crates/`.

hello_rust/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "hello_rust_with_dep",
```

```
    crate_name: "hello_rust_with_dep",
    srcs: ["src/main.rs"],
    rustlibs: [
        "libgreetings",
        "libtextwrap",
    ],
    prefer_rlib: true, // Precisamos disso para evitar erro de ligação dinâmica.
}

rust_library {
    name: "libgreetings",
    crate_name: "greetings",
    srcs: ["src/lib.rs"],
}
```

hello_rust/src/main.rs:

```
//! Rust demo.

use greetings::greeting;
use textwrap::fill;

/// Imprime uma saudação na saída padrão.
fn main() {
    println!("{}", fill(&greeting("Bob"), 24));
}
```

hello_rust/src/lib.rs:

```
//! Greeting library.

/// Saudação `nome`.
pub fn greeting(name: &str) -> String {
    format!("Olá {nome}, prazer em conhecê-lo!")
}
```

Você constrói, envia e executa o binário como antes:

```
m hello_rust_with_dep
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/hello_rust_with_dep /data/local/tmp"
adb shell /data/local/tmp/hello_rust_with_dep
```

```
Hello Bob, it is very
nice to meet you!
```

Capítulo 34

AIDL

A Linguagem de Definição de Interface Android (AIDL) é compatível com Rust:

- O código Rust pode chamar servidores AIDL existentes,
- Você pode criar novos servidores AIDL em Rust.

34.1 Tutorial do Serviço de Aniversário

Para ilustrar como usar Rust com Binder, vamos passar pelo processo de criação de uma interface Binder. Em seguida, vamos implementar o serviço descrito e escrever código do cliente que fala com esse serviço.

34.1.1 Interfaces AIDL

Você declara a API do seu serviço usando uma interface AIDL:

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayService.aidl:

```
/** Interface de serviço de aniversário. */
interface IBirthdayService {
    /** Gera uma mensagem de feliz aniversário. */
    String wishHappyBirthday(String name, int years);
}
```

birthday_service/aidl/Android.bp:

```
aidl_interface {
    name: "com.example.birthdayservice",
    srcs: ["com/example/birthdayservice/*.aidl"],
    unstable: true,
    backend: {
        rust: { // Rust não está ativado por padrão
            enabled: true,
        },
    },
}
```

- Observe que a estrutura de diretórios sob o diretório `aidl/` precisa corresponder ao nome do pacote usado no arquivo AIDL, ou seja, o pacote é `com.example.birthdayservice` e o arquivo está em `aidl/com/example/IBirthdayService.aidl`.

34.1.2 API de Serviço Gerada

Binder gera um *trait* correspondente à definição da interface. *trait* para falar com o serviço.

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayService.aidl:

```
/** Interface de serviço de aniversário. */
interface IBirthdayService {
    /** Gera uma mensagem de feliz aniversário. */
    String wishHappyBirthday(String name, int years);
}
```

Trait gerado:

```
trait IBirthdayService {
    fn wishHappyBirthday(&self, name: &str, years: i32) -> binder::Result<String>;
}
```

Seu serviço precisará implementar este *trait*, e seu cliente usará este *trait* para falar com o serviço.

- Os vínculos gerados podem ser encontrados em `out/soong/.intermediates/<caminho para o módulo>/`.
- Aponte como a assinatura da função gerada, especificamente os tipos de argumento e retorno, correspondem à definição da interface.
  - `String` para um argumento resulta em um tipo Rust diferente de `String` como um tipo de retorno.

34.1.3 Implementação do Serviço

Agora podemos implementar o serviço AIDL:

birthday_service/src/lib.rs:

```
use com_example_birthdayservice::aidl::com::example::birthdayservice::IBirthdayService:
use com_example_birthdayservice::binder;

/// A implementação de `IBirthdayService`.
pub struct BirthdayService;

impl binder::Interface for BirthdayService {}

impl IBirthdayService for BirthdayService {
    fn wishHappyBirthday(&self, name: &str, years: i32) -> binder::Result<String> {
        Ok(format!("Feliz aniversário {name}, parabéns pelos seus {years} anos!"))
    }
}
```

birthday_service/Android.bp:

```
rust_library {
    name: "libbirthdayservice",
    srcs: ["src/lib.rs"],
    crate_name: "birthdayservice",
    rustlibs: [
        "com.example.birthdayservice-rust",
        "libbinder_rs",
    ],
}
```

- Aponte o caminho para o *trait* `IBirthdayService` gerado e explique por que cada um dos segmentos é necessário.
- TODO: O que o *trait* `binder::Interface` faz? Existem métodos para substituir? Onde está o código-fonte?

34.1.4 Servidor AIDL

Finalmente, podemos criar um servidor que expõe o serviço:

birthday_service/src/server.rs:

```
//! Birthday service.
use birthdayservice::BirthdayService;
use com_example_birthdayservice::aidl::com::example::birthdayservice::IBirthdayService::
use com_example_birthdayservice::binder;

const SERVICE_IDENTIFIER: &str = "birthdayservice";

/// Ponto de entrada para serviço de aniversário.
fn main() {
    let birthday_service = BirthdayService;
    let birthday_service_binder = BnBirthdayService::new_binder(
        birthday_service,
        binder::BinderFeatures::default(),
    );
    binder::add_service(SERVICE_IDENTIFIER, birthday_service_binder.as_binder())
        .expect("Falha ao registrar o serviço");
    binder::ProcessState::join_thread_pool()
}
```

birthday_service/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "birthday_server",
    crate_name: "birthday_server",
    srcs: ["src/server.rs"],
    rustlibs: [
        "com.example.birthdayservice-rust",
        "libbinder_rs",
        "libbirthdayservice",
    ],
    prefer_rlib: true, // Para evitar erro de ligação dinâmica.
}
```

O processo de pegar uma implementação de serviço definida pelo(a) usuário(a) (neste caso o tipo `BirthdayService`, que implementa o `IBirthdayService`) e iniciá-la como um serviço Binder tem várias etapas, e pode parecer mais complicado do que os estudantes estão acostumados se eles usaram Binder a partir de C++ ou de outra linguagem. Explique aos estudantes por que cada etapa é necessária.

1. Crie uma instância do seu tipo de serviço (`BirthdayService`).
2. Envolva o objeto de serviço no tipo `Bn*` correspondente (`BnBirthdayService` neste caso). Este tipo é gerado pelo Binder e fornece a funcionalidade comum do Binder que seria fornecida pela classe base `BnBinder` em C++. Não temos herança em Rust, então em vez disso usamos composição, colocando nosso `BirthdayService` dentro do `BnBinderService` gerado.
3. Chame `add_service`, passando a ele um identificador de serviço e seu objeto de serviço (o objeto `BnBirthdayService` no exemplo).
4. Chame `join_thread_pool` para adicionar a thread atual ao pool de threads do Binder e começar a ouvir conexões.

34.1.5 Implantar

Agora podemos compilar, enviar e iniciar o serviço:

```
m birthday_server
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/birthday_server /data/local/tmp"
adb root
adb shell /data/local/tmp/birthday_server
```

Em outro terminal, verifique se o serviço está sendo executado:

```
adb shell service check birthdayservice
```

```
Service birthdayservice: found
```

Você também pode chamar o serviço com `service call`:

```
adb shell service call birthdayservice 1 s16 Bob i32 24
```

```
Result: Parcel(
  0x00000000: 00000000 00000036 00610048 00700070 '....6...H.a.p.p.'
  0x00000010: 00200079 00690042 00740072 00640068 'y. .B.i.r.t.h.d.'
  0x00000020: 00790061 00420020 0062006f 0020002c 'a.y. .B.o.b.,. .'
  0x00000030: 006f0063 0067006e 00610072 00750074 'c.o.n.g.r.a.t.u.'
  0x00000040: 0061006c 00690074 006e006f 00200073 'l.a.t.i.o.n.s. .'
  0x00000050: 00690077 00680074 00740020 00650068 'w.i.t.h. .t.h.e.'
  0x00000060: 00320020 00200034 00650079 00720061 ' .2.4. .y.e.a.r.'
  0x00000070: 00210073 00000000                   's.!.....       ')
```

34.1.6 Cliente AIDL

Por fim, podemos criar um cliente Rust para nosso novo serviço.

birthday_server/src/client.rs:

```
use com_example_birthdayservice::aidl::com::example::birthdayservice::IBirthdayService:
use com_example_birthdayservice::binder;
```

```rust
const SERVICE_IDENTIFIER: &str = "birthdayservice";

/// Chama o serviço de aniversário.
fn main() -> Result<(), Box<dyn Error>> {
    let name = std::env::args().nth(1).unwrap_or_else(|| String::from("Bob"));
    let years = std::env::args()
        .nth(2)
        .and_then(|arg| arg.parse::<i32>().ok())
        .unwrap_or(42);

    binder::ProcessState::start_thread_pool();
    let service = binder::get_interface::<dyn IBirthdayService>(SERVICE_IDENTIFIER)
        .map_err(|_| "Falha ao conectar-se a BirthdayService")?;

    // Chama o serviço.
    let msg = service.wishHappyBirthday(&name, years)?;
    println!("{msg}");
}
```

birthday_service/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "birthday_client",
    crate_name: "birthday_client",
    srcs: ["src/client.rs"],
    rustlibs: [
        "com.example.birthdayservice-rust",
        "libbinder_rs",
    ],
    prefer_rlib: true, // Para evitar erro de ligação dinâmica.
}
```

Observe que o cliente não depende de `libbirthdayservice`.

Compile, envie e execute o cliente em seu dispositivo:

```
m birthday_client
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/birthday_client /data/local/tmp"
adb shell /data/local/tmp/birthday_client Carlos 60
```

```
Happy Birthday Charlie, congratulations with the 60 years!
```

- `Strong<dyn IBirthdayService>` é o objeto de *trait* que representa o serviço ao qual o cliente se conectou.
  - `Strong` é um tipo de ponteiro inteligente personalizado para Binder. Ele manipula tanto uma contagem de referência no processo para o objeto de *trait* do serviço, quanto a contagem de referência global do Binder que rastreia quantos processos têm uma referência ao objeto.
  - Observe que o objeto de *trait* que o cliente usa para falar com o serviço usa exatamente o mesmo *trait* que o servidor implementa. Para uma interface Binder dada, há um único *trait* Rust gerado que tanto o cliente quanto o servidor usam.
- Use o mesmo identificador de serviço usado ao registrar o serviço. Isso deve ser idealmente definido em uma *crate* comum na qual tanto o cliente quanto o servidor possam depender.

34.1.7 Alterando API

Vamos estender a API com mais funcionalidades: queremos permitir que os clientes especifiquem uma lista de frases para o cartão de aniversário:

```
package com.example.birthdayservice;

/** Interface de serviço de aniversário. */
interface IBirthdayService {
    /** Gera uma mensagem de feliz aniversário. */
    String wishHappyBirthday(String name, int years, in String[] text);
}
```

Isso resulta em uma definição de *trait* atualizada para `IBirthdayService`.

```
trait IBirthdayService {
    fn wishHappyBirthday(
        &self,
        name: &str,
        years: i32,
        text: &[String],
    ) -> binder::Result<String>;
}
```

- Observe como o `String[]` na definição AIDL é traduzido como um `&[String]` em Rust, ou seja, que tipos de Rust idiomáticos são usados nos vínculos gerados sempre que possível:
  - `in` argumentos de array são traduzidos para *slices*.
  - `out` e `inout` args são traduzidos para `&mut Vec<T>`.
  - Valores de retorno são traduzidos para retornar um `Vec<T>`.

34.1.8 Atualizando Cliente e Serviço

Atualize o código do cliente e do servidor para considerar a nova API.

birthday_service/src/lib.rs:

```
impl IBirthdayService for BirthdayService {
    fn wishHappyBirthday(
        &self,
        name: &str,
        years: i32,
        text: &[String],
    ) -> binder::Result<String> {
        let mut msg = format!(
            "Feliz aniversário {name}, parabéns pelos seus {years} anos!",
        );

        for line in text {
            msg.push('\n');
            msg.push_str(line);
        }

        Ok(msg)
```

```
    }
}
```

birthday_server/src/client.rs:

```
let msg = service.wishHappyBirthday(
    &name,
    years,
    &[
        String::from("Felis aniversárrio para vocêêêêêê"),
        String::from("E também: muito mais"),
    ],
)?;
```

- TODO: Mover trechos de código para arquivos de projeto onde eles realmente serão construídos?

34.2 Trabalhando com Tipos AIDL

Os tipos AIDL são traduzidos para o tipo Rust idiomático apropriado:

- Os tipos primitivos mapeiam (em sua maioria) para tipos Rust idiomáticos.
- Tipos de coleção como *slices*, `Vec`s e tipos de string são suportados.
- Referências a objetos AIDL e identificadores de arquivo podem ser enviados entre clientes e serviços.
- Identificadores de arquivo e *parcelables* são totalmente suportados.

34.2.1 Tipos Primitivos

Os tipos primitivos mapeiam (em sua maioria) de forma idiomática:

Tipo em AIDL	Tipo em Rust	Observe que
`boolean`	`bool`	
`byte`	`i8`	Observe que bytes são assinados.
`char`	`u16`	Observe o uso de u16, NÃO u32.
`int`	`i32`	
`long`	`i64`	
`float`	`f32`	
`double`	`f64`	
`String`	`String`	

34.2.2 Tipos de Matriz

Os tipos de array (`T[]`, `byte[]` e `List<T>`) são traduzidos para o tipo de array Rust apropriado, dependendo de como são usados na assinatura da função:

Posição	Tipo em Rust
Argumento `in`	`&[T]`
Argumento `out`/`inout`	`&mut Vec<T>`

Posição	Tipo em Rust
Retorno	`Vec<T>`

- No Android 13 ou superior, arrays de tamanho fixo são suportados, ou seja, `T[N]` se torna `[T; N]`. Arrays de tamanho fixo podem ter várias dimensões (por exemplo, int[3][4]). No backend Java, arrays de tamanho fixo são representados como tipos de array.
- Arrays em campos *parcelable* sempre são traduzidos para `Vec<T>`.

34.2.3 Enviando Objetos

Objetos AIDL podem ser enviados como um tipo AIDL concreto ou como a interface `IBinder` com tipo apagado:

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayInfoProvider.aidl:

```
package com.example.birthdayservice;

interface IBirthdayInfoProvider {
    String name();
    int years();
}
```

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayService.aidl:

```
import com.example.birthdayservice.IBirthdayInfoProvider;

interface IBirthdayService {
    /** A mesma coisa, mas usando um objeto de ligação. */
    String wishWithProvider(IBirthdayInfoProvider provider);

    /** A mesma coisa, mas usando `IBinder`. */
    String wishWithErasedProvider(IBinder provider);
}
```

birthday_service/src/client.rs:

```
/// _Struct_ Rust implementando a interface `IBirthdayInfoProvider`.
struct InfoProvider {
    name: String,
    age: u8,
}

impl binder::Interface for InfoProvider {}

impl IBirthdayInfoProvider for InfoProvider {
    fn name(&self) -> binder::Result<String> {
        Ok(self.name.clone())
    }

    fn years(&self) -> binder::Result<i32> {
        Ok(self.age as i32)
    }
```

```
}

fn main() {
    binder::ProcessState::start_thread_pool();
    let service = connect().expect("Falha ao conectar-se a BirthdayService");

    // Cria um objeto de ligação para a interface `IBirthdayInfoProvider`.
    let provider = BnBirthdayInfoProvider::new_binder(
        InfoProvider { name: name.clone(), age: years as u8 },
        BinderFeatures::default(),
    );

    // Envia o objeto de ligação para o serviço.
    service.wishWithProvider(&provider)?;

    // Realiza a mesma operação, mas passando o provedor como um `SpIBinder`.
    service.wishWithErasedProvider(&provider.as_binder())?;
}
```

- Observe o uso de `BnBirthdayInfoProvider`. Isso serve para o mesmo propósito que `BnBirthdayService` que vimos anteriormente.

34.2.4 Parcelables

Binder para Rust suporta o envio de *parcelables* diretamente:

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/BirthdayInfo.aidl:

```
package com.example.birthdayservice;

parcelable BirthdayInfo {
    String name;
    int years;
}
```

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayService.aidl:

```
import com.example.birthdayservice.BirthdayInfo;

interface IBirthdayService {
    /** A mesma coisa, mas com um _parcelable_. */
    String wishWithInfo(in BirthdayInfo info);
}
```

birthday_service/src/client.rs:

```
fn main() {
    binder::ProcessState::start_thread_pool();
    let service = connect().expect("Falha ao conectar-se a BirthdayService");

    service.wishWithInfo(&BirthdayInfo { name: name.clone(), years })?;
}
```

34.2.5 Enviando Arquivos

Arquivos podem ser enviados entre clientes/servidores Binder usando o tipo `ParcelFileDescriptor`:

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayService.aidl:

```
interface IBirthdayService {
    /** A mesma coisa, mas carrega informações de um arquivo. */
    String wishFromFile(in ParcelFileDescriptor infoFile);
}
```

birthday_service/src/client.rs:

```
fn main() {
    binder::ProcessState::start_thread_pool();
    let service = connect().expect("Falha ao conectar-se a BirthdayService");

    // Abre um arquivo e coloca as informações de aniversário nele.
    let mut file = File::create("/data/local/tmp/birthday.info").unwrap();
    writeln!(file, "{name}")?;
    writeln!(file, "{years}")?;

    // Cria um `ParcelFileDescriptor` a partir do arquivo e o envia.
    let file = ParcelFileDescriptor::new(file);
    service.wishFromFile(&file)?;
}
```

birthday_service/src/lib.rs:

```
impl IBirthdayService for BirthdayService {
    fn wishFromFile(
        &self,
        info_file: &ParcelFileDescriptor,
    ) -> binder::Result<String> {
        // Converte o descritor de arquivo para um `File`. `ParcelFileDescriptor` envol
        // um `OwnedFd`, que pode ser clonado e então usado para criar um objeto `File`
        let mut info_file = info_file
            .as_ref()
            .try_clone()
            .map(File::from)
            .expect("Identificador de arquivo inválido");

        let mut contents = String::new();
        info_file.read_to_string(&mut contents).unwrap();

        let mut lines = contents.lines();
        let name = lines.next().unwrap();
        let years: i32 = lines.next().unwrap().parse().unwrap();

        Ok(format!("Feliz aniversário {name}, parabéns pelos seus {years} anos!"))
    }
}
```

- `ParcelFileDescriptor` envolve um `OwnedFd`, e assim pode ser criado a partir de um `File` (ou qualquer outro tipo que envolva um `OwnedFd`), e pode ser usado para criar

um novo identificador de `File` no outro lado.
- Outros tipos de descritores de arquivo podem ser envolvidos e enviados, por exemplo, soquetes TCP, UDP e UNIX.

Capítulo 35

Testes no Android

Continuando em Testes, agora veremos como os testes unitários funcionam no AOSP. Use o módulo `rust_test` para seus testes unitários:

testing/Android.bp:

```
rust_library {
    name: "libleftpad",
    crate_name: "leftpad",
    srcs: ["src/lib.rs"],
}

rust_test {
    name: "libleftpad_test",
    crate_name: "leftpad_test",
    srcs: ["src/lib.rs"],
    host_supported: true,
    test_suites: ["general-tests"],
}
```

testing/src/lib.rs:

```
//! Biblioteca de preenchimento à esquerda.

/// Preenche à esquerda `s` até `width`.
pub fn leftpad(s: &str, width: usize) -> String {
    format!("{s:>width$}")
}

mod tests {
    use super::*;

    fn short_string() {
        assert_eq!(leftpad("foo", 5), "  foo");
    }

    fn long_string() {
        assert_eq!(leftpad("foobar", 6), "foobar");
```

```
    }
}
```

Agora você pode executar o teste com

```
atest --host libleftpad_test
```

A saída se parece com isso:

```
INFO: Elapsed time: 2.666s, Critical Path: 2.40s
INFO: 3 processes: 2 internal, 1 linux-sandbox.
INFO: Build completed successfully, 3 total actions
//comprehensive-rust-android/testing:libleftpad_test_host            PASSED in 2.3s
    PASSED  libleftpad_test.tests::long_string (0.0s)
    PASSED  libleftpad_test.tests::short_string (0.0s)
Test cases: finished with 2 passing and 0 failing out of 2 test cases
```

Observe como você menciona apenas a raiz da *crate* da biblioteca. Os testes são encontrados recursivamente em módulos aninhados.

35.1 GoogleTest

O *crate* GoogleTest permite assertividade de testes flexível usando *matchers* (correspondentes):

```
use googletest::prelude::*;

fn test_elements_are() {
    let value = vec!["foo", "bar", "baz"];
    expect_that!(value, elements_are!(eq("foo"), lt("xyz"), starts_with("b")));
}
```

Se mudarmos o último elemento para `"!"`, o teste falha com uma mensagem de erro estruturada apontando o erro:

```
---- test_elements_are stdout ----
Value of: value
Expected: has elements:
  0. is equal to "foo"
  1. is less than "xyz"
  2. starts with prefix "!"
Actual: ["foo", "bar", "baz"],
  where element #2 is "baz", which does not start with "!"
  at src/testing/googletest.rs:6:5
Error: See failure output above
```

- GoogleTest não faz parte do *playground* do Rust, então você precisa executar este exemplo em um ambiente local. Use `cargo add googletest` para adicioná-lo rapidamente a um projeto Cargo existente.
- A linha `use googletest::prelude::*;` importa uma série de macros e tipos comumente usados.
- Isso é apenas a ponta do iceberg, existem muitos *matchers* embutidos. Considere passar pelo primeiro capítulo de "Testes avançados para aplicações Rust", um curso de Rust

autoguiado: ele fornece uma introdução guiada à biblioteca, com exercícios para ajudá-lo a se sentir confortável com os macros do `googletest`, seus *matchers* e sua filosofia geral.

- Uma característica particularmente interessante é que as diferenças em strings de várias linhas são mostradas como uma diferença:

```
fn test_multiline_string_diff() {
    let haiku = "Memory safety found,\n\
                 Rust's strong typing guides the way,\n\
                 Secure code you'll write.";
    assert_that!(
        haiku,
        eq("Memory safety found,\n\
            Rust's silly humor guides the way,\n\
            Secure code you'll write.")
    );
}
```

mostra uma diferença usando cores (não mostradas aqui):

```
    Value of: haiku
Expected: is equal to "Memory safety found,\nRust's silly humor guides the way,\nSecure
Actual: "Memory safety found,\nRust's strong typing guides the way,\nSecure code you'll
  which isn't equal to "Memory safety found,\nRust's silly humor guides the way,\nSecure
Difference(-actual / +expected):
 Memory safety found,
-Rust's strong typing guides the way,
+Rust's silly humor guides the way,
 Secure code you'll write.
  at src/testing/googletest.rs:17:5
```

- O *crate* é uma tradução para Rust do GoogleTest para C++.

35.2 Mocking

Para *mocking*, Mockall é uma biblioteca muito usada. Você precisa refatorar seu código para usar *traits*, que você pode então rapidamente *"mockar"*:

```
use std::time::Duration;

pub trait Pet {
    fn is_hungry(&self, since_last_meal: Duration) -> bool;
}

fn test_robot_dog() {
    let mut mock_dog = MockPet::new();
    mock_dog.expect_is_hungry().return_const(true);
    assert_eq!(mock_dog.is_hungry(Duration::from_secs(10)), true);
}
```

- Mockall é a biblioteca de *mocking* recomendada para Android (AOSP). Existem outras bibliotecas de *mocking* disponíveis em crates.io, em particular na área de *mocking* de

serviços HTTP. As outras bibliotecas de *mocking* funcionam de maneira semelhante ao Mockall, o que significa que elas facilitam a obtenção de uma implementação de *mock* de um determinado *trait*.

- Observe que o *mocking* é um tanto *controverso*: *mocks* permitem que você isole completamente um teste de suas dependências. O resultado imediato é uma execução de teste mais rápida e estável. Por outro lado, os *mocks* podem ser configurados incorretamente e retornar uma saída diferente daquela que as dependências reais fariam.

  Se possível, é recomendável que você use as dependências reais. Como exemplo, muitos bancos de dados permitem que você configure um *backend* em memória. Isso significa que você obtém o comportamento correto em seus testes, além de serem rápidos e limparem automaticamente após si mesmos.

  Da mesma forma, muitos *frameworks* da web permitem que você inicie um servidor em processo que se vincula a uma porta aleatória em `localhost`. Sempre prefira isso a *mockar* o *framework* pois isso ajuda você a testar seu código no ambiente real.

- Mockall não faz parte do *playground* do Rust, então você precisa executar este exemplo em um ambiente local. Use `cargo add mockall` para adicionar rapidamente o Mockall a um projeto Cargo existente.

- Mockall tem muito mais funcionalidades. Em particular, você pode configurar expectativas que dependem dos argumentos passados. Aqui usamos isso para "*mockar*" um gato que fica com fome 3 horas após a última vez que foi

```
fn test_robot_cat() {
    let mut mock_cat = MockPet::new();
    mock_cat
        .expect_is_hungry()
        .with(mockall::predicate::gt(Duration::from_secs(3 * 3600)))
        .return_const(true);
    mock_cat.expect_is_hungry().return_const(false);
    assert_eq!(mock_cat.is_hungry(Duration::from_secs(1 * 3600)), false);
    assert_eq!(mock_cat.is_hungry(Duration::from_secs(5 * 3600)), true);
}
```

- Você pode usar `.times(n)` para limitar o número de vezes que um método *mock* pode ser chamado para n --- o *mock* automaticamente irá gerar um pânico quando descartado se isso não for satisfeito.

Capítulo 36

Gerando Registros (Log)

Você deve usar o `crate log` para logar automaticamente no `logcat` (no dispositivo) ou `stdout` (no *host*):

hello_rust_logs/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "hello_rust_logs",
    crate_name: "hello_rust_logs",
    srcs: ["src/main.rs"],
    rustlibs: [
        "liblog_rust",
        "liblogger",
    ],
    host_supported: true,
}
```

hello_rust_logs/src/main.rs:

```
//! Rust logging demo.

use log::{debug, error, info};

/// Registra uma saudação.
fn main() {
    logger::init(
        logger::Config::default()
            .with_tag_on_device("rust")
            .with_min_level(log::Level::Trace),
    );
    debug!("Iniciando programa.");
    info!("As coisas estão indo bem.");
    error!("Algo deu errado!");
}
```

Compile, envie e execute o binário em seu dispositivo:

```
m hello_rust_logs
```

```
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/hello_rust_logs /data/local/tmp"
adb shell /data/local/tmp/hello_rust_logs
```

Os logs aparecem em `adb logcat`:

```
adb logcat -s rust
```

```
09-08 08:38:32.454  2420  2420 D rust: hello_rust_logs: Starting program.
09-08 08:38:32.454  2420  2420 I rust: hello_rust_logs: Things are going fine.
09-08 08:38:32.454  2420  2420 E rust: hello_rust_logs: Something went wrong!
```

Capítulo 37

Interoperabilidade

O Rust tem excelente suporte para interoperabilidade com outras linguagens. Isso significa que você pode:

- Chamar funções Rust em outras linguagens.
- Chamar funções escritas em outras linguagens no Rust.

Quando você chama funções em outra linguagem, dizemos que você está usando uma *interface de função externa*, também conhecida como FFI.

37.1 Interoperabilidade com C

Rust tem suporte completo para vincular arquivos de objeto com uma convenção de chamada C. Da mesma forma, você pode exportar funções Rust e chamá-las em C.

Você pode fazer isso manualmente se quiser:

```
extern "C" {
    fn abs(x: i32) -> i32;
}

fn main() {
    let x = -42;
    // SEGURANÇA: `abs` não tem nenhum requisito de segurança.
    let abs_x = unsafe { abs(x) };
    println!("{x}, {abs_x}");
}
```

Já vimos isso no exercício Safe FFI Wrapper .

> Isso pressupõe conhecimento total da plataforma de destino. Não recomendado para produção.

Veremos opções melhores a seguir.

37.1.1 Usando Bindgen

A ferramenta bindgen pode gerar vínculos (*bindings*) automaticamente a partir de um arquivo de cabeçalho C.

Primeiro crie uma pequena biblioteca C:

interoperability/bindgen/libbirthday.h:

```
typedef struct card {
  const char* name;
  int years;
} card;

void print_card(const card* card);
```

interoperability/bindgen/libbirthday.c:

```
#include <stdio.h>
#include "libbirthday.h"

void print_card(const card* card) {
  printf("+--------------\n");
  printf("|Feliz Aniversário %s!\n", card->name);
  printf("|Parabéns pelos %i anos!\n", card->years);
  printf("+--------------\n");
}
```

Adicione isto ao seu arquivo `Android.bp`:

interoperability/bindgen/Android.bp:

```
cc_library {
    name: "libbirthday",
    srcs: ["libbirthday.c"],
}
```

Crie um arquivo de cabeçalho *wrapper* para a biblioteca (não estritamente necessário neste exemplo):

interoperability/bindgen/libbirthday_wrapper.h:

```
#include "libbirthday.h"
```

Agora você pode gerar automaticamente as vinculações (*bindings*):

interoperability/bindgen/Android.bp:

```
rust_bindgen {
    name: "libbirthday_bindgen",
    crate_name: "birthday_bindgen",
    wrapper_src: "libbirthday_wrapper.h",
    source_stem: "bindings",
    static_libs: ["libbirthday"],
}
```

Finalmente, podemos usar as vinculações (*bindings*) em nosso programa Rust:

interoperability/bindgen/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "print_birthday_card",
    srcs: ["main.rs"],
    rustlibs: ["libbirthday_bindgen"],
}
```

interoperability/bindgen/main.rs:

```
//! Bindgen demo.

use birthday_bindgen::{card, print_card};

fn main() {
    let name = std::ffi::CString::new("Peter").unwrap();
    let card = card { name: name.as_ptr(), years: 42 };
    // SEGURANÇA: O ponteiro que passamos é válido porque veio de uma referência Rust,
    // e o `name` que ele contém se refere a `name` acima, que também permanece
    // válido. `print_card` não armazena nenhum dos ponteiros para usar depois
    // que ele retorna.
    unsafe {
        print_card(&card as *const card);
    }
}
```

Compile, envie e execute o binário em seu dispositivo:

```
m print_birthday_card
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/print_birthday_card /data/local/tmp"
adb shell /data/local/tmp/print_birthday_card
```

Por fim, podemos executar testes gerados automaticamente para garantir que as vinculações funcionem:

interoperability/bindgen/Android.bp:

```
rust_test {
    name: "libbirthday_bindgen_test",
    srcs: [":libbirthday_bindgen"],
    crate_name: "libbirthday_bindgen_test",
    test_suites: ["general-tests"],
    auto_gen_config: true,
    clippy_lints: "none", // Arquivo gerado, pule o linting
    lints: "none",
}
```

```
atest libbirthday_bindgen_test
```

37.1.2 Chamando Rust

Exportar funções e tipos do Rust para C é fácil:

interoperability/rust/libanalyze/analyze.rs

```
//! Rust FFI demo.

use std::os::raw::c_int;
```

```
/// Analisar os números.
pub extern "C" fn analyze_numbers(x: c_int, y: c_int) {
    if x < y {
        println!("x ({x}) é o menor!");
    } else {
        println!("y ({y}) é provavelmente maior que x ({x})");
    }
}
```

interoperability/rust/libanalyze/analyze.h

```
#ifndef ANALYSE_H
#define ANALYSE_H

extern "C" {
void analyze_numbers(int x, int y);
}

#endif
```

interoperability/rust/libanalyze/Android.bp

```
rust_ffi {
    name: "libanalyze_ffi",
    crate_name: "analyze_ffi",
    srcs: ["analyze.rs"],
    include_dirs: ["."],
}
```

Agora podemos chamá-lo a partir de um binário C:

interoperability/rust/analisar/main.c

```
#include "analyze.h"

int main() {
  analyze_numbers(10, 20);
  analyze_numbers(123, 123);
  return 0;
}
```

interoperability/rust/analyze/Android.bp

```
cc_binary {
    name: "analyze_numbers",
    srcs: ["main.c"],
    static_libs: ["libanalyze_ffi"],
}
```

Compile, envie e execute o binário em seu dispositivo:

```
m analyze_numbers
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/analyze_numbers /data/local/tmp"
adb shell /data/local/tmp/analyze_numbers
```

`#[no_mangle]` desativa a alteração de name usual do Rust, então o símbolo exportado será apenas o nome da função. Você também pode usar `#[export_name = "algum_nome"]` para especificar qualquer nome que desejar.

37.2 Com C++

O crate CXX possibilita a interoperabilidade segura entre Rust e C++.

A abordagem geral é assim:

37.2.1 O Módulo Bridge

O CXX depende de uma descrição das assinaturas de função que serão expostas de cada linguagem para a outra. Você fornece essa descrição usando blocos externos em um módulo Rust anotado com a macro de atributo `#[cxx::bridge]`.

```
mod ffi {
    // Estruturas compartilhadas com campos visíveis para ambas as linguagens.
    struct BlobMetadata {
        size: usize,
        tags: Vec<String>,
    }

    // Tipos e assinaturas Rust expostos ao C++.
    extern "Rust" {
        type MultiBuf;

        fn next_chunk(buf: &mut MultiBuf) -> &[u8];
    }

    // Tipos e assinaturas C++ expostos ao Rust.
    unsafe extern "C++" {
        include!("include/blobstore.h");

        type BlobstoreClient;

        fn new_blobstore_client() -> UniquePtr<BlobstoreClient>;
        fn put(self: Pin<&mut BlobstoreClient>, parts: &mut MultiBuf) -> u64;
        fn tag(self: Pin<&mut BlobstoreClient>, blobid: u64, tag: &str);
        fn metadata(&self, blobid: u64) -> BlobMetadata;
    }
}
```

- O *bridge* geralmente é declarado em um módulo `ffi` dentro do seu *crate*.
- A partir das declarações feitas no módulo *bridge*, o CXX gerará definições de tipo/função correspondentes em Rust e C++ para expor esses itens para ambas as linguagens.
- Para visualizar o código Rust gerado, use cargo-expand para visualizar a macro de procedimento expandida. Para a maioria dos exemplos, você usaria `cargo expand ::ffi` para expandir apenas o módulo `ffi` (embora isso não se aplique a projetos Android).
- Para visualizar o código C++ gerado, procure em `target/cxxbridge`.

37.2.2 Declarações de *Bridge* Rust

```
mod ffi {
    extern "Rust" {
        type MyType; // Tipo opaco
        fn foo(&self); // Método em `MyType`
        fn bar() -> Box<MyType>; // Função livre
    }
}

struct MyType(i32);

impl MyType {
    fn foo(&self) {
        println!("{}", self.0);
    }
}

fn bar() -> Box<MyType> {
    Box::new(MyType(123))
}
```

- Os itens declarados em `extern "Rust"` referenciam itens que estão no escopo no módulo pai.
- O gerador de código CXX usa sua(s) seção(ões) `extern "Rust"` para produzir um arquivo de cabeçalho C++ contendo as declarações C++ correspondentes. O cabeçalho gerado tem o mesmo caminho do arquivo de origem Rust contendo a ponte, exceto com uma extensão de arquivo .rs.h.

37.2.3 C++ Gerado

```
mod ffi {
    // Tipos e assinaturas Rust expostos ao C++.
    extern "Rust" {
        type MultiBuf;

        fn next_chunk(buf: &mut MultiBuf) -> &[u8];
    }
}
```

Resulta (aproximadamente) no seguinte C++:

```
struct MultiBuf final : public ::rust::Opaque {
  ~MultiBuf() = delete;

private:
  friend ::rust::layout;
  struct layout {
    static ::std::size_t size() noexcept;
    static ::std::size_t align() noexcept;
  };
};
```

```
::rust::Slice<::std::uint8_t const> next_chunk(::org::blobstore::MultiBuf &buf) noexcept
```

37.2.4 Declarações de *Bridge* C++

```
mod ffi {
    // Tipos e assinaturas C++ expostos ao Rust.
    unsafe extern "C++" {
        include!("include/blobstore.h");

        type BlobstoreClient;

        fn new_blobstore_client() -> UniquePtr<BlobstoreClient>;
        fn put(self: Pin<&mut BlobstoreClient>, parts: &mut MultiBuf) -> u64;
        fn tag(self: Pin<&mut BlobstoreClient>, blobid: u64, tag: &str);
        fn metadata(&self, blobid: u64) -> BlobMetadata;
    }
}
```

Resulta (aproximadamente) no seguinte Rust:

```
pub struct BlobstoreClient {
    _private: ::cxx::private::Opaque,
}

pub fn new_blobstore_client() -> ::cxx::UniquePtr<BlobstoreClient> {
    extern "C" {
        fn __new_blobstore_client() -> *mut BlobstoreClient;
    }
    unsafe { ::cxx::UniquePtr::from_raw(__new_blobstore_client()) }
}

impl BlobstoreClient {
    pub fn put(&self, parts: &mut MultiBuf) -> u64 {
        extern "C" {
            fn __put(
                _: &BlobstoreClient,
                parts: *mut ::cxx::core::ffi::c_void,
            ) -> u64;
        }
        unsafe {
            __put(self, parts as *mut MultiBuf as *mut ::cxx::core::ffi::c_void)
        }
    }
}

// ...
```

- O programador não precisa prometer que as assinaturas que ele digitou estão corretas. O CXX realiza verificações estáticas de que as assinaturas correspondem exatamente ao que é declarado em C++.

- Os blocos `unsafe extern` permitem que você declare funções C++ que podem ser chamadas com segurança do Rust.

37.2.5 Tipos Compartilhados

```
mod ffi {
    struct PlayingCard {
        suit: Suit,
        value: u8,  // A=1, J=11, Q=12, K=13
    }

    enum Suit {
        Clubs,
        Diamonds,
        Hearts,
        Spades,
    }
}
```

- Apenas enums C-like (unit) são suportados.
- Um número limitado de *traits* são suportados para `#[derive()]` em tipos compartilhados. A funcionalidade correspondente também é gerada para o código C++, por exemplo, se você derivar `Hash` também gera uma implementação de `std::hash` para o tipo C++ correspondente.

37.2.6 Enums Compartilhados

```
mod ffi {
    enum Suit {
        Clubs,
        Diamonds,
        Hearts,
        Spades,
    }
}
```

Rust gerado:

```
pub struct Suit {
    pub repr: u8,
}

impl Suit {
    pub const Clubs: Self = Suit { repr: 0 };
    pub const Diamonds: Self = Suit { repr: 1 };
    pub const Hearts: Self = Suit { repr: 2 };
    pub const Spades: Self = Suit { repr: 3 };
}
```

C++ gerado:

```
enum class Suit : uint8_t {
  Clubs = 0,
```

```
  Diamonds = 1,
  Hearts = 2,
  Spades = 3,
};
```

- No lado Rust, o código gerado para enums compartilhados é realmente uma estrutura que envolve um valor numérico. Isso ocorre porque não é UB em C++ para uma classe enum ter um valor diferente de todas as variantes listadas, e nossa representação Rust precisa ter o mesmo comportamento.

37.2.7 Tratamento de Erros do Rust

```
mod ffi {
    extern "Rust" {
        fn fallible(depth: usize) -> Result<String>;
    }
}

fn fallible(depth: usize) -> anyhow::Result<String> {
    if depth == 0 {
        return Err(anyhow::Error::msg("fallible1 requer profundidade > 0"));
    }

    Ok("Sucesso!".into())
}
```

- As funções Rust que retornam `Result` são traduzidas para exceções no lado C++.
- A exceção lançada sempre será do tipo `rust::Error`, que expõe principalmente uma maneira de obter a string da mensagem de erro. A mensagem de erro virá da implementação `Display` do tipo de erro.
- Um pânico propagando do Rust para o C++ sempre fará com que o processo

37.2.8 Tratamento de Erros do C++

```
mod ffi {
    unsafe extern "C++" {
        include!("example/include/example.h");
        fn fallible(depth: usize) -> Result<String>;
    }
}

fn main() {
    if let Err(err) = ffi::fallible(99) {
        eprintln!("Erro: {}", err);
        process::exit(1);
    }
}
```

- As funções C++ declaradas para retornar um `Result` capturarão qualquer exceção lançada no lado C++ e a retornarão como um valor `Err` para a função
- Se uma exceção for lançada de uma função externa "C++" que não é declarada pela *bridge* CXX para retornar `Result`, o programa chama `std::terminate` do C++. O

comportamento é equivalente à mesma exceção sendo lançada por meio de uma função `noexcept` C++.

37.2.9 Tipos Adicionais

Tipo em Rust	Tipo em C++
`String`	`rust::String`
`&str`	`rust::Str`
`CxxString`	`std::string`
`&[T]/&mut [T]`	`rust::Slice`
`Box<T>`	`rust::Box<T>`
`UniquePtr<T>`	`std::unique_ptr<T>`
`Vec<T>`	`rust::Vec<T>`
`CxxVector<T>`	`std::vector<T>`

- Esses tipos podem ser usados nos campos de *structs* compartilhadas e nos argumentos e retornos de funções externas.
- Observe que a `String` do Rust não é mapeada diretamente para `std::string`. Há algumas razões para isso:
  - `std::string` não mantém a invariante UTF-8 que `String` requer.
  - Os dois tipos têm layouts diferentes na memória e, portanto, não podem ser passados diretamente entre as linguagens.
  - `std::string` requer construtores de movimento que não correspondem à semântica de movimento do Rust, portanto, uma `std::string` não pode ser passada por valor para o Rust.

37.2.10 Compilando no Android

Crie uma `cc_library_static` para compilar a biblioteca C++, incluindo o cabeçalho e o arquivo de origem gerados pelo CXX.

```
cc_library_static {
    name: "libcxx_test_cpp",
    srcs: ["cxx_test.cpp"],
    generated_headers: [
        "cxx-bridge-header",
        "libcxx_test_bridge_header"
    ],
    generated_sources: ["libcxx_test_bridge_code"],
}
```

- Observe que `libcxx_test_bridge_header` e `libcxx_test_bridge_code` são as dependências para as vinculações C++ geradas pelo CXX. Mostraremos como essas são configuradas no próximo slide.
- Observe que você também precisa depender da biblioteca `cxx-bridge-header` para puxar as definições CXX comuns.
- Documentação completa para usar CXX no Android pode ser encontrada na documentação do Android. Você pode querer compartilhar esse link com a classe para que os alunos saibam onde podem encontrar essas instruções novamente no futuro.

37.2.11 Compilando no Android

Crie duas regras de geração: uma para gerar o cabeçalho CXX e outra para gerar o arquivo de origem CXX. Estes são então usados como entradas para a `cc_library_static`.

```
// Gera um cabeçalho C++ contendo as vinculações C++
// para as funções exportadas do Rust em lib.rs.
genrule {
    name: "libcxx_test_bridge_header",
    tools: ["cxxbridge"],
    cmd: "$(location cxxbridge) $(in) --header > $(out)",
    srcs: ["lib.rs"],
    out: ["lib.rs.h"],
}

// Gera o código C++ que o Rust chama.
genrule {
    name: "libcxx_test_bridge_code",
    tools: ["cxxbridge"],
    cmd: "$(location cxxbridge) $(in) > $(out)",
    srcs: ["lib.rs"],
    out: ["lib.rs.cc"],
}
```

- A ferramenta `cxxbridge` é uma ferramenta independente que gera o lado C++ do módulo *bridge*. Ele está incluído no Android e está disponível como uma ferramenta Soong.
- Por convenção, se o seu arquivo de origem Rust for `lib.rs`, seu arquivo de cabeçalho será chamado `lib.rs.h` e seu arquivo de origem será chamado `lib.rs.cc`. Essa convenção de nomenclatura não é aplicada, no entanto.

37.2.12 Compilando no Android

Crie um `rust_binary` que depende de `libcxx` e sua `cc_library_static`.

```
rust_binary {
    name: "cxx_test",
    srcs: ["lib.rs"],
    rustlibs: ["libcxx"],
    static_libs: ["libcxx_test_cpp"],
}
```

37.3 Interoperabilidade com Java

Java pode carregar objetos compartilhados via Java Native Interface (JNI). O crate `jni` permite que você crie uma biblioteca compatível.

Primeiro, criamos uma função Rust para exportar para Java:

interoperability/java/src/lib.rs:

```
//! Rust <-> Java FFI demo.
```

```rust
use jni::objects::{JClass, JString};
use jni::sys::jstring;
use jni::JNIEnv;

/// Implementação do método HelloWorld::hello.
pub extern "system" fn Java_HelloWorld_hello(
    env: JNIEnv,
    _class: JClass,
    name: JString,
) -> jstring {
    let input: String = env.get_string(name).unwrap().into();
    let greeting = format!("Olá, {input}!");
    let output = env.new_string(greeting).unwrap();
    output.into_inner()
}
```

interoperability/java/Android.bp:

```
rust_ffi_shared {
    name: "libhello_jni",
    crate_name: "hello_jni",
    srcs: ["src/lib.rs"],
    rustlibs: ["libjni"],
}
```

Podemos então chamar esta função do Java:

interoperability/java/HelloWorld.java:

```java
class HelloWorld {
    private static native String hello(String name);

    static {
        System.loadLibrary("hello_jni");
    }

    public static void main(String[] args) {
        String output = HelloWorld.hello("Alice");
        System.out.println(output);
    }
}
```

interoperability/java/Android.bp:

```
java_binary {
    name: "helloworld_jni",
    srcs: ["HelloWorld.java"],
    main_class: "HelloWorld",
    required: ["libhello_jni"],
}
```

Por fim, você pode criar, sincronizar e executar o binário:

```
m helloworld_jni
adb sync  # requires adb root && adb remount
```

```
adb shell /system/bin/helloworld_jni
```

Capítulo 38

Exercícios

Este é um exercício em grupo: Nós iremos ver um dos projetos com os quais você trabalha e tentar integrar um pouco de Rust nele. Algumas sugestões:

- Chame seu serviço AIDL com um cliente escrito em Rust.
- Mova uma função do seu projeto para o Rust e a chame.

Nenhuma solução é fornecida aqui, pois isso é aberto: depende de você ter uma classe tendo um pedaço de código que você pode transformar em Rust em tempo real.

Parte X

Chromium

Capítulo 39

Bem-vindos ao Rust para Chromium

O Rust é suportado para bibliotecas de terceiros no Chromium, com código original para conectar com o código C++ existente do Chromium.

> Hoje, chamaremos o Rust para fazer algo simples com strings. Se você tem um pedacinho do código onde é exibida uma string UTF8 para o usuário, sinta-se à vontade para seguir esta receita em sua parte do código-fonte em vez da parte exata sobre a qual falamos.

Capítulo 40

Configuração

Certifique-se de que você pode compilar e executar o Chromium. Qualquer plataforma e conjunto de *flags* de compilação está OK, desde que seu código seja relativamente recente (posição de *commit* 1223636 em diante, correspondendo a novembro de 2023):

```
gn gen out/Debug
autoninja -C out/Debug chrome
out/Debug/chrome # or on Mac, out/Debug/Chromium.app/Contents/MacOS/Chromium
```

(Um componente, compilação de *debug* é recomendado para o tempo de iteração mais rápido. Este é o padrão!)

Veja Como compilar o Chromium se você ainda não estiver nesse ponto. Atenção: configurar a compilação do Chromium leva tempo.

Também é recomendável que você tenha o Visual Studio Code instalado.

Sobre os exercícios

Esta parte do curso tem uma série de exercícios que se complementam. Faremo-os ao longo do curso em vez de apenas no final. Se você não tiver tempo para concluir uma determinada parte, não se preocupe: você pode alcançar no próximo slot.

Capítulo 41

Comparando os Ecossistemas do Chromium e do Cargo

A comunidade Rust normalmente usa `cargo` e bibliotecas de crates.io. O Chromium é compilado usando gn e `ninja` e um conjunto de dependências selecionadas.

Ao escrever código em Rust, suas escolhas são:

- Use gn e `ninja` com a ajuda dos *templates* de `//build/rust/*.gni` (por exemplo, `rust_static_library` que veremos mais adiante). Isso usa o conjunto de ferramentas e *crates* auditados do Chromium.
- Use `cargo`, mas restrinja-se ao conjunto de ferramentas e *crates* auditados do Chromium
- Use `cargo`, confiando em um conjunto de ferramentas e/ou crates baixados da internet

Daqui em diante, estaremos focando em gn e `ninja`, porque é assim que o código Rust pode ser compilado no navegador Chromium. Ao mesmo tempo, o Cargo é uma parte importante do ecossistema Rust e você deve mantê-lo em sua caixa de ferramentas.

Mini exercício

Dividam-se em pequenos grupos e:

- Faça um brainstorm de cenários em que o `cargo` pode oferecer uma vantagem e avalie o perfil de risco desses cenários.
- Discuta quais ferramentas, bibliotecas e grupos de pessoas precisam ser confiáveis ao usar gn e `ninja`, `cargo` offline, etc.

Peça aos alunos que evitem olhar as notas do apresentador antes de completar o exercício. Supondo que as pessoas que fazem o curso estejam fisicamente juntas, peça-lhes que discutam em pequenos grupos de 3-4 pessoas.

Notas/dicas relacionadas à primeira parte do exercício (”cenários em que o Cargo pode oferecer uma vantagem”):

- É fantástico que, ao escrever uma ferramenta ou prototipar uma parte do Chromium, tenha-se acesso ao rico ecossistema de bibliotecas do crates.io. Há um *crate* para quase tudo e eles geralmente são bastante agradáveis de usar. (`clap` para análise de linha de

comando, `serde` para serialização/desserialização para/de vários formatos, `itertools` para trabalhar com iteradores, etc.).

  - O `cargo` torna fácil experimentar uma biblioteca (basta adicionar uma única linha ao `Cargo.toml` e começar a escrever o código)
  - Pode valer a pena comparar como o CPAN ajudou a tornar o `perl` uma escolha popular. Ou comparar com `python` + `pip`.

- A experiência de desenvolvimento é tornada realmente agradável não apenas pelas ferramentas principais do Rust (por exemplo, usando `rustup` para alternar para uma versão diferente do `rustc` ao testar um *crate* que precisa funcionar no nightly, estável atual e estável antigo), mas também por um ecossistema de ferramentas de terceiros (por exemplo, a Mozilla fornece `cargo vet` para agilizar e compartilhar auditorias de segurança; o *crate* `criterion` fornece uma maneira simplificada de executar *benchmarks*).

  - O `cargo` torna fácil adicionar uma ferramenta via `cargo install --locked cargo-vet`.
  - Pode valer a pena comparar com as extensões do Chrome ou as extensões do VScode.

- Exemplos amplos e genéricos de projetos em que o `cargo` pode ser a escolha certa:

  - Talvez surpreendentemente, o Rust está se tornando cada vez mais popular na indústria para escrever ferramentas de linha de comando. A amplitude e a ergonomia das bibliotecas são comparáveis ao Python, enquanto são mais robustas (graças ao rico sistema de tipos) e executam mais rápido (como uma linguagem compilada, em vez de interpretada).
  - Participar do ecossistema Rust requer o uso de ferramentas padrão do Rust, como o Cargo. Bibliotecas que desejam obter contribuições externas e desejam ser usadas fora do Chromium (por exemplo, em ambientes de compilação Bazel ou Android/Soong) devem usar o Cargo.

- Exemplos de projetos relacionados ao Chromium que são baseados no `cargo`:

  - `serde_json_lenient` (experimentado em outras partes do Google, o que resultou em PRs com melhorias de desempenho)
  - Bibliotecas Fontations como `font-types`
  - Ferramenta `gnrt` (vamos conhecê-la mais adiante no curso) que depende do `clap` para análise de linha de comando e do `toml` para arquivos de configuração.
    * Aviso: um motivo único para usar o `cargo` foi a indisponibilidade do `gn` ao compilar e inicializar a biblioteca padrão do Rust ao compilar o conjunto de ferramentas Rust.)
    * `run_gnrt.py` usa a cópia do `cargo` e do `rustc` do Chromium. `gnrt` depende de bibliotecas de terceiros baixadas da internet, mas `run_gnrt.py` pede ao `cargo` que apenas o conteúdo `--locked` seja permitido via `Cargo.lock`.)

Os alunos podem identificar os seguintes itens como sendo implicitamente ou explicitamente confiáveis:

- `rustc` (o compilador Rust), que por sua vez depende das bibliotecas LLVM, do compilador Clang, das fontes `rustc` (buscadas no GitHub, revisadas pela equipe do compilador Rust), compilador Rust binário baixado para inicialização
- `rustup` (pode valer a pena observar que o `rustup` é desenvolvido sob a supervisão da organização https://github.com/rust-lang/ - o mesmo que o `rustc`)
- `cargo`, `rustfmt`, etc.

- Diversas infraestruturas internas (robôs que compilam `rustc`, sistema para distribuir o conjunto de ferramentas pré-compilado para engenheiros do Chromium, etc.)
- Ferramentas do Cargo como `cargo audit`, `cargo vet`, etc.
- Bibliotecas Rust hospedadas em `//third_party/rust` (auditadas por security@chromium.org)
- Outras bibliotecas Rust (algumas de nicho, algumas bastante populares e comumente usadas)

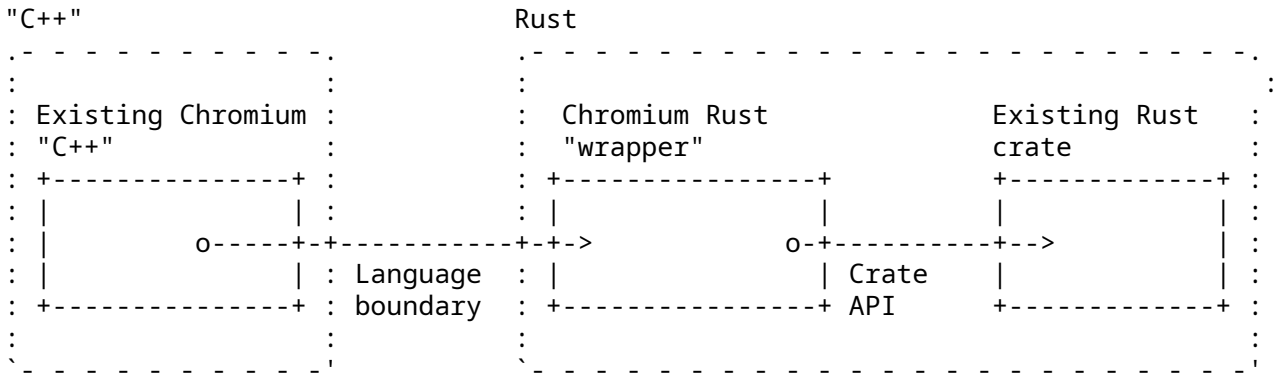
Capítulo 42

Política do Rust para Chromium

O Chromium ainda não permite que Rust seja utlizado diretamente, exceto em casos raros, conforme aprovado pelos Area Tech Leads do Chromium.

A política do Chromium sobre bibliotecas de terceiros é descrita aqui - o Rust é permitido para bibliotecas de terceiros em várias circunstâncias, incluindo se forem a melhor opção para desempenho ou para segurança.

Muito poucas bibliotecas Rust expõem diretamente uma API C/C++, o que significa que quase todas essas bibliotecas exigirão diretamente um pouco de código de integração.



> O código próprio de integração Rust para um determinado *crate* de terceiros deve ser mantido normalmente em `third_party/rust/<crate>/<version>/wrapper`.

Por causa disso, o curso de hoje será fortemente focado em:

- Trabalhando com bibliotecas Rust de terceiros (”crates”)
- Escrevendo código de integração para poder usar esses *crates* a partir do C++ do Chromium.

Se essa política mudar com o tempo, o curso evoluirá para acompanhar.

Capítulo 43

Regras de Compilação

O código Rust geralmente é compilado usando `cargo`. O Chromium é compilado com gn e `ninja` para eficiência --- suas regras estáticas permitem a máxima paralelização. O Rust não é exceção.

Adicionando código Rust ao Chromium

Em algum arquivo `BUILD.gn` existente do Chromium, declare um `rust_static_library`:

```
import("//build/rust/rust_static_library.gni")

rust_static_library("my_rust_lib") {
  crate_root = "lib.rs"
  sources = [ "lib.rs" ]
}
```

Você também pode adicionar `deps` em outros módulos Rust. Mais tarde, usaremos isso para depender de código de terceiros.

Você deve especificar *ambos* o *crate root* e uma lista completa de fontes. O `crate_root` é o arquivo fornecido ao compilador Rust que representa o arquivo raiz da unidade de compilação --- normalmente `lib.rs`. `sources` é uma lista completa de todos os arquivos de código que o `ninja` precisa para determinar quando as recompilações são necessárias.

(Não existe um `source_set` Rust, porque em Rust, um *crate* inteiro é uma unidade de compilação. Uma `static_library` é a menor unidade.)

Os alunos podem estar se perguntando por que precisamos de um template gn, em vez de usar o suporte integrado do gn para bibliotecas estáticas Rust. A resposta é que este template fornece suporte para interoperabilidade CXX, recursos Rust e testes unitários, alguns dos quais usaremos mais tarde.

43.1 Incluindo código Rust `unsafe` (inseguro)

O código Rust inseguro é proibido em `rust_static_library` por padrão --- não será compilado. Se você precisar de código Rust inseguro, adicione `allow_unsafe = true` ao

alvo gn. (Mais tarde no curso, veremos circunstâncias em que isso é necessário).

```
import("//build/rust/rust_static_library.gni")

rust_static_library("my_rust_lib") {
  crate_root = "lib.rs"
  sources = [
    "lib.rs",
    "hippopotamus.rs"
  ]
  allow_unsafe = true
}
```

43.2 Dependendo de Código Rust do C++ do Chromium

Basta adicionar o alvo acima às deps de algum alvo C++ do Chromium.

```
import("//build/rust/rust_static_library.gni")

rust_static_library("my_rust_lib") {
  crate_root = "lib.rs"
  sources = [ "lib.rs" ]
}

# or source_set, static_library etc.
component("preexisting_cpp") {
  deps = [ ":my_rust_lib" ]
}
```

43.3 Visual Studio Code

Os tipos são omitidos no código Rust, o que torna um bom IDE ainda mais útil do que para C++. O Visual Studio Code funciona bem para Rust no Chromium. Para usá-lo,

- Verifique se o seu VSCode tem a extensão `rust-analyzer`, não as formas anteriores de suporte ao Rust
- `gn gen out/Debug --export-rust-project` (ou equivalente para seu diretório de saída)
- `ln -s out/Debug/rust-project.json rust-project.json`

Uma demonstração de alguns dos recursos de anotação e exploração de código do rust-analyzer pode ser benéfica se o público for naturalmente cético em relação aos IDEs.

Os seguintes passos podem ajudar na demonstração (mas sinta-se à vontade para usar um pedaço de Rust relacionado ao Chromium com o qual você esteja mais familiarizado):

- Abra `components/qr_code_generator/qr_code_generator_ffi_glue.rs`
- Coloque o cursor sobre a chamada `QrCode::new` (por volta da linha 26) em `qr_code_generator_ffi_glue.rs`
- Demonstre **mostrar documentação** (teclas de atalho típicas: vscode = ctrl k i; vim/CoC = K).

- Demonstre **ir para a definição** (teclas de atalho típicas: vscode = F12; vim/CoC = g d). (Isso o levará a `//third_party/rust/.../qr_code-.../src/lib.rs`).
- Demonstre **esboço** e navegue até o método `QrCode::with_bits` (por volta da linha 164; o esboço está no painel do explorador de arquivos no vscode; teclas de atalho típicas do vim/CoC = space o)
- Demonstre **anotações de tipo** (há muitos exemplos interessantes no método `QrCode::with_bits`)

Pode valer a pena observar que `gn gen ... --export-rust-project` precisará ser executado novamente após a edição dos arquivos `BUILD.gn` (o que faremos algumas vezes ao longo dos exercícios desta sessão).

43.4 Exercício de regras de compilação

Em sua compilação do Chromium, adicione um novo módulo Rust a `//ui/base/BUILD.gn` contendo:

```
pub extern "C" fn hello_from_rust() {
    println!("Olá do Rust!")
}
```

Importante: observe que `no_mangle` aqui é considerado um tipo de insegurança pelo compilador Rust, portanto, você precisará permitir código inseguro em seu alvo gn.

Adicione este novo módulo Rust como uma dependência de `//ui/base:base`. Declare esta função no topo de `ui/base/resource/resource_bundle.cc` (mais tarde, veremos como isso pode ser automatizado por ferramentas de geração de *bindings*):

```
extern "C" void hello_from_rust();
```

Chame esta função de algum lugar em `ui/base/resource/resource_bundle.cc` - sugerimos o topo de `ResourceBundle::MaybeMangleLocalizedString`. Compile e execute o Chromium e verifique se "Hello from Rust!" é impresso muitas vezes.

Se você usar o VSCode, agora configure o Rust para funcionar bem no VSCode. Isto será útil nos exercícios subsequentes. Se você tiver sucesso, poderá usar o botão direito do mouse em "Ir para definição" em `println!`.

Onde encontrar ajuda

- As opções disponíveis para o `rust_static_library` gn template
- Informações sobre `#[no_mangle]`
- Informações sobre `extern "C"`
- Informações sobre o `--export-rust-project` do gn
- Como instalar o rust-analyzer no VSCode

Este exemplo é incomum porque se resume à linguagem de interoperabilidade de menor denominador comum, C. Tanto C++ quanto Rust podem declarar e chamar nativamente funções C ABI. Mais tarde no curso, conectaremos C++ diretamente ao Rust.

`allow_unsafe = true` é necessário aqui porque `#[no_mangle]` pode permitir que o Rust gere duas funções com o mesmo nome, e o Rust não pode mais garantir que a correta seja chamada.

Se você precisar de um executável Rust puro, também poderá fazer isso usando o template gn `rust_executable`.

Capítulo 44

Testes

A comunidade Rust normalmente escreve testes unitários em um módulo colocado no mesmo arquivo de código sendo testado. Isso foi abordado anteriormente no curso e se parece com isso:

```
mod tests {
    fn my_test() {
        todo!()
    }
}
```

No Chromium, colocamos os testes unitários em um arquivo de código separado e continuamos a seguir essa prática para o Rust --- isso torna os testes consistentemente descobríveis e ajuda a evitar a reconstrução de arquivos `.rs` uma segunda vez (na configuração `test`).

Isto resulta nas seguintes opções para testar código Rust no Chromium:

- Testes nativos Rust (ou seja, `#[test]`). Desencorajado fora de `//third_party/rust`.
- Testes `gtest` escritos em C++ e exercitando Rust via chamadas FFI. Suficiente quando o código Rust é apenas uma camada FFI fina e os testes unitários existentes fornecem cobertura suficiente para o recurso.
- Testes `gtest` escritos em Rust e usando o *crate* sob teste por meio de sua API pública (usando `pub mod for_testing { ... }` se necessário). Este é o assunto dos próximos slides.

Mencione que os testes nativos Rust de *crates* de terceiros devem eventualmente ser exercitados pelos robôs do Chromium. (Esses testes são raramente necessários --- apenas após adicionar ou atualizar *crates* de terceiros.)

Alguns exemplos podem ajudar a ilustrar quando o `gtest` C++ vs Rust `gtest` deve ser usado:

- QR tem muito pouca funcionalidade na camada Rust original (é apenas uma cola FFI fina) e, portanto, usa os testes unitários C++ existentes para testar tanto a implementação C++ quanto a Rust (parametrizando os testes para que eles ativem ou desativem o Rust usando um `ScopedFeatureList`).
- A integração hipotética/em andamento do PNG pode precisar de uma implementação segura de memória das transformações de pixels fornecidas pelo `libpng`, mas ausentes

no *crate* png - por exemplo, RGBA => BGRA ou correção gama. Tal funcionalidade pode se beneficiar de testes separados escritos em Rust.

44.1 Biblioteca `rust_gtest_interop`

A biblioteca [`rust_gtest_interop`](https://chromium.googlesource.com/chromium/src/+/main/testing/rust_gtest_interop/README.md) fornece uma maneira de:

- Use uma função Rust como um caso de teste `gtest` (usando o atributo `#[gtest(...)]`)
- Use `expect_eq!` e macros semelhantes (semelhantes a `assert_eq!` mas não falhando e não terminando o teste quando a asserção falha).

Exemplo:

```
use rust_gtest_interop::prelude::*;

fn test_addition() {
    expect_eq!(2 + 2, 4);
}
```

44.2 Regras GN para Testes em Rust

A maneira mais simples de compilar testes `gtest` Rust é adicioná-los a um binário de teste existente que já contém testes escritos em C++. Por exemplo:

```
test("ui_base_unittests") {
  ...
  sources += [ "my_rust_lib_unittest.rs" ]
  deps += [ ":my_rust_lib" ]
}
```

Escrever testes Rust em uma `static_library` separada também funciona, mas exige a declaração manual da dependência das bibliotecas de suporte:

```
rust_static_library("my_rust_lib_unittests") {
  testonly = true
  is_gtest_unittests = true
  crate_root = "my_rust_lib_unittest.rs"
  sources = [ "my_rust_lib_unittest.rs" ]
  deps = [
    ":my_rust_lib",
    "//testing/rust_gtest_interop",
  ]
}

test("ui_base_unittests") {
  ...
  deps += [ ":my_rust_lib_unittests" ]
}
```

44.3 Macro `chromium::import!`

Depois de adicionar `:my_rust_lib` às `deps` do GN, ainda precisamos aprender como importar e usar `my_rust_lib` de `my_rust_lib_unittest.rs`. Não fornecemos um `crate_name` explícito para `my_rust_lib`, portanto, seu nome de *crate* é calculado com base no caminho e nome do alvo completo. Felizmente, podemos evitar trabalhar com um nome tão difícil de usar usando o macro `chromium::import!` do *crate* `chromium` automaticamente importado:

```
chromium::import! {
    "//ui/base:my_rust_lib";
}

use my_rust_lib::my_function_under_test;
```

Por baixo dos panos, a macro se expande para algo semelhante a:

```
extern crate ui_sbase_cmy_urust_ulib as my_rust_lib;

use my_rust_lib::my_function_under_test;
```

Mais informações podem ser encontradas no comentário de documentação da macro `chromium::import`.

`rust_static_library` suporta a especificação de um nome explícito via propriedade `crate_name`, mas isso é desencorajado. E é desencorajado porque o nome do *crate* tem que ser globalmente único. crates.io garante a unicidade de seus nomes de *crate*, portanto, os alvos `cargo_crate` GN (gerados pela ferramenta `gnrt` abordada em uma seção posterior) usam nomes curtos de *crate*.

44.4 Exercício sobre testes

Hora de mais um exercício!

Em sua compilação do Chromium:

- Adicione uma função testável ao lado de `hello_from_rust`. Algumas sugestões: adicionar dois inteiros recebidos como argumentos, calcular o n-ésimo número de Fibonacci, somar inteiros em uma *slice*, etc.
- Adicione um arquivo `..._unittest.rs` separado com um teste para a nova função.
- Adicione os novos testes a `BUILD.gn`.
- Compile os testes, execute-os e verifique se o novo teste funciona.

Capítulo 45

Interoperabilidade com C++

A comunidade Rust oferece várias opções para interoperabilidade C++/Rust, com novas ferramentas sendo desenvolvidas o tempo todo. No momento, o Chromium usa uma ferramenta chamada CXX.

Você descreve toda a fronteira da linguagem em uma linguagem de definição de interface (que se parece muito com Rust) e, em seguida, as ferramentas CXX geram declarações para funções e tipos em Rust e C++.

Veja o tutorial CXX para um exemplo completo de como usá-lo.

Fale com o auxílio do diagrama. Explique que, nos bastidores, isso está fazendo exatamente o mesmo que você fez anteriormente. Aponte que automatizar o processo tem os seguintes benefícios:

- A ferramenta garante que os lados C++ e Rust correspondam (por exemplo, você obterá erros de compilação se o `#[cxx::bridge]` não corresponder às definições C++ ou Rust reais, mas com *bindings* manuais fora de sincronia, você obteria Comportamento Indefinido)
- A ferramenta automatiza a geração de *thunks* FFI (pequenas funções livres compatíveis com C-ABI) para recursos não-C (por exemplo, permitindo chamadas FFI para métodos Rust ou C++; *bindings* manuais exigiriam a autoria de tais funções livres de alto nível manualmente)
- A ferramenta e a biblioteca podem lidar com um conjunto de tipos principais - por exemplo:
  - `&[T]` pode ser passado pela fronteira FFI, embora não garanta nenhum layout de memória ou ABI específico. Com *bindings* manuais, `std::span<T>` / `&[T]` devem ser manualmente destruturados e reconstruídos a partir de um ponteiro e comprimento - isso é propenso a erros, dado que cada linguagem representa fatias vazias de maneira ligeiramente diferente)
  - Ponteiros inteligentes como `std::unique_ptr<T>`, `std::shared_ptr<T>` e/ou `Box` são suportados nativamente. Com *bindings* manuais, seria necessário passar ponteiros brutos (*raw pointers*) compatíveis com C-ABI, o que aumentaria os riscos de tempo de vida e segurança de memória.
  - Os tipos `rust::String` e `CxxString` entendem e mantêm as diferenças na representação de strings entre as linguagens (por exemplo, `rust::String::lossy` pode construir uma string Rust a partir de uma entrada não UTF8 e `rust::String::c_str`

pode terminar uma string com NUL).

45.1 Exemplo de Bindings

O CXX requer que toda a fronteira C++/Rust seja declarada em módulos `cxx::bridge` dentro do código-fonte `.rs`.

```
mod ffi {
    extern "Rust" {
        type MultiBuf;

        fn next_chunk(buf: &mut MultiBuf) -> &[u8];
    }

    unsafe extern "C++" {
        include!("example/include/blobstore.h");

        type BlobstoreClient;

        fn new_blobstore_client() -> UniquePtr<BlobstoreClient>;
        fn put(self: &BlobstoreClient, buf: &mut MultiBuf) -> Result<u64>;
    }
}

// Definições de tipos e funções Rust vão aqui
```

Aponte:

- Embora isso pareça um `mod` Rust regular, a macro procedural `#[cxx::bridge]` faz coisas complexas com ele. O código gerado é bastante sofisticado - embora isso ainda resulte em um `mod` chamado `ffi` em seu código.
- Suporte nativo para `std::unique_ptr` do C++ no Rust
- Suporte nativo para *slices* Rust no C++
- Chamadas do C++ para o Rust e tipos Rust (na parte superior)
- Chamadas do Rust para o C++ e tipos C++ (na parte inferior)

Equívocos comuns: Parece que um cabeçalho C++ está sendo analisado pelo Rust, mas isso é enganoso. Este cabeçalho nunca é interpretado pelo Rust, mas simplesmente `#included` no código C++ gerado para o benefício dos compiladores C++.

Limitações do CXX

De longe, a página mais útil ao usar o CXX é a referência de tipo.

CXX fundamentalmente é adequado para casos em que:

- Sua interface Rust-C++ é suficientemente simples para que você possa declarar tudo.
- Você está usando apenas os tipos já suportados nativamente pelo CXX, por exemplo, `std::unique_ptr`, `std::string`, `&[u8]` etc.

Ele tem muitas limitações --- por exemplo, falta de suporte para o tipo `Option` do Rust.

Essas limitações nos restringem a usar o Rust no Chromium apenas para ”leaf nodes” (”nós folha”) bem isolados, em vez de para interoperabilidade Rust-C++ arbitrária. Ao considerar

um caso de uso para o Rust no Chromium, um bom ponto de partida é elaborar os *bindings* CXX para a fronteira entre as linguagens para ver se ela parece simples o suficiente.

Você também deve discutir alguns dos outros pontos problemáticos com o CXX, por exemplo:

- Seu tratamento de erros é baseado em exceções C++ (dado no próximo slide)
- Ponteiros de função são difíceis de usar.

45.2 Tratamento de Erros do CXX

O suporte do CXX para `Result<T,E>` depende de exceções C++, portanto, não podemos usá-lo no Chromium. Alternativas:

- A parte `T` de `Result<T, E>` pode ser:
  - Retornado via parâmetros de saída (por exemplo, via `&mut T`). Isso requer que `T` possa ser passado pela fronteira FFI - por exemplo, `T` tem que ser:
    - Um tipo primitivo (como `u32` ou `usize`)
    - Um tipo suportado nativamente por `cxx` (como `UniquePtr<T>`) que tem um valor padrão adequado para usar em um caso de falha (*ao contrário* de `Box<T>`).
  - Mantido no lado Rust e exposto por referência. Isso pode ser necessário quando `T` é um tipo Rust, que não pode ser passado pela fronteira FFI e não pode ser armazenado em `UniquePtr<T>`.
- A parte `E` de `Result<T, E>` pode ser:
  - Retornado como um booleano (por exemplo, `true` representando sucesso e `false` representando falha)
  - A preservação dos detalhes do erro é teoricamente possível, mas até agora não foi necessária na prática.

45.2.1 Tratamento de Erros no CXX: Exemplo QR

O gerador de código QR é um exemplo onde um booleano é usado para comunicar sucesso vs falha e onde o resultado bem-sucedido pode ser passado pela fronteira FFI:

```
mod ffi {
    extern "Rust" {
        fn generate_qr_code_using_rust(
            data: &[u8],
            min_version: i16,
            out_pixels: Pin<&mut CxxVector<u8>>,
            out_qr_size: &mut usize,
        ) -> bool;
    }
}
```

Os alunos podem estar curiosos sobre a semântica da saída `out_qr_size`. Este não é o tamanho do vetor, mas o tamanho do código QR (e, reconhecidamente, é um pouco redundante - esta é a raiz quadrada do tamanho do vetor).

Pode valer a pena destacar a importância de inicializar `out_qr_size` antes de chamar a função Rust. A criação de uma referência Rust que aponta para a memória não inicializada

resulta em Comportamento Indefinido (ao contrário do C++, quando apenas o ato de desreferenciar tal memória resulta em UB).

Se os alunos perguntarem sobre `Pin`, explique por que o CXX precisa dele para referências mutáveis a dados C++: a resposta é que os dados C++ não podem ser movidos como os dados Rust, porque podem conter ponteiros auto-referenciais.

45.2.2 Tratamento de Erros no CXX: Exemplo PNG

Um protótipo de um decodificador PNG ilustra o que pode ser feito quando o resultado bem-sucedido não pode ser passado pela fronteira FFI:

```
mod ffi {
    extern "Rust" {
        /// Isso retorna um equivalente amigável ao FFI de `Result<PngReader<'a>,
        /// ()>`.
        fn new_png_reader<'a>(input: &'a [u8]) -> Box<ResultOfPngReader<'a>>;

        /// _Bindings_ C++ para o tipo `crate::png::ResultOfPngReader`.
        type ResultOfPngReader<'a>;
        fn is_err(self: &ResultOfPngReader) -> bool;
        fn unwrap_as_mut<'a, 'b>(
            self: &'b mut ResultOfPngReader<'a>,
        ) -> &'b mut PngReader<'a>;

        /// _Bindings_ C++ para o tipo `crate::png::PngReader`.
        type PngReader<'a>;
        fn height(self: &PngReader) -> u32;
        fn width(self: &PngReader) -> u32;
        fn read_rgba8(self: &mut PngReader, output: &mut [u8]) -> bool;
    }
}
```

`PngReader` e `ResultOfPngReader` são tipos Rust --- objetos desses tipos não podem cruzar a fronteira FFI sem a indireção de um `Box<T>`. Não podemos ter um `out_parameter: &mut PngReader`, porque o CXX não permite que o C++ armazene objetos Rust por valor.

Este exemplo ilustra que, embora o CXX não suporte genéricos nem modelos arbitrários, ainda podemos passá-los pela fronteira FFI especializando / monomorfizando-os manualmente em um tipo não genérico. No exemplo, `ResultOfPngReader` é um tipo não genérico que encaminha para métodos apropriados de `Result<T, E>` (por exemplo, para `is_err`, `unwrap` e/ou `as_mut`).

Usando CXX no Chromium

No Chromium, definimos um `#[cxx::bridge] mod` independente para cada nó folha onde queremos usar o Rust. Normalmente, você teria um para cada `rust_static_library`. Basta adicionar

```
cxx_bindings = [ "my_rust_file.rs" ]
   # list of files containing #[cxx::bridge], not all source files
allow_unsafe = true
```

para o seu alvo `rust_static_library` existente ao lado de `crate_root` e `sources`.

Cabeçalhos C++ serão gerados em um local sensato, então você pode apenas

```
#include "ui/base/my_rust_file.rs.h"
```

Você encontrará algumas funções utilitárias em `//base` para converter de/ para tipos C++ do Chromium para tipos Rust CXX --- por exemplo `SpanToRustSlice`.

Os alunos podem perguntar --- por que ainda precisamos de `allow_unsafe = true`?

A resposta mais geral é que nenhum código C/C++ é "seguro" pelos padrões normais do Rust. Chamar C/C++ a partir do Rust pode fazer coisas arbitrárias na memória e comprometer a segurança dos próprios layouts de dados do Rust. A presença de *muitas* palavras-chave `unsafe` na interoperabilidade C/C++ pode prejudicar a relação sinal-ruído de tal palavra-chave e é controversa, mas estritamente, trazer qualquer código externo para um binário Rust pode causar um comportamento inesperado do ponto de vista do Rust.

A resposta mais específica está no diagrama no topo desta página --- nos bastidores, o CXX gera funções Rust `unsafe` e `extern "C"` exatamente como fizemos manualmente na seção anterior.

45.3 Exercício: Interoperabilidade com C++

Parte um

- No arquivo Rust que você criou anteriormente, adicione um `#[cxx::bridge]` que especifica uma única função, a ser chamada do C++, chamada `hello_from_rust`, sem parâmetros e sem valor de retorno.
- Modifique sua função `hello_from_rust` anterior para remover `extern "C"` e `#[no_mangle]`. Esta é agora apenas uma função Rust padrão.
- Modifique seu alvo gn para compilar esses *bindings*.
- No seu código C++, remova a declaração antecipada de `hello_from_rust`. Em vez disso, inclua o arquivo de cabeçalho gerado.
- Compile e execute!

Parte dois

É uma boa ideia brincar um pouco com o CXX. Isso ajuda você a pensar sobre quão flexível o Rust no Chromium realmente é.

Algumas coisas para tentar:

- Chame de volta para o C++ a partir do Rust. Você vai precisar de:
  - Um arquivo de cabeçalho adicional que você pode `include!` do seu `cxx::bridge`. Você precisará declarar sua função C++ nesse novo arquivo de cabeçalho.
  - Um bloco `unsafe` para chamar tal função, ou alternativamente especifique a palavra-chave `unsafe` no seu `#[cxx::bridge]` conforme descrito aqui.
  - Você também pode precisar `#include "third_party/rust/cxx/v1/crate/include/cxx.h"`
- Passe uma string C++ para o Rust.
- Passe uma referência a um objeto C++ para o Rust.
- Intencionalmente, obtenha as assinaturas de função Rust incompatíveis com o `#[cxx::bridge]` e familiarize-se com os erros que você vê.

- Intencionalmente, obtenha as assinaturas de função C++ incompatíveis com o `#[cxx::bridge]` e familiarize-se com os erros que você vê.
- Passe um `std::unique_ptr` de algum tipo do C++ para o Rust, para que o Rust possa *own* (possuir) algum objeto C++.
- Crie um objeto Rust e passe-o para o C++, para que o C++ o possua. (Dica: você precisa de uma `Box`).
- Declare alguns métodos em um tipo C++. Chame-os do Rust.
- Declare alguns métodos em um tipo Rust. Chame-os do C++.

Parte três

Agora que você entende os pontos fortes e as limitações da interoperabilidade do CXX, pense em alguns casos de uso para o Rust no Chromium, onde a interface seria suficientemente simples. Esboce como você pode definir essa interface.

Onde encontrar ajuda

- A referência de *bindings* `cxx`
- O *template* gn `rust_static_library`

Algumas das perguntas que você pode encontrar:

- Estou vendo um problema ao inicializar uma variável do tipo X com o tipo Y, onde X e Y são ambos tipos de função. Isso ocorre porque sua função C++ não corresponde exatamente à declaração em sua `cxx::bridge`.
- Parece que posso converter livremente referências C++ em referências Rust. Isso não arrisca UB? Para os tipos *opaque* do CXX, não, porque eles têm tamanho zero. Para os tipos triviais do CXX, sim, é *possível* causar UB, embora o design do CXX torne bastante difícil criar um exemplo assim.

Capítulo 46

Adicionando Crates de Terceiros

As bibliotecas Rust são chamadas de "*crates*" e são encontradas em crates.io. É *muito fácil* para as *crates* Rust dependerem umas das outras. Então eles fazem!

Propriedade	Bibliotecas do C++	*Crates* de Rust
Sistema de compilação	Muitos	Consistente: `Cargo.toml`
Tamanho típico da biblioteca	Meio grande	Pequeno
Dependências transitivas	Poucos(as)	Muitos

Para um engenheiro do Chromium, isso tem prós e contras:

- Todas as *crates* usam um sistema de compilação comum, para que possamos automatizar sua inclusão no Chromium...
- ... mas, os *crates* normalmente têm dependências transitivas, então você provavelmente terá que importar várias bibliotecas.

Vamos discutir:

- Como colocar um *crate* na árvore do código-fonte do Chromium
- Como criar regras de compilação gn para ele
- Como auditar seu código-fonte para que ele seja seguro o suficiente.

46.1 Configurando o arquivo `Cargo.toml` para adicionar *crates*

O Chromium tem um único conjunto de dependências de *crates* diretos gerenciados centralmente. Eles são gerenciados por meio de um único `Cargo.toml`:

```
[dependencies]
bitflags = "1"
cfg-if = "1"
cxx = "1"
# lots more...
```

Como em qualquer outro `Cargo.toml`, você pode especificar maiores detalhes sobre as dependências --- mais comumente, você desejará especificar os `features` que deseja ativar no *crate*.

Ao adicionar um *crate* ao Chromium, você frequentemente precisará fornecer algumas informações extras em um arquivo adicional, `gnrt_config.toml`, que conheceremos a seguir.

46.2 Configurando `gnrt_config.toml`

Junto com `Cargo.toml` está `gnrt_config.toml`. Isso contém extensões específicas do Chromium para o gerenciamento de *crates*.

Se você adicionar um novo *crate*, deverá especificar pelo menos o `group`. Este é um de:

```
#   'safe': The library satisfies the rule-of-2 and can be used in any process.
#   'sandbox': The library does not satisfy the rule-of-2 and must be used in
#              a sandboxed process such as the renderer or a utility process.
#   'test': The library is only used in tests.
```

Por exemplo,

```
[crate.my-new-crate]
group = 'test' # only used in test code
```

Dependendo do layout do código-fonte do *crate*, você também pode precisar usar este arquivo para especificar onde seu(s) arquivo(s) `LICENSE` pode(m) ser encontrado(s).

Mais tarde, veremos algumas outras coisas que você precisará configurar neste arquivo para resolver problemas.

46.3 Baixando Crates

Uma ferramenta chamada `gnrt` sabe como baixar *crates* e como criar regras `BUILD.gn`.

Para começar, baixe o *crate* que você deseja assim:

```
cd chromium/src
vpython3 tools/crates/run_gnrt.py -- vendor
```

> Embora a ferramenta `gnrt` faça parte do código-fonte do Chromium, ao executar este comando, você estará baixando e executando suas dependências de `crates.io`. Veja a seção anterior que discute essa decisão de segurança.

Este comando `vendor` pode baixar:

- Seu *crate*
- Dependências diretas e transitivas
- Novas versões de outros *crates*, conforme exigido pelo `cargo` para resolver o conjunto completo de *crates* requeridos pelo Chromium.

O Chromium mantém *patches* para alguns *crates* em `//third_party/rust/chromium_crates_io/patches`. Eles serão reaplicados automaticamente, mas se a aplicação do *patch* falhar, você poderá precisar realizar manualmente.

46.4 Gerando Regras de Compilação gn

Depois de baixar o *crate*, gere os arquivos `BUILD.gn` assim:

```
vpython3 tools/crates/run_gnrt.py -- gen
```

Agora execute `git status`. Você deve encontrar:

- Pelo menos um novo código-fonte de *crate* em `third_party/rust/chromium_crates_io/vendor`
- Pelo menos um novo `BUILD.gn` em `third_party/rust/<nome do _crate_>/v<versão semver principal>`
- Um `README.chromium` apropriado

A "versão semver principal" é um número de versão "semver" Rust.

Dê uma olhada de perto, especialmente nas coisas geradas em `third_party/rust`.

Fale um pouco sobre semver --- e especificamente a maneira como no Chromium é permitir várias versões incompatíveis de um *crate*, o que é desencorajado, mas às vezes necessário no ecossistema Cargo.

46.5 Resolvendo Problemas

Se a sua compilação falhar, pode ser por causa de um `build.rs`: programas que fazem coisas arbitrárias no momento da compilação. Isso é fundamentalmente incompatível com o design do gn e do `ninja`, que visam regras de compilação estáticas e determinísticas para maximizar o paralelismo e a repetibilidade das compilações.

Algumas ações `build.rs` são suportadas automaticamente; outras exigem ação:

build script effect	Suportado por nossos *templates* gn	Trabalho exigido por você
Verificando a versão do rustc para configurar recursos ativados e desativados	Sim	Nenhum
Verificando a plataforma ou CPU para configurar recursos ativados e desativados	Sim	Nenhum
Gerando código	Sim	Sim - especifique em `gnrt_config.toml`
Compilando C/C++	Não	Corrigir
Outras ações arbitrárias	Não	Corrigir

Felizmente, a maioria dos *crates* não contém um script de compilação e, felizmente, a maioria dos scripts de compilação faz apenas as duas ações principais.

46.5.1 Scripts de Compilação que Geram Código

Se o `ninja` reclamar sobre arquivos ausentes, verifique o `build.rs` para

Se for esse o caso, modifique `gnrt_config.toml` para adicionar `build-script-outputs` ao *crate*. Se esta for uma dependência transitiva, ou seja, uma na qual o código do Chromium não deve depender diretamente, adicione também `allow-first-party-usage=false`. Já existem vários exemplos neste arquivo:

```
[crate.unicode-linebreak]
allow-first-party-usage = false
build-script-outputs = ["tables.rs"]
```

Agora, execute novamente `gnrt.py -- gen` para re-gerar os arquivos `BUILD.gn` para informar ao ninja que este arquivo de saída específico é a entrada para etapas de compilação subsequentes.

46.5.2 Scripts de Compilação que Compilam C++ ou Tomam Ações Arbitrárias

Alguns *crates* usam o *crate* `cc` para compilar e vincular bibliotecas C/C++. Outros *crates* analisam C/C++ usando o `bindgen` em seus scripts de compilação. Essas ações não podem ser suportadas em um contexto do Chromium --- nosso sistema de compilação gn, ninja e LLVM é muito específico na expressão de relacionamentos entre ações de compilação.

Então, suas opções são:

- Evite esses *crates*
- Aplique um *patch* ao *crate*.

Os *patches* devem ser mantidos em `third_party/rust/chromium_crates_io/patches/<crate>` - veja, por exemplo, os patches para o *crate* `cxx` - e serão aplicados automaticamente pelo `gnrt` sempre que ele atualizar o *crate*.

46.6 Dependendo de um Crate

Depois de adicionar um *crate* de terceiros e gerar regras de compilação, depender de um *crate* é simples. Encontre seu alvo `rust_static_library` e adicione um dep no alvo `:lib` dentro do seu *crate*.

Especificamente,

```
                      +------------+      +----------------------+
"//third_party/rust" | crate name | "/v" | major semver version | ":lib"
                      +------------+      +----------------------+
```

Por exemplo,

```
rust_static_library("my_rust_lib") {
  crate_root = "lib.rs"
  sources = [ "lib.rs" ]
  deps = [ "//third_party/rust/example_rust_crate/v1:lib" ]
}
```

46.7 Auditoria de *Crates* de Terceiros

A adição de novas bibliotecas está sujeita às políticas padrão do Chromium (https://chromium.googlesource.com/ch
review), mas, é claro, também está sujeita à verificação de segurança. Como você pode estar trazendo não apenas um único *crate*, mas também dependências transitivas, pode haver muito código para revisar. Por outro lado, o código Rust seguro pode ter efeitos colaterais negativos limitados. Como você deve revisá-lo?

Ao longo do tempo, o Chromium visa a migrar para um processo baseado em cargo vet.

Enquanto isso, para cada nova adição de *crate*, estamos verificando o seguinte:

- Entenda por que cada *crate* é usado. Qual é a relação entre os *crates*? Se o sistema de compilação de cada *crate* contiver um `build.rs` ou macros procedurais, descubra para que servem. Eles são compatíveis com a maneira como o Chromium é normalmente construído?
- Verifique se cada *crate* parece estar razoavelmente bem mantido
- Use `cd third-party/rust/chromium_crates_io; cargo audit` para verificar se há vulnerabilidades conhecidas (primeiro você precisará `cargo install cargo-audit`, o que ironicamente envolve baixar muitas dependências da internet2)
- Certifique-se de que qualquer código `unsafe` seja bom o suficiente para a Regra de Dois
- Verifique se há uso de APIs `fs` ou `net`
- Leia todo o código em um nível suficiente para procurar qualquer coisa fora do lugar que possa ter sido inserida maliciosamente. (Você não pode realisticamente visar 100% de perfeição aqui: muitas vezes há simplesmente muito código).

Estas são apenas diretrizes --- trabalhe com revisores do `security@chromium.org` para descobrir a maneira certa de se tornar confiante no *crate*.

46.8 Verificando *Crates* no Código-Fonte do Chromium

`git status` deve revelar:

- Código do *crate* em `//third_party/rust/chromium_crates_io`
- Metadata (`BUILD.gn` e `README.chromium`) em `//third_party/rust/<crate>/<versão>`

Por favor, adicione também um arquivo `OWNERS` no último local.

Você deve depositar tudo isso, junto com suas alterações `Cargo.toml` e `gnrt_config.toml`, no repositório do Chromium.

Importante: você precisa usar `git add -f` porque, caso contrário, os arquivos `.gitignore` podem resultar na exclusão de alguns arquivos.

Ao fazer isso, você pode descobrir que as verificações de pré-envio (*presubmit*) falham por causa de linguagem não inclusiva. Isso ocorre porque os dados do *crate* Rust tendem a incluir nomes de *branches* do git, e muitos projetos ainda usam terminologia não inclusiva lá. Então você pode precisar executar:

```
infra/update_inclusive_language_presubmit_exempt_dirs.sh > infra/inclusive_language_pres
git add -p infra/inclusive_language_presubmit_exempt_dirs.txt # add whatever changes are
```

46.9 Mantendo Crates Atualizados

Como o OWNER de qualquer dependência de terceiros do Chromium, você é responsável para mantê-lo atualizado com quaisquer correções de segurança. Espera-se que em breve automatizaremos isso para *crates* Rust, mas, por enquanto, ainda é sua responsabilidade, assim como para qualquer outra dependência de terceiros.

46.10 Exercício

Adicione uwuify ao Chromium, desativando os recursos padrão do *crate*. Suponha que o *crate* será usado no release do Chromium, mas não será usado para lidar com entrada não confiável.

(No próximo exercício, usaremos uwuify do Chromium, mas sinta-se à vontade para pular e fazer isso agora, se desejar. Ou você pode criar um novo alvo `rust_executable` que usa `uwuify`).

Os alunos precisarão baixar várias dependências transitivas.

Os *crates* totais necessários são:

- `instant`,
- `lock_api`,
- `parking_lot`,
- `parking_lot_core`,
- `redox_syscall`,
- `scopeguard`,
- `smallvec` e
- `uwuify`.

Se os alunos estiverem baixando ainda mais do que isso, eles provavelmente esqueceram de desativar os recursos padrão.

Obrigado a Daniel Liu por este *crate*!

Capítulo 47

Juntando Tudo --- Exercício

Neste exercício, você vai adicionar um novo recurso completo do Chromium, juntando tudo o que você já aprendeu.

O Resumo da Gerência de Produto

Uma comunidade de duendes foi descoberta vivendo em uma floresta tropical remota. É importante que entreguemos o Chromium para Duendes a eles o mais rápido possível.

O requisito é traduzir todas as strings de IU do Chromium para o idioma dos Duendes.

Não há tempo para esperar por traduções adequadas, mas, felizmente, o idioma dos duendes é muito próximo do inglês, e descobriu-se que há um *crate* Rust que faz a tradução.

Na verdade, você já importou esse *crate* no exercício anterior.

(Obviamente, as traduções reais do Chrome exigem cuidado e diligência incríveis. Não lance isso!)

Passos

Modifique `ResourceBundle::MaybeMangleLocalizedString` para que ele uwuifique todas as strings antes da exibição. Nesta compilação especial do Chromium, ele deve sempre fazer isso, independentemente da configuração de `mangle_localized_strings_`.

Se você fez tudo certo em todos esses exercícios, parabéns, você deve ter criado o Chrome para duendes!

- UTF16 vs UTF8. Os alunos devem estar cientes de que as strings Rust são sempre UTF8 e provavelmente decidirão que é melhor fazer a conversão no lado C++ usando `base::UTF16ToUTF8` e vice-versa.
- Se os alunos decidirem fazer a conversão no lado Rust, eles precisarão considerar `String::from_utf16`, considerar o tratamento de erros e considerar quais tipos suportados pelo CXX podem transferir muitos u16s.
- Os alunos podem projetar o limite C++/Rust de várias maneiras diferentes, por exemplo, pegando e retornando strings por valor ou pegando uma referência mutável a uma

string. Se uma referência mutável for usada, o CXX provavelmente dirá ao aluno que ele precisa usar `Pin`. Você pode precisar explicar o que `Pin` faz e, em seguida, explicar por que o CXX precisa dele para referências mutáveis a dados C++: a resposta é que os dados C++ não podem ser movidos como dados Rust, porque eles podem conter ponteiros auto-referenciais.
- O alvo C++ contendo `ResourceBundle::MaybeMangleLocalizedString` precisará depender de um alvo `rust_static_library`. O aluno provavelmente já fez isso.
- O alvo `rust_static_library` precisará depender de `//third_party/rust/uwuify/v0_2:lib`.

Capítulo 48

Soluções dos Exercícios

As soluções para os exercícios do Chromium podem ser encontradas nesta série de CLs.

Parte XI

Bare Metal: Manhã

Capítulo 49

Bem-vindos ao Rust *Bare Metal* 🦀

Este é um curso independente de um dia sobre Rust *bare-metal*, destinado a pessoas que estão familiarizadas com o básico do Rust (talvez por completar o curso Comprehensive Rust), e idealmente também têm alguma experiência com programação *bare-metal* em alguma outra linguagem como C.

Hoje falaremos sobre Rust *bare-metal*: executando código Rust sem um SO abaixo de nós. Isso será dividido em várias partes:

- O que é Rust `no_std`?
- Escrevendo firmware para microcontroladores.
- Escrevendo código de bootloader / kernel para processadores de aplicativos.
- Alguns *crates* úteis para o desenvolvimento de Rust *bare-metal*.

Para a parte do microcontrolador do curso, usaremos o BBC micro:bit v2 como exemplo. É uma placa de desenvolvimento baseada no microcontrolador Nordic nRF51822 com alguns LEDs e botões, um acelerômetro e uma bússola conectados por I2C e um depurador SWD embarcado.

Para começar, instale algumas ferramentas que precisaremos mais tarde. No gLinux ou Debian:

```
sudo apt install gcc-aarch64-linux-gnu gdb-multiarch libudev-dev picocom pkg-config qemu
rustup update
rustup target add aarch64-unknown-none thumbv7em-none-eabihf
rustup component add llvm-tools-preview
cargo install cargo-binutils
curl --proto '=https' --tlsv1.2 -LsSf https://github.com/probe-rs/probe-rs/releases/late
```

E dê aos usuários do grupo `plugdev` acesso ao programador micro:bit:

```
echo 'SUBSYSTEM=="usb", ATTR{idVendor}=="0d28", MODE="0664", GROUP="plugdev"' |\
  sudo tee /etc/udev/rules.d/50-microbit.rules
sudo udevadm control --reload-rules
```

No MacOS:

```
xcode-select --install
brew install gdb picocom qemu
brew install --cask gcc-aarch64-embedded
```

```
rustup update
rustup target add aarch64-unknown-none thumbv7em-none-eabihf
rustup component add llvm-tools-preview
cargo install cargo-binutils
curl --proto '=https' --tlsv1.2 -LsSf https://github.com/probe-rs/probe-rs/releases/late
```

Capítulo 50

`no_std`

`core`

`alloc`

`std`

- Slices, `&str`, `CStr`
- `NonZeroU8`...
- `Option`, `Result`
- `Display`, `Debug`, `write!`...
- `Iterator`
- `panic!`, `assert_eq!`...
- `NonNull` e todas as funções relacionadas a ponteiros usuais
- `Future` e `async`/`await`
- `fence`, `AtomicBool`, `AtomicPtr`, `AtomicU32`...
- `Duration`

- `Box`, `Cow`, `Arc`, `Rc`
- `Vec`, `BinaryHeap`, `BtreeMap`, `LinkedList`, `VecDeque`
- `String`, `CString`, `format!`

- `Error`
- `HashMap`
- `Mutex`, `Condvar`, `Barrier`, `Once`, `RwLock`, `mpsc`
- `File` e o resto de `fs`
- `println!`, `Read`, `Write`, `Stdin`, `Stdout` e o resto de `io`
- `Path`, `OsString`
- `net`
- `Command`, `Child`, `ExitCode`
- `spawn`, `sleep` e o resto de `thread`
- `SystemTime`, `Instant`

- `HashMap` depende de RNG.
- `std` reexporta o conteúdo de `core` e `alloc`.

50.1 Um programa no_std mínimo

```
use core::panic::PanicInfo;

fn panic(_panic: &PanicInfo) -> ! {
    loop {}
}
```

- Isso irá compilar em um binário vazio.
- `std` fornece um manipulador de pânico; sem ele, devemos fornecer o nosso.
- Também pode ser fornecido por outro *crate*, como `panic-halt`.
- Dependendo do destino, você pode precisar compilar com `panic = "abort"` para evitar um erro sobre `eh_personality`.
- Observe que não há `main` ou qualquer outro ponto de entrada; cabe a você definir seu próprio ponto de entrada. Isso normalmente envolverá um script de *linker* (ligação) e algum código assembly para deixar as coisas prontas para que o código Rust seja executado.

50.2 alloc

Para usar `alloc`, você deve implementar um alocador global (heap).

```
extern crate alloc;
extern crate panic_halt as _;

use alloc::string::ToString;
use alloc::vec::Vec;
use buddy_system_allocator::LockedHeap;

static HEAP_ALLOCATOR: LockedHeap<32> = LockedHeap::<32>::new();

static mut HEAP: [u8; 65536] = [0; 65536];

pub fn entry() {
    // SEGURANÇA: `HEAP` é usado apenas aqui e `entry` é chamado apenas uma vez.
    unsafe {
        // Dê ao alocador alguma memória para alocar.
        HEAP_ALLOCATOR.lock().init(HEAP.as_mut_ptr() as usize, HEAP.len());
    }

    // Agora podemos fazer coisas que exigem alocação de heap.
    let mut v = Vec::new();
    v.push("Uma string".to_string());
}
```

- `buddy_system_allocator` é um *crate* de terceiros que implementa um alocador básico de sistema de *buddy*. Outros *crates* estão disponíveis, ou você pode escrever o seu próprio ou conectar-se ao seu alocador existente.

- O parâmetro const de `LockedHeap` é a ordem máxima do alocador; ou seja, neste caso, ele pode alocar regiões de até 2**32 bytes.
- Se algum *crate* na sua árvore de dependências depender de `alloc`, você deve ter exatamente um alocador global definido no seu binário. Normalmente, isso é feito no *crate* binário de mais alto nível.
- `extern crate panic_halt as _` é necessário para garantir que o *crate* `panic_halt` seja vinculado para que obtenhamos seu *panic handler*.
- Este exemplo irá compilar, mas não executará, pois não possui um ponto de entrada.

Capítulo 51

Microcontroladores

O *crate* `cortex_m_rt` fornece (entre outras coisas) um *reset handler* para microcontroladores Cortex M.

```
extern crate panic_halt as _;

mod interrupts;

use cortex_m_rt::entry;

fn main() -> ! {
    loop {}
}
```

Em seguida, veremos como acessar periféricos, com níveis crescentes de abstração.

- A macro `cortex_m_rt::entry` requer que a função tenha o tipo `fn() -> !`, porque retornar para o *reset handler* não faz sentido.
- Execute o exemplo com `cargo embed --bin minimal`

51.1 MMIO Bruto

A maioria dos microcontroladores acessa periféricos via E/S mapeado em memória. Vamos tentar ligar um LED no nosso micro:bit:

```
extern crate panic_halt as _;

mod interrupts;

use core::mem::size_of;
use cortex_m_rt::entry;

/// Endereço do periférico da porta 0 GPIO
const GPIO_P0: usize = 0x5000_0000;
```

```
// _Offsets_ do periférico GPIO
const PIN_CNF: usize = 0x700;
const OUTSET: usize = 0x508;
const OUTCLR: usize = 0x50c;

// Campos PIN_CNF
const DIR_OUTPUT: u32 = 0x1;
const INPUT_DISCONNECT: u32 = 0x1 << 1;
const PULL_DISABLED: u32 = 0x0 << 2;
const DRIVE_S0S1: u32 = 0x0 << 8;
const SENSE_DISABLED: u32 = 0x0 << 16;

fn main() -> ! {
    // Configure os pinos 21 e 28 do GPIO 0 como saídas _push-pull_.
    let pin_cnf_21 = (GPIO_P0 + PIN_CNF + 21 * size_of::<u32>()) as *mut u32;
    let pin_cnf_28 = (GPIO_P0 + PIN_CNF + 28 * size_of::<u32>()) as *mut u32;
    // SEGURANÇA: Os ponteiros são para registradores de controle de periféricos válidos
    // nenhum alias existe.
    unsafe {
        pin_cnf_21.write_volatile(
            DIR_OUTPUT
                | INPUT_DISCONNECT
                | PULL_DISABLED
                | DRIVE_S0S1
                | SENSE_DISABLED,
        );
        pin_cnf_28.write_volatile(
            DIR_OUTPUT
                | INPUT_DISCONNECT
                | PULL_DISABLED
                | DRIVE_S0S1
                | SENSE_DISABLED,
        );
    }

    // Configure o pino 28 baixo e o pino 21 alto para ligar o LED.
    let gpio0_outset = (GPIO_P0 + OUTSET) as *mut u32;
    let gpio0_outclr = (GPIO_P0 + OUTCLR) as *mut u32;
    // SEGURANÇA: Os ponteiros são para registradores de controle de periféricos válidos
    // nenhum alias existe.
    unsafe {
        gpio0_outclr.write_volatile(1 << 28);
        gpio0_outset.write_volatile(1 << 21);
    }

    loop {}
}
```

- O pino 21 do GPIO 0 está conectado à primeira coluna da matriz de LED e o pino 28 à primeira linha.

Execute o exemplo com:

```
cargo embed --bin mmio
```

51.2 *Crates* de Acesso a Periféricos

svd2rust gera *wrappers* Rust normalmente seguros para periféricos mapeados em memória de arquivos CMSIS-SVD.

```
extern crate panic_halt as _;

use cortex_m_rt::entry;
use nrf52833_pac::Peripherals;

fn main() -> ! {
    let p = Peripherals::take().unwrap();
    let gpio0 = p.P0;

    // Configure os pinos 21 e 28 do GPIO 0 como saídas _push-pull_.
    gpio0.pin_cnf[21].write(|w| {
        w.dir().output();
        w.input().disconnect();
        w.pull().disabled();
        w.drive().s0s1();
        w.sense().disabled();
        w
    });
    gpio0.pin_cnf[28].write(|w| {
        w.dir().output();
        w.input().disconnect();
        w.pull().disabled();
        w.drive().s0s1();
        w.sense().disabled();
        w
    });

    // Configure o pino 28 baixo e o pino 21 alto para ligar o LED.
    gpio0.outclr.write(|w| w.pin28().clear());
    gpio0.outset.write(|w| w.pin21().set());

    loop {}
}
```

- Os arquivos SVD (System View Description) são arquivos XML normalmente providos por fornecedores de silício que descrevem o mapa de memória do dispositivo.
  - Eles são organizados por periférico, registrador, campo e valor, com nomes, descrições, endereços e assim por diante.
  - Os arquivos SVD geralmente tem erros e são incompletos, portanto, existem vários projetos que corrigem os erros, adicionam detalhes ausentes e publicam os *crates* gerados.
- `cortex-m-rt` fornece a tabela de vetores, entre outras coisas.

- Se você `cargo install cargo-binutils`, poderá executar `cargo objdump --bin pac -- -d --no-show-raw-insn` para ver o binário resultante.

Execute o exemplo com:

```
cargo embed --bin pac
```

51.3 *Crates* HAL

Os *crates* HAL (Hardware Abstraction Layer) para muitos microcontroladores fornecem *wrappers* para vários periféricos. Esses geralmente implementam *traits* de `embedded-hal`.

```
extern crate panic_halt as _;

use cortex_m_rt::entry;
use embedded_hal::digital::OutputPin;
use nrf52833_hal::gpio::{p0, Level};
use nrf52833_hal::pac::Peripherals;

fn main() -> ! {
    let p = Peripherals::take().unwrap();

    // Crie um _wrapper_ HAL para a porta 0 do GPIO.
    let gpio0 = p0::Parts::new(p.P0);

    // Configure os pinos 21 e 28 do GPIO 0 como saídas _push-pull_.
    let mut col1 = gpio0.p0_28.into_push_pull_output(Level::High);
    let mut row1 = gpio0.p0_21.into_push_pull_output(Level::Low);

    // Configure o pino 28 baixo e o pino 21 alto para ligar o LED.
    col1.set_low().unwrap();
    row1.set_high().unwrap();

    loop {}
}
```

- `set_low` e `set_high` são métodos do *trait* `OutputPin` do `embedded_hal`.
- Existem *crates* HAL para vários dispositivos Cortex-M e RISC-V, incluindo vários microcontroladores STM32, GD32, nRF, NXP, MSP430, AVR e PIC.

Execute o exemplo com:

```
cargo embed --bin hal
```

51.4 *Crates* de suporte a placas

Os *crates* de suporte a placas convenientemente fornecem um nível adicional de *wrapping* para uma placa específica.

```
extern crate panic_halt as _;
```

```
use cortex_m_rt::entry;
use embedded_hal::digital::OutputPin;
use microbit::Board;

fn main() -> ! {
    let mut board = Board::take().unwrap();

    board.display_pins.col1.set_low().unwrap();
    board.display_pins.row1.set_high().unwrap();

    loop {}
}
```

- Neste caso, o *crate* de suporte à placa está apenas fornecendo nomes mais úteis e um pouco de inicialização.
- O *crate* também pode incluir drivers para alguns dispositivos embarcados fora do próprio microcontrolador.
  - `microbit-v2` inclui um driver simples para a matriz de LED.

Execute o exemplo com:

```
cargo embed --bin board_support
```

51.5 O padrão de estado de tipo

```
fn main() -> ! {
    let p = Peripherals::take().unwrap();
    let gpio0 = p0::Parts::new(p.P0);

    let pin: P0_01<Disconnected> = gpio0.p0_01;

    // let gpio0_01_again = gpio0.p0_01; // Erro, movido.
    let mut pin_input: P0_01<Input<Floating>> = pin.into_floating_input();
    if pin_input.is_high().unwrap() {
        // ...
    }
    let mut pin_output: P0_01<Output<OpenDrain>> = pin_input
        .into_open_drain_output(OpenDrainConfig::Disconnect0Standard1, Level::Low);
    pin_output.set_high().unwrap();
    // pin_input.is_high(); // Erro, movido.

    let _pin2: P0_02<Output<OpenDrain>> = gpio0
        .p0_02
        .into_open_drain_output(OpenDrainConfig::Disconnect0Standard1, Level::Low);
    let _pin3: P0_03<Output<PushPull>> =
        gpio0.p0_03.into_push_pull_output(Level::Low);

    loop {}
}
```

- *Pins* não implementam `Copy` ou `Clone`, portanto, apenas uma instância de cada um

pode existir. Uma vez que um *pin* é movido para fora da estrutura da porta, ninguém mais pode pegá-lo.
- Alterar a configuração de um *pin* consome a instância antiga do *pin*, portanto, você não pode continuar usando a instância antiga depois.
- O tipo de um valor indica o estado em que ele está: por exemplo, neste caso, o estado de configuração de um *pin* GPIO. Isso codifica a máquina de estados no sistema de tipos e garante que você não tente usar um *pin* de uma certa maneira sem configurá-lo corretamente primeiro. Transições de estado ilegais são capturadas em tempo de compilação.
- Você pode chamar `is_high` em um *pin* de entrada e `set_high` em um *pin* de saída, mas não o contrário.
- Muitos *crates* HAL seguem esse padrão.

51.6 `embedded-hal`

O *crate* `embedded-hal` fornece vários *traits* que cobrem periféricos comuns de microcontroladores.

- GPIO
- PWM
- Temporizadores de atraso
- Barramentos e dispositivos I2C e SPI

Os *traits* semelhantes para *streams* de bytes (por exemplo, UARTs), barras CAN e RNGs e quebrados em `embedded-io`, `embedded-can` e `rand_core`, respectivamente.

Outros *crates* então implementam drivers em termos desses *traits*, por exemplo, um driver de acelerômetro pode precisar de uma implementação de barramento I2C ou SPI.

- Os *traits* cobrem o uso dos periféricos, mas não a inicialização ou configuração deles, pois a inicialização e a configuração geralmente são altamente específicas para a plataforma.
- Há implementações para vários microcontroladores, bem como outras plataformas como o Linux no Raspberry Pi.
- O *crate* `embedded-hal` fornece vários *traits* que cobrem periféricos comuns de microcontroladores.
- `embedded-hal-nb` fornece outra abordagem para E/S não bloqueante, baseada no *crate* `nb`.

51.7 `probe-rs` e `cargo-embed`

probe-rs é um conjunto de ferramentas útil para depuração embarcada, como o OpenOCD, mas melhor integrado.

- SWD (Serial Wire Debug) e JTAG via CMSIS-DAP, sondas ST-Link e J-Link
- GDB *stub* e servidor Microsoft DAP (Debug Adapter Protocol)
- Integração com o Cargo

`cargo-embed` é um subcomando do cargo para compilar e gravar binários, registrar a saída do RTT (Real Time Transfers) e conectar o GDB. Ele é configurado por um arquivo `Embed.toml` no diretório do seu projeto.

- CMSIS-DAP é um protocolo padrão da Arm sobre USB para um depurador em circuito acessar a porta de acesso de depuração CoreSight de vários processadores Arm Cortex. É o que o depurador embarcado no BBC micro:bit usa.
- ST-Link é uma gama de depuradores em circuito da ST Microelectronics, J-Link é uma gama da SEGGER.
- A porta de acesso de depuração geralmente é uma interface JTAG de 5 pinos ou depuração Serial Wire de 2 pinos.
- probe-rs é uma biblioteca que você pode integrar em suas próprias ferramentas se quiser.
- O Microsoft Debug Adapter Protocol permite que o VSCode e outras IDEs depurem o código executado em qualquer microcontrolador suportado.
- cargo-embed é um binário construído usando a biblioteca probe-rs.
- RTT (Real Time Transfers) é um mecanismo para transferir dados entre o host de depuração e o destino através de um número de *ringbuffers*.

51.7.1 Depuração

Embed.toml:

```
[default.general]
chip = "nrf52833_xxAA"

[debug.gdb]
enabled = true
```

Em um terminal em `src/bare-metal/microcontrollers/examples/` (exemplos):

```
cargo embed --bin board_support debug
```

Em outro terminal no mesmo diretório:

No gLinux ou Debian:

```
gdb-multiarch target/thumbv7em-none-eabihf/debug/board_support --eval-command="target re
```

No MacOS:

```
arm-none-eabi-gdb target/thumbv7em-none-eabihf/debug/board_support --eval-command="targe
```

No GDB, tente executar:

```
b src/bin/board_support.rs:29
b src/bin/board_support.rs:30
b src/bin/board_support.rs:32
c
c
c
```

51.8 Outros projetos

- RTIC
  - ”Concorrência controlada por interrupção em tempo real”
  - Gerenciamento de recursos compartilhados, passagem de mensagens, agendamento de tarefas, fila de temporizadores
- Embassy

  - Executores `async` com prioridades, temporizadores, rede, USB
- TockOS
  - RTOS focado em segurança com agendamento preemptivo e suporte a Unidade de Proteção de Memória
- Hubris
  - RTOS de microkernel da Oxide Computer Company com proteção de memória, drivers não privilegiados, IPC
- Bindings para FreeRTOS
- Algumas plataformas têm implementações `std`, por exemplo, esp-idf.
- O RTIC pode ser considerado um RTOS ou um framework de concorrência.
  - Não inclui nenhum HAL.
  - Ele usa o NVIC (Nested Virtual Interrupt Controller) Cortex-M para agendamento em vez de um kernel adequado.
  - Apenas Cortex-M.
- O Google usa o TockOS no microcontrolador Haven para chaves de segurança Titan.
- O FreeRTOS é escrito principalmente em C, mas existem *bindings* Rust para escrever aplicativos.

Capítulo 52

Exercícios

Leremos a direção de uma bússola I2C e registraremos as leituras em uma porta serial.

Depois de ver os exercícios, você pode ver as soluções fornecidas.

52.1 Bússola

Leremos a direção de uma bússola I2C e registraremos as leituras em uma porta serial. Se você tiver tempo, tente exibi-lo nos LEDs de alguma forma também, ou use os botões de alguma forma.

Dicas:

- Verifique a documentação dos *crates* `lsm303agr` e `microbit-v2`, bem como o hardware micro:bit.
- A Unidade de Medição Inercial LSM303AGR está conectada ao barramento I2C interno.
- TWI é outro nome para I2C, portanto, o periférico mestre I2C é chamado de TWIM.
- O driver LSM303AGR precisa de algo que implemente o *trait* `embedded_hal::i2c::I2c`. O *struct* `microbit::hal::Twim` implementa isso.
- Você tem um *struct* `microbit::Board` com campos para os vários pinos e periféricos.
- Você também pode olhar a datasheet nRF52833 se quiser, mas não deve ser necessário para este exercício.

Baixe o modelo de exercício e procure os seguintes arquivos no diretório `compass`.

src/main.rs:

```
extern crate panic_halt as _;

use core::fmt::Write;
use cortex_m_rt::entry;
use microbit::{hal::{Delay, uarte::{Baudrate, Parity, Uarte}}, Board};

fn main() -> ! {
    let mut board = Board::take().unwrap();

    // Configure serial port.
```

```
    let mut serial = Uarte::new(
        board.UARTE0,
        board.uart.into(),
        Parity::EXCLUDED,
        Baudrate::BAUD115200,
    );

    // Use the system timer as a delay provider.
    let mut delay = Delay::new(board.SYST);

    // Set up the I2C controller and Inertial Measurement Unit.
    // TODO

    writeln!(serial, "Ready.").unwrap();

    loop {
        // Read compass data and log it to the serial port.
        // TODO
    }
}
```

Cargo.toml (você não deve precisar alterar isso):

```
[workspace]

[package]
name = "compass"
version = "0.1.0"
edition = "2021"
publish = false

[dependencies]
cortex-m-rt = "0.7.3"
embedded-hal = "1.0.0"
lsm303agr = "1.1.0"
microbit-v2 = "0.15.0"
panic-halt = "0.2.0"
```

Embed.toml (você não deve precisar alterar isso):

```
[default.general]
chip = "nrf52833_xxAA"

[debug.gdb]
enabled = true

[debug.reset]
halt_afterwards = true
```

.cargo/config.toml (você não deve precisar alterar isso):

```
[build]
target = "thumbv7em-none-eabihf" # Cortex-M4F
```

```
[target.'cfg(all(target_arch = "arm", target_os = "none"))']
rustflags = ["-C", "link-arg=-Tlink.x"]
```

Veja a saída serial no Linux com:

```
picocom --baud 115200 --imap lfcrlf /dev/ttyACM0
```

Ou no Mac OS algo como (o nome do dispositivo pode ser um pouco diferente):

```
picocom --baud 115200 --imap lfcrlf /dev/tty.usbmodem14502
```

Use `Ctrl+A Ctrl+Q` para sair do picocom.

52.2 Exercício da manhã de Rust Bare Metal

Bússola

(voltar ao exercício)

```rust
extern crate panic_halt as _;

use core::fmt::Write;
use cortex_m_rt::entry;
use core::cmp::{max, min};
use embedded_hal::digital::InputPin;
use lsm303agr::{
    AccelMode, AccelOutputDataRate, Lsm303agr, MagMode, MagOutputDataRate,
};
use microbit::display::blocking::Display;
use microbit::hal::twim::Twim;
use microbit::hal::uarte::{Baudrate, Parity, Uarte};
use microbit::hal::{Delay, Timer};
use microbit::pac::twim0::frequency::FREQUENCY_A;
use microbit::Board;

const COMPASS_SCALE: i32 = 30000;
const ACCELEROMETER_SCALE: i32 = 700;

fn main() -> ! {
    let mut board = Board::take().unwrap();

    // Configure a porta serial.
    let mut serial = Uarte::new(
        board.UARTE0,
        board.uart.into(),
        Parity::EXCLUDED,
        Baudrate::BAUD115200,
    );

    // Use o timer do sistema como provedor de atraso.
    let mut delay = Delay::new(board.SYST);
```

```
// Configure o controlador I2C e a Unidade de Medição Inercial.
writeln!(serial, "Configurando IMU...").unwrap();
let i2c = Twim::new(board.TWIM0, board.i2c_internal.into(), FREQUENCY_A::K100);
let mut imu = Lsm303agr::new_with_i2c(i2c);
imu.init().unwrap();
imu.set_mag_mode_and_odr(
    &mut delay,
    MagMode::HighResolution,
    MagOutputDataRate::Hz50,
)
.unwrap();
imu.set_accel_mode_and_odr(
    &mut delay,
    AccelMode::Normal,
    AccelOutputDataRate::Hz50,
)
.unwrap();
let mut imu = imu.into_mag_continuous().ok().unwrap();

// Configure o display e o timer.
let mut timer = Timer::new(board.TIMER0);
let mut display = Display::new(board.display_pins);

let mut mode = Mode::Compass;
let mut button_pressed = false;

writeln!(serial, "Pronto.").unwrap();

loop {
    // Leia os dados da bússola e registre-os na porta serial.
    while !(imu.mag_status().unwrap().xyz_new_data()
        && imu.accel_status().unwrap().xyz_new_data())
    {}
    let compass_reading = imu.magnetic_field().unwrap();
    let accelerometer_reading = imu.acceleration().unwrap();
    writeln!(
        serial,
        "{},{},{}\t{},{},{}",
        compass_reading.x_nt(),
        compass_reading.y_nt(),
        compass_reading.z_nt(),
        accelerometer_reading.x_mg(),
        accelerometer_reading.y_mg(),
        accelerometer_reading.z_mg(),
    )
    .unwrap();

    let mut image = [[0; 5]; 5];
    let (x, y) = match mode {
        Mode::Compass => (
            scale(-compass_reading.x_nt(), -COMPASS_SCALE, COMPASS_SCALE, 0, 4)
```

```
                    as usize,
                scale(compass_reading.y_nt(), -COMPASS_SCALE, COMPASS_SCALE, 0, 4)
                    as usize,
            ),
            Mode::Accelerometer => (
                scale(
                    accelerometer_reading.x_mg(),
                    -ACCELEROMETER_SCALE,
                    ACCELEROMETER_SCALE,
                    0,
                    4,
                ) as usize,
                scale(
                    -accelerometer_reading.y_mg(),
                    -ACCELEROMETER_SCALE,
                    ACCELEROMETER_SCALE,
                    0,
                    4,
                ) as usize,
            ),
        };
        image[y][x] = 255;
        display.show(&mut timer, image, 100);

        // Se o botão A for pressionado, alterne para o próximo modo e pisque rapidament
        // ligado.
        if board.buttons.button_a.is_low().unwrap() {
            if !button_pressed {
                mode = mode.next();
                display.show(&mut timer, [[255; 5]; 5], 200);
            }
            button_pressed = true;
        } else {
            button_pressed = false;
        }
    }
}

enum Mode {
    Compass,
    Accelerometer,
}

impl Mode {
    fn next(self) -> Self {
        match self {
            Self::Compass => Self::Accelerometer,
            Self::Accelerometer => Self::Compass,
        }
    }
}
```

```rust
fn scale(value: i32, min_in: i32, max_in: i32, min_out: i32, max_out: i32) -> i32 {
    let range_in = max_in - min_in;
    let range_out = max_out - min_out;
    cap(min_out + range_out * (value - min_in) / range_in, min_out, max_out)
}

fn cap(value: i32, min_value: i32, max_value: i32) -> i32 {
    max(min_value, min(value, max_value))
}
```

Parte XII

Bare Metal: Tarde

Capítulo 53

Processadores de aplicações

Até agora, falamos sobre microcontroladores, como a série Arm Cortex-M. Agora vamos tentar escrever algo para Cortex-A. Para simplificar, vamos trabalhar apenas com a placa 'virt' aarch64 do QEMU.

- Em termos gerais, os microcontroladores não possuem MMU ou vários níveis de privilégio (níveis de exceção em CPUs Arm, anéis em x86), enquanto os processadores de aplicações possuem.
- O QEMU suporta a emulação de vários modelos de máquinas ou placas diferentes para cada arquitetura. A placa 'virt' não corresponde a nenhum hardware real específico, mas é projetada exclusivamente para máquinas virtuais.

53.1 Preparando-se para o Rust

Antes de podermos começar a executar o código Rust, precisamos fazer alguma

```
.section .init.entry, "ax"
.global entry
entry:
    /*
     * Carregue e aplique a configuração de gerenciamento de memória, pronto para
     * habilitar MMU e caches.
    adrp x30, idmap
    msr ttbr0_el1, x30

    mov_i x30, .Lmairval
    msr mair_el1, x30

    mov_i x30, .Ltcrval
    /* Copie o intervalo de PA suportado para TCR_EL1.IPS. */
    mrs x29, id_aa64mmfr0_el1
    bfi x30, x29, #32, #4

    msr tcr_el1, x30
```

```
    mov_i x30, .Lsctlrval

    /*
     * Garanta que tudo antes deste ponto tenha sido concluído, então invalida
     * quaisquer entradas locais de TLB potencialmente obsoletas antes que elas
     */
    isb
    tlbi vmalle1
    ic iallu
    dsb nsh
    isb

    /*
     * Configure sctlr_el1 para habilitar MMU e cache e não prossiga até isto
     * tenha sido concluído.
     */
    msr sctlr_el1, x30
    isb

    /* Desative a captura de acesso de ponto flutuante em EL1. */
    mrs x30, cpacr_el1
    orr x30, x30, #(0x3 << 20)
    msr cpacr_el1, x30
    isb

    /* Zere a seção bss. */
    adr_l x29, bss_begin
    adr_l x30, bss_end
0:  cmp x29, x30
    b.hs 1f
    stp xzr, xzr, [x29], #16
    b 0b

1:  /* Prepare a pilha. */
    adr_l x30, boot_stack_end
    mov sp, x30

    /* Configure o vetor de exceção. */
    adr x30, vector_table_el1
    msr vbar_el1, x30

    /* Chame o código Rust. */
    bl main

    /* Loop infinito esperando por interrupções. */
2:  wfi
    b 2b
```

- Isso é o mesmo que seria para C: inicializando o estado do processador, zerando o BSS e configurando o ponteiro da pilha.
  - O BSS (bloco de símbolo inicial, por razões históricas) é a parte do arquivo objeto

que contém variáveis alocadas estaticamente que são inicializadas como zero. Eles são omitidos da imagem, para evitar desperdício de espaço em zeros. O compilador assume que o carregador cuidará de zerá-los.

- O BSS pode já estar zerado, dependendo de como a memória é inicializada e a imagem é carregada, mas o zeramos para ter certeza.
- É necessário habilitar a MMU e o cache antes de ler ou gravar qualquer memória. Se não fizermos isso:
  - Os acessos não alinhados falharão. Construímos o código Rust para o alvo `aarch64-unknown-none` que define `+strict-align` para evitar que o compilador gere acessos não alinhados, portanto, deve estar tudo bem neste caso, mas este não é necessariamente o caso em geral.
  - Se estivesse sendo executado em uma VM, isso pode levar a problemas de coerência de cache. O problema é que a VM está acessando a memória diretamente com o cache desabilitado, enquanto o host tem aliases cacheáveis para a mesma memória. Mesmo que o host não acesse explicitamente a memória, acessos especulativos podem levar a preenchimentos de cache e, em seguida, alterações de um ou de outro serão perdidas quando o cache for limpo ou a VM habilitar o cache. (O cache é indexado pelo endereço físico, não VA ou IPA.)
- Para simplificar, usamos apenas uma tabela de páginas codificada (consulte `idmap.S`) que mapeia a identidade dos primeiros 1 GiB do espaço de endereços para dispositivos, os próximos 1 GiB para DRAM e mais 1 GiB mais acima para mais dispositivos. Isso corresponde ao layout de memória que o QEMU usa.
- Também configuramos o vetor de exceção (`vbar_el1`), que veremos mais tarde.
- Todos os exemplos desta tarde assumem que estaremos executando no nível de exceção 1 (EL1). Se você precisar executar em um nível de exceção diferente, você precisará modificar `entry.S` de acordo.

53.2 Assembly inline

Às vezes, precisamos usar assembly para fazer coisas que não são possíveis com o código Rust. Por exemplo, para fazer uma chamada HVC (hypervisor call) para informar ao firmware para desligar o sistema:

```
use core::arch::asm;
use core::panic::PanicInfo;

mod exceptions;

const PSCI_SYSTEM_OFF: u32 = 0x84000008;

extern "C" fn main(_x0: u64, _x1: u64, _x2: u64, _x3: u64) {
    // SEGURANÇA: isso só usa os registradores declarados e não faz
    // nada com a memória.
    unsafe {
        asm!("hvc #0",
            inout("w0") PSCI_SYSTEM_OFF => _,
            inout("w1") 0 => _,
            inout("w2") 0 => _,
            inout("w3") 0 => _,
```

```
            inout("w4") 0 => _,
            inout("w5") 0 => _,
            inout("w6") 0 => _,
            inout("w7") 0 => _,
            options(nomem, nostack)
        );
    }

    loop {}
}
```

(Se você realmente quiser fazer isso, use o *crate* `smccc` que possui wrappers para todas essas funções.)

- PSCI é a Interface de Coordenação de Estado de Energia Arm, um conjunto padrão de funções para gerenciar estados de energia do sistema e da CPU, entre outras coisas. É implementado pelo firmware EL3 e hipervisores em muitos sistemas.
- A sintaxe `0 => _` significa inicializar o registrador com 0 antes de executar o código de assembly inline e ignorar seu conteúdo posteriormente. É necessário usar `inout` em vez de `in` porque a chamada pode potencialmente destruir o conteúdo dos registradores.
- Esta função `main` precisa ser `#[no_mangle]` e `extern "C"` porque é chamada de nosso ponto de entrada em `entry.S`.
- `_x0`–`_x3` são os valores dos registradores `x0`–`x3`, que são convencionalmente usados pelo carregador de inicialização para passar coisas como um ponteiro para a árvore de dispositivos. De acordo com a convenção de chamada aarch64 padrão (que é o que `extern "C"` especifica para usar), os registradores `x0`–`x7` são usados para os primeiros 8 argumentos passados para uma função, portanto, `entry.S` não precisa fazer nada especial, exceto garantir que não altere esses registradores.
- Execute o exemplo no QEMU com `make qemu_psci` em `src/bare-metal/aps/examples`.

53.3 Acesso volátil à memória para MMIO

- Use `pointer::read_volatile` e `pointer::write_volatile`.
- Nunca segure uma referência.
- `addr_of!` permite obter campos de estruturas sem criar uma referência intermediária.
- Acesso volátil: operações de leitura ou gravação podem ter efeitos colaterais, portanto, impedem que o compilador ou o hardware os reordenem, duplicem ou omitam.
  - Normalmente, se você gravar e depois ler, por exemplo, por meio de uma referência mutável, o compilador pode assumir que o valor lido é o mesmo que o valor acabou de ser gravado e não se preocupar em ler a memória.
- Algumas *crates* existentes para acesso volátil ao hardware mantêm referências, mas isso é incorreto. Sempre que uma referência existir, o compilador poderá optar por desreferenciá-la.
- Use a macro `addr_of!` para obter ponteiros de campo de um struct de um ponteiro para o struct.

53.4 Vamos escrever um driver UART

A máquina 'virt' do QEMU possui um UART PL011, então vamos escrever um driver para isso.

```rust
const FLAG_REGISTER_OFFSET: usize = 0x18;
const FR_BUSY: u8 = 1 << 3;
const FR_TXFF: u8 = 1 << 5;

/// Driver mínimo para um UART PL011.
pub struct Uart {
    base_address: *mut u8,
}

impl Uart {
    /// Constrói uma nova instância do driver UART para um dispositivo PL011 no endereço
    /// base fornecido.
    ///
    /// # Segurança
    ///
    /// O endereço base fornecido deve apontar para os 8 registradores de controle MMIO
    /// dispositivo PL011, que deve ser mapeado no espaço de endereços do processo
    /// como memória de dispositivo e não ter nenhum outro alias.
    pub unsafe fn new(base_address: *mut u8) -> Self {
        Self { base_address }
    }

    /// Grava um único byte no UART.
    pub fn write_byte(&self, byte: u8) {
        // Aguarde até que haja espaço no buffer TX.
        while self.read_flag_register() & FR_TXFF != 0 {}

        // SEGURANÇA: porque sabemos que o endereço base aponta para o controle
        // registradores de um dispositivo PL011 que está mapeado adequadamente.
        unsafe {
            // Escreva no buffer TX.
            self.base_address.write_volatile(byte);
        }

        // Aguarde até que o UART não esteja mais ocupado.
        while self.read_flag_register() & FR_BUSY != 0 {}
    }

    fn read_flag_register(&self) -> u8 {
        // SEGURANÇA: porque sabemos que o endereço base aponta para o controle
        // registradores de um dispositivo PL011 que está mapeado adequadamente.
        unsafe { self.base_address.add(FLAG_REGISTER_OFFSET).read_volatile() }
    }
}
```

- Observe que `Uart::new` não é seguro, enquanto os outros métodos são seguros. Isso ocorre porque, desde que o chamador de `Uart::new` garanta que seus requisitos de segurança sejam atendidos (ou seja, que haja apenas uma instância do driver para um determinado UART e nada mais que faça alias do seu espaço de endereço), então é sempre seguro chamar `write_byte` mais tarde porque podemos assumir as precondições necessárias.

- Poderíamos ter feito o contrário (tornando `new` seguro, mas `write_byte` inseguro), mas isso seria muito menos conveniente de usar, pois todos os lugares que chamam `write_byte` precisariam raciocinar sobre a segurança
- Este é um padrão comum para escrever invólucros seguros de código inseguro: transferir o ônus da prova de correção de um grande número de lugares para um número menor de lugares.

53.4.1 Mais *traits*

Derivamos o *trait* Debug. Seria útil implementar alguns *traits* a mais também.

```
use core::fmt::{self, Write};

impl Write for Uart {
    fn write_str(&mut self, s: &str) -> fmt::Result {
        for c in s.as_bytes() {
            self.write_byte(*c);
        }
        Ok(())
    }
}

// SEGURANÇA: `Uart` contém apenas um ponteiro para memória de dispositivo, que pode se
// acessado de qualquer contexto.
unsafe impl Send for Uart {}
```

- A implementação de `Write` nos permite usar os macros `write!` e `writeln!` com nosso tipo `Uart`.
- Execute o exemplo no QEMU com `make qemu_minimal` em `src/bare-metal/aps/examples`.

53.5 Um driver UART melhor

O PL011 na verdade tem um monte de outros registradores, e adicionar deslocamentos para construir ponteiros para acessá-los é propenso a erros e difícil de ler. Além disso, alguns deles são campos de bits que seria bom acessar de forma estruturada.

Deslocamento (*offset*)	Nome do registrador	Largura
0x00	DR	12
0x04	RSR	4
0x18	FR	9
0x20	ILPR	8
0x24	IBRD	16
0x28	FBRD	6
0x2c	LCR_H	8
0x30	CR	16
0x34	IFLS	6
0x38	IMSC	11
0x3c	RIS	11
0x40	MIS	11
0x44	ICR	11

Deslocamento (*offset*)	Nome do registrador	Largura
0x48	DMACR	3

- Também existem alguns registradores de ID que foram omitidos por brevidade.

53.5.1 Bitflags

O *crate* `bitflags` é útil para trabalhar com *bitflags*.

```
use bitflags::bitflags;

bitflags! {
    /// _Flags_ do registrador de _flags_ do UART.
    struct Flags: u16 {
        /// Limpar para enviar.
        const CTS = 1 << 0;
        /// Dados prontos para envio.
        const DSR = 1 << 1;
        /// Dados detectados pelo receptor.
        const DCD = 1 << 2;
        /// UART ocupado transmitindo dados.
        const BUSY = 1 << 3;
        /// O FIFO de recebimento está vazio.
        const RXFE = 1 << 4;
        /// O FIFO de transmissão está cheio.
        const TXFF = 1 << 5;
        /// O FIFO de recebimento está cheio.
        const RXFF = 1 << 6;
        /// O FIFO de transmissão está vazio.
        const TXFE = 1 << 7;
        /// Indicador de anel.
        const RI = 1 << 8;
    }
}
```

- A macro `bitflags!` cria um *newtype* algo como `Flags(u16)`, junto com um monte de implementações de método para obter e setar *flags*.

53.5.2 Registradores múltiplos

Podemos usar um struct para representar o layout de memória dos registradores do UART.

```
struct Registers {
    dr: u16,
    _reserved0: [u8; 2],
    rsr: ReceiveStatus,
    _reserved1: [u8; 19],
    fr: Flags,
    _reserved2: [u8; 6],
    ilpr: u8,
    _reserved3: [u8; 3],
```

```
    ibrd: u16,
    _reserved4: [u8; 2],
    fbrd: u8,
    _reserved5: [u8; 3],
    lcr_h: u8,
    _reserved6: [u8; 3],
    cr: u16,
    _reserved7: [u8; 3],
    ifls: u8,
    _reserved8: [u8; 3],
    imsc: u16,
    _reserved9: [u8; 2],
    ris: u16,
    _reserved10: [u8; 2],
    mis: u16,
    _reserved11: [u8; 2],
    icr: u16,
    _reserved12: [u8; 2],
    dmacr: u8,
    _reserved13: [u8; 3],
}
```

- `#[repr(C)]` diz ao compilador para dispor os campos do struct em ordem, seguindo as mesmas regras do C. Isso é necessário para que nosso struct tenha um layout previsível, pois a representação padrão do Rust permite que o compilador (entre outras coisas) reordene os campos como quiser.

53.5.3 Driver

Agora vamos usar o novo struct `Registers` em nosso driver.

```
/// Driver para um UART PL011.
pub struct Uart {
    registers: *mut Registers,
}

impl Uart {
    /// Constrói uma nova instância do driver UART para um dispositivo PL011 no endereço
    /// base fornecido.
    ///
    /// # Segurança
    ///
    /// O endereço base fornecido deve apontar para os 8 registradores de controle MMIO
    /// dispositivo PL011, que deve ser mapeado no espaço de endereços do processo
    /// como memória de dispositivo e não ter nenhum outro alias.
    pub unsafe fn new(base_address: *mut u32) -> Self {
        Self { registers: base_address as *mut Registers }
    }

    /// Grava um único byte no UART.
    pub fn write_byte(&self, byte: u8) {
        // Aguarde até que haja espaço no buffer TX.
```

```
        while self.read_flag_register().contains(Flags::TXFF) {}

        // SEGURANÇA: Sabemos que self.registers aponta para os registradores
        // de controle de um dispositivo PL011 que está mapeado adequadamente.
        unsafe {
            // Escreva no buffer TX.
            addr_of_mut!((*self.registers).dr).write_volatile(byte.into());
        }

        // Aguarde até que o UART não esteja mais ocupado.
        while self.read_flag_register().contains(Flags::BUSY) {}
    }

    /// Lê e retorna um byte pendente ou `None` se nada foi
    /// recebido.
    pub fn read_byte(&self) -> Option<u8> {
        if self.read_flag_register().contains(Flags::RXFE) {
            None
        } else {
            // SEGURANÇA: Sabemos que self.registers aponta para os registradores
        // de controle de um dispositivo PL011 que está mapeado adequadamente.
            let data = unsafe { addr_of!((*self.registers).dr).read_volatile() };
            // TODO: Verifique as condições de erro nos bits 8-11.
            Some(data as u8)
        }
    }

    fn read_flag_register(&self) -> Flags {
        // SEGURANÇA: Sabemos que self.registers aponta para os registradores
        // de controle de um dispositivo PL011 que está mapeado adequadamente.
        unsafe { addr_of!((*self.registers).fr).read_volatile() }
    }
}
```

- Observe o uso de `addr_of!` / `addr_of_mut!` para obter ponteiros para campos individuais sem criar uma referência intermediária, o que seria incorreto.

53.5.4 Usando

Vamos escrever um pequeno programa usando nosso driver para escrever no console serial e ecoar os bytes recebidos.

```
mod exceptions;
mod pl011;

use crate::pl011::Uart;
use core::fmt::Write;
use core::panic::PanicInfo;
use log::error;
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;
```

```
/// Endereço base do UART PL011 primário.
const PL011_BASE_ADDRESS: *mut u32 = 0x900_0000 as _;

extern "C" fn main(x0: u64, x1: u64, x2: u64, x3: u64) {
    // SEGURANÇA: `PL011_BASE_ADDRESS` é o endereço base de um dispositivo PL011,
    // e mais nada acessa esse intervalo de endereços.
    let mut uart = unsafe { Uart::new(PL011_BASE_ADDRESS) };

    writeln!(uart, "main({x0:#x}, {x1:#x}, {x2:#x}, {x3:#x})").unwrap();

    loop {
        if let Some(byte) = uart.read_byte() {
            uart.write_byte(byte);
            match byte {
                b'\r' => {
                    uart.write_byte(b'\n');
                }
                b'q' => break,
                _ => {}
            }
        }
    }

    writeln!(uart, "Tchau!").unwrap();
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}
```

- Como no exemplo de assembly inline, esta função `main` é chamada a partir do nosso código de ponto de entrada em `entry.S`. Veja os *speaker notes* lá para mais detalhes.
- Execute o exemplo no QEMU com `make qemu` em `src/bare-metal/aps/examples`.

53.6 Gerando Registros (Log)

Seria bom poder usar os macros de *logging* do *crate* `log`. Podemos fazer isso implementando o *trait* `Log`.

```
use crate::pl011::Uart;
use core::fmt::Write;
use log::{LevelFilter, Log, Metadata, Record, SetLoggerError};
use spin::mutex::SpinMutex;

static LOGGER: Logger = Logger { uart: SpinMutex::new(None) };

struct Logger {
    uart: SpinMutex<Option<Uart>>,
}

impl Log for Logger {
    fn enabled(&self, _metadata: &Metadata) -> bool {
        true
```

```
    }

    fn log(&self, record: &Record) {
        writeln!(
            self.uart.lock().as_mut().unwrap(),
            "[{}] {}",
            record.level(),
            record.args()
        )
        .unwrap();
    }

    fn flush(&self) {}
}

/// Inicializa o _logger_ UART.
pub fn init(uart: Uart, max_level: LevelFilter) -> Result<(), SetLoggerError> {
    LOGGER.uart.lock().replace(uart);

    log::set_logger(&LOGGER)?;
    log::set_max_level(max_level);
    Ok(())
}
```

- O *unwrap* em `log` é seguro porque inicializamos `LOGGER` antes de chamar `set_logger`.

53.6.1 Usando

Precisamos inicializar o *logger* antes de usá-lo.

```
mod exceptions;
mod logger;
mod pl011;

use crate::pl011::Uart;
use core::panic::PanicInfo;
use log::{error, info, LevelFilter};
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;

/// Endereço base do UART PL011 primário.
const PL011_BASE_ADDRESS: *mut u32 = 0x900_0000 as _;

extern "C" fn main(x0: u64, x1: u64, x2: u64, x3: u64) {
    // SEGURANÇA: `PL011_BASE_ADDRESS` é o endereço base de um dispositivo PL011,
    // e mais nada acessa esse intervalo de endereços.
    let uart = unsafe { Uart::new(PL011_BASE_ADDRESS) };
    logger::init(uart, LevelFilter::Trace).unwrap();

    info!("main({x0:#x}, {x1:#x}, {x2:#x}, {x3:#x})");
```

```
    assert_eq!(x1, 42);

    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

fn panic(info: &PanicInfo) -> ! {
    error!("{info}");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
    loop {}
}
```

- Observe que nosso manipulador de pânico agora pode registrar detalhes de panes.
- Execute o exemplo no QEMU com `make qemu_logger` em `src/bare-metal/aps/examples`.

53.7 Exceções

AArch64 define uma tabela de vetor de exceção com 16 entradas, para 4 tipos de exceções (síncronas, IRQ, FIQ, SError) de 4 estados (EL atual com SP0, EL atual com SPx, EL inferior usando AArch64, EL inferior usando AArch32). Implementamos isso em assembly para salvar os registradores voláteis na pilha antes de chamar o código Rust:

```
use log::error;
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;

extern "C" fn sync_exception_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("sync_exception_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn irq_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("irq_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn fiq_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("fiq_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn serr_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("serr_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn sync_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("sync_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn irq_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
```

```
    error!("irq_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn fiq_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("fiq_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn serr_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("serr_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}
```

- EL é nível de exceção; todos os nossos exemplos esta tarde são executados em EL1.
- Para simplificar, não estamos distinguindo entre SP0 e SPx para as exceções do EL atual, ou entre AArch32 e AArch64 para as exceções do EL inferior.
- Neste exemplo, apenas registramos a exceção e desligamos, pois não esperamos que nenhuma delas realmente aconteça.
- Podemos pensar nos manipuladores de exceção e no nosso contexto de execução principal mais ou menos como em *threads* diferentes. Send e Sync controlarão o que podemos compartilhar entre eles, assim como com *threads*. Por exemplo, se quisermos compartilhar algum valor entre os manipuladores de exceção e o restante do programa, e ele for Send mas não Sync, então precisaremos envolvê-lo em algo como um `Mutex` e colocá-lo em um estático.

53.8 Outros projetos

- oreboot
  - "coreboot sem o C"
  - Suporta x86, aarch64 e RISC-V.
  - Depende do LinuxBoot em vez de ter muitos drivers próprios.
- Tutorial do Rust RaspberryPi OS
  - Inicialização, driver UART, *bootloader* simples, JTAG, níveis de exceção, tratamento de exceção, tabelas de páginas
  - Algumas coisas estranhas em torno da manutenção e inicialização de cache em Rust, não necessariamente um bom exemplo para copiar para código de produção.
- `cargo-call-stack`
  - Análise estática para determinar o uso máximo de pilha.
- O tutorial do RaspberryPi OS executa código Rust antes que a MMU e os caches sejam habilitados. Isso lerá e gravará memória (por exemplo, a pilha). No entanto:
  - Sem a MMU e o cache, acessos não alinhados falharão. Ele é construído com `aarch64-unknown-none` que define `+strict-align` para evitar que o compilador gere acessos não alinhados, portanto, deve estar tudo bem, mas isso não é necessariamente o caso em geral.
  - Se estivesse sendo executado em uma VM, isso pode levar a problemas de coerência de cache. O problema é que a VM está acessando a memória diretamente com o cache desabilitado, enquanto o host tem *aliases* cacheáveis para a mesma memória. Mesmo que o host não acesse explicitamente a memória, acessos especulativos podem levar a preenchimentos de cache e, em seguida, alterações de um ou de

outro serão perdidas. Novamente, está tudo bem neste caso particular (executando diretamente no hardware sem hipervisor), mas não é um bom padrão em geral.

Capítulo 54

Crates Úteis

Vamos ver algumas *crates* que resolvem alguns problemas comuns na programação *bare-metal*.

54.1 `zerocopy`

O *crate* `zerocopy` (do Fuchsia) fornece *traits* e macros para converter com segurança entre sequências de bytes e outros tipos.

```
use zerocopy::AsBytes;

enum RequestType {
    In = 0,
    Out = 1,
    Flush = 4,
}

struct VirtioBlockRequest {
    request_type: RequestType,
    reserved: u32,
    sector: u64,
}

fn main() {
    let request = VirtioBlockRequest {
        request_type: RequestType::Flush,
        sector: 42,
        ..Default::default()
    };

    assert_eq!(
        request.as_bytes(),
        &[4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 42, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
    );
}
```

Isso não é adequado para MMIO (pois não usa leituras e gravações voláteis), mas pode ser útil para trabalhar com estruturas compartilhadas com hardware, por exemplo, por DMA, ou enviadas por alguma interface externa.

- `FromBytes` pode ser implementado para tipos para os quais qualquer padrão de byte é válido e, portanto, pode ser convertido com segurança de uma sequência de bytes não confiável.
- Tentar derivar `FromBytes` para esses tipos falharia, porque `RequestType` não usa todos os valores u32 possíveis como discriminantes, portanto, nem todos os padrões de bytes são válidos.
- `zerocopy::byteorder` tem tipos para primitivas numéricas que levam em consideração a ordem dos bytes.
- Execute o exemplo com `cargo run` em `src/bare-metal/useful-crates/zerocopy-example/`. (Não executará no Playground por causa da dependência do *crate*).

54.2 aarch64-paging

O *crate* aarch64-paging permite criar tabelas de páginas de acordo com a Arquitetura do Sistema de Memória Virtual AArch64.

```
use aarch64_paging::{
    idmap::IdMap,
    paging::{Attributes, MemoryRegion},
};

const ASID: usize = 1;
const ROOT_LEVEL: usize = 1;

// Cria uma nova tabela de páginas com mapeamento de identidade.
let mut idmap = IdMap::new(ASID, ROOT_LEVEL);
// Mapeia uma região de memória de 2 MiB como somente leitura.
idmap.map_range(
    &MemoryRegion::new(0x80200000, 0x80400000),
    Attributes::NORMAL | Attributes::NON_GLOBAL | Attributes::READ_ONLY,
).unwrap();
// Seta `TTBR0_EL1` para ativar a tabela de páginas.
idmap.activate();
```

- Por enquanto, ele suporta apenas EL1, mas o suporte para outros níveis de exceção deve ser fácil de adicionar.
- Isso é usado no Android para o Firmware VM Protegido.
- Não há uma maneira fácil de executar este exemplo, pois ele precisa ser executado em hardware real ou no QEMU.

54.3 buddy_system_allocator

buddy_system_allocator é um *crate* de terceiros que implementa um alocador básico de sistema buddy. Ele pode ser usado tanto para LockedHeap implementando GlobalAlloc para que você possa usar o *crate* padrão `alloc` (como vimos antes), ou para alocar outro espaço de endereço. Por exemplo, podemos querer alocar espaço MMIO para os BARs PCI:

```
use buddy_system_allocator::FrameAllocator;
use core::alloc::Layout;

fn main() {
    let mut allocator = FrameAllocator::<32>::new();
    allocator.add_frame(0x200_0000, 0x400_0000);

    let layout = Layout::from_size_align(0x100, 0x100).unwrap();
    let bar = allocator
        .alloc_aligned(layout)
        .expect("Failed to allocate 0x100 byte MMIO region");
    println!("Allocated 0x100 byte MMIO region at {:#x}", bar);
}
```

- Os BARs PCI sempre têm alinhamento igual ao seu tamanho.
- Execute o exemplo com `cargo run` em `src/bare-metal/useful-crates/allocator-example/`. (Não executará no Playground por causa da dependência do *crate*).

54.4 `tinyvec`

Às vezes, você deseja algo que possa ser redimensionado como um `Vec`, mas sem alocação de heap. `tinyvec` fornecer isso: um vetor com suporte a um array ou *slice*, que pode ser alocado estaticamente ou na pilha, que mantém o controle de quantos elementos são usados e gera um *panic* se você tentar usar mais do que está alocado.

```
use tinyvec::{array_vec, ArrayVec};

fn main() {
    let mut numbers: ArrayVec<[u32; 5]> = array_vec!(42, 66);
    println!("{numbers:?}");
    numbers.push(7);
    println!("{numbers:?}");
    numbers.remove(1);
    println!("{numbers:?}");
}
```

- `tinyvec` requer que o tipo de elemento implemente `Default` para inicialização.
- O Rust Playground inclui `tinyvec`, portanto, este exemplo será executado corretamente inline.

54.5 `spin`

`std::sync::Mutex` e os outros primitivos de sincronização de `std::sync` não estão disponíveis em `core` ou `alloc`. Como podemos gerenciar a sincronização ou mutabilidade interna, como para compartilhar estado entre diferentes CPUs?

O *crate* `spin` fornece equivalentes baseados em *spinlock* para muitos dessas primitivas.

```
use spin::mutex::SpinMutex;

static counter: SpinMutex<u32> = SpinMutex::new(0);
```

```
fn main() {
    println!("count: {}", counter.lock());
    *counter.lock() += 2;
    println!("count: {}", counter.lock());
}
```

- Tome cuidado para evitar *deadlock* se você tomar *locks* em manipuladores de interrupção.
- `spin` também possui uma implementação de *mutex* de *ticket lock*; equivalentes de `RwLock`, `Barrier` e `Once` de `std::sync`; e `Lazy` para inicialização *lazy* (”preguiçosa”).
- O *crate* `once_cell` também possui alguns tipos úteis para inicialização tardia com uma abordagem um pouco diferente de `spin::once::Once`.
- O Rust Playground inclui `spin`, portanto, este exemplo será executado corretamente inline.

Capítulo 55

Android

Para compilar um binário Rust *bare-metal* no AOSP, você precisa usar uma regra Soong `rust_ffi_static` para compilar seu código Rust, depois um `cc_binary` com um *linker script* para produzir o próprio binário e, finalmente, um `raw_binary` para converter o ELF em um binário bruto pronto para ser executado.

```
rust_ffi_static {
    name: "libvmbase_example",
    defaults: ["vmbase_ffi_defaults"],
    crate_name: "vmbase_example",
    srcs: ["src/main.rs"],
    rustlibs: [
        "libvmbase",
    ],
}

cc_binary {
    name: "vmbase_example",
    defaults: ["vmbase_elf_defaults"],
    srcs: [
        "idmap.S",
    ],
    static_libs: [
        "libvmbase_example",
    ],
    linker_scripts: [
        "image.ld",
        ":vmbase_sections",
    ],
}

raw_binary {
    name: "vmbase_example_bin",
    stem: "vmbase_example.bin",
    src: ":vmbase_example",
    enabled: false,
```

```
    target: {
        android_arm64: {
            enabled: true,
        },
    },
}
```

55.1 vmbase

Para VMs em execução sob crosvm em aarch64, a biblioteca vmbase fornece um *linker script* e padrões úteis para as regras de compilação, juntamente com um ponto de entrada, *logging* de console UART e muito mais.

```
use vmbase::{main, println};

main!(main);

pub fn main(arg0: u64, arg1: u64, arg2: u64, arg3: u64) {
    println!("Hello world");
}
```

- A macro `main!` marca sua função principal, para ser chamada a partir do ponto de entrada `vmbase`.
- O ponto de entrada `vmbase` lida com a inicialização do console e emite um PSCI_SYSTEM_OFF para desligar a VM se sua função principal retornar.

Capítulo 56

Exercícios

Vamos escrever um driver para o dispositivo de relógio em tempo real PL031.

Depois de ver os exercícios, você pode ver as soluções fornecidas.

56.1 Driver RTC

A máquina QEMU aarch64 virt tem um relógio em tempo real PL031 em 0x9010000. Para este exercício, você deve escrever um driver para ele.

1. Use-o para imprimir a hora atual no console serial. Você pode usar o *crate* `chrono` para formatação de data/hora.
2. Use o registrador de comparação e o status de interrupção bruto para aguardar ocupado até um determinado horário, por exemplo, 3 segundos no futuro. (Chame `core::hint::spin_loop` dentro do *loop*).
3. *Extensão se você tiver tempo:* Ative e manipule a interrupção gerada pela correspondência RTC. Você pode usar o driver fornecido no *crate* `arm-gic` para configurar o Controlador de Interrupção
   - Use a interrupção RTC, que está conectada ao GIC como `IntId::spi(2)`.
   - Depois que a interrupção for ativada, você poderá colocar o core para dormir via `arm_gic::wfi()`, o que fará com que o core durma até receber uma interrupção.

Baixe o modelo de exercício e procure os seguintes arquivos no diretório `rtc`.

src/main.rs:

```
mod exceptions;
mod logger;
mod pl011;

use crate::pl011::Uart;
use arm_gic::gicv3::GicV3;
use core::panic::PanicInfo;
use log::{error, info, trace, LevelFilter};
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;
```

```
/// Base addresses of the GICv3.
const GICD_BASE_ADDRESS: *mut u64 = 0x800_0000 as _;
const GICR_BASE_ADDRESS: *mut u64 = 0x80A_0000 as _;

/// Base address of the primary PL011 UART.
const PL011_BASE_ADDRESS: *mut u32 = 0x900_0000 as _;

extern "C" fn main(x0: u64, x1: u64, x2: u64, x3: u64) {
    // SAFETY: `PL011_BASE_ADDRESS` is the base address of a PL011 device, and
    // nothing else accesses that address range.
    let uart = unsafe { Uart::new(PL011_BASE_ADDRESS) };
    logger::init(uart, LevelFilter::Trace).unwrap();

    info!("main({:#x}, {:#x}, {:#x}, {:#x})", x0, x1, x2, x3);

    // SAFETY: `GICD_BASE_ADDRESS` and `GICR_BASE_ADDRESS` are the base
    // addresses of a GICv3 distributor and redistributor respectively, and
    // nothing else accesses those address ranges.
    let mut gic = unsafe { GicV3::new(GICD_BASE_ADDRESS, GICR_BASE_ADDRESS) };
    gic.setup();

    // TODO: Create instance of RTC driver and print current time.

    // TODO: Wait for 3 seconds.

    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

fn panic(info: &PanicInfo) -> ! {
    error!("{info}");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
    loop {}
}
```

src/exceptions.rs (você só precisará alterar isso para a 3ª parte do exercício):

```
// Copyright 2023 Google LLC
//
// Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
// you may not use this file except in compliance with the License.
// You may obtain a copy of the License at
//
//      http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
//
// Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
// distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
// WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
// See the License for the specific language governing permissions and
// limitations under the License.

use arm_gic::gicv3::GicV3;
```

```rust
use log::{error, info, trace};
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;

extern "C" fn sync_exception_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("sync_exception_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn irq_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    trace!("irq_current");
    let intid =
        GicV3::get_and_acknowledge_interrupt().expect("No pending interrupt");
    info!("IRQ {intid:?}");
}

extern "C" fn fiq_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("fiq_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn serr_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("serr_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn sync_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("sync_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn irq_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("irq_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn fiq_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("fiq_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn serr_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("serr_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}
```

src/logger.rs (você não deverá precisar alterar isso):

```rust
// Copyright 2023 Google LLC
//
// Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
// you may not use this file except in compliance with the License.
```

```
// You may obtain a copy of the License at
//
//      http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
//
// Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
// distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
// WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
// See the License for the specific language governing permissions and
// limitations under the License.

// ANCHOR: main
use crate::pl011::Uart;
use core::fmt::Write;
use log::{LevelFilter, Log, Metadata, Record, SetLoggerError};
use spin::mutex::SpinMutex;

static LOGGER: Logger = Logger { uart: SpinMutex::new(None) };

struct Logger {
    uart: SpinMutex<Option<Uart>>,
}

impl Log for Logger {
    fn enabled(&self, _metadata: &Metadata) -> bool {
        true
    }

    fn log(&self, record: &Record) {
        writeln!(
            self.uart.lock().as_mut().unwrap(),
            "[{}] {}",
            record.level(),
            record.args()
        )
        .unwrap();
    }

    fn flush(&self) {}
}

/// Initialises UART logger.
pub fn init(uart: Uart, max_level: LevelFilter) -> Result<(), SetLoggerError> {
    LOGGER.uart.lock().replace(uart);

    log::set_logger(&LOGGER)?;
    log::set_max_level(max_level);
    Ok(())
}
```

src/pl011.rs (você não deverá precisar alterar isso):

```
// Copyright 2023 Google LLC
```

```
//
// Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
// you may not use this file except in compliance with the License.
// You may obtain a copy of the License at
//
//      http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
//
// Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
// distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
// WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
// See the License for the specific language governing permissions and
// limitations under the License.


use core::fmt::{self, Write};
use core::ptr::{addr_of, addr_of_mut};

// ANCHOR: Flags
use bitflags::bitflags;

bitflags! {
    /// Flags from the UART flag register.
    struct Flags: u16 {
        /// Clear to send.
        const CTS = 1 << 0;
        /// Data set ready.
        const DSR = 1 << 1;
        /// Data carrier detect.
        const DCD = 1 << 2;
        /// UART busy transmitting data.
        const BUSY = 1 << 3;
        /// Receive FIFO is empty.
        const RXFE = 1 << 4;
        /// Transmit FIFO is full.
        const TXFF = 1 << 5;
        /// Receive FIFO is full.
        const RXFF = 1 << 6;
        /// Transmit FIFO is empty.
        const TXFE = 1 << 7;
        /// Ring indicator.
        const RI = 1 << 8;
    }
}
// ANCHOR_END: Flags

bitflags! {
    /// Flags from the UART Receive Status Register / Error Clear Register.
    struct ReceiveStatus: u16 {
        /// Framing error.
        const FE = 1 << 0;
        /// Parity error.
```

```
        const PE = 1 << 1;
        /// Break error.
        const BE = 1 << 2;
        /// Overrun error.
        const OE = 1 << 3;
    }
}

// ANCHOR: Registers
struct Registers {
    dr: u16,
    _reserved0: [u8; 2],
    rsr: ReceiveStatus,
    _reserved1: [u8; 19],
    fr: Flags,
    _reserved2: [u8; 6],
    ilpr: u8,
    _reserved3: [u8; 3],
    ibrd: u16,
    _reserved4: [u8; 2],
    fbrd: u8,
    _reserved5: [u8; 3],
    lcr_h: u8,
    _reserved6: [u8; 3],
    cr: u16,
    _reserved7: [u8; 3],
    ifls: u8,
    _reserved8: [u8; 3],
    imsc: u16,
    _reserved9: [u8; 2],
    ris: u16,
    _reserved10: [u8; 2],
    mis: u16,
    _reserved11: [u8; 2],
    icr: u16,
    _reserved12: [u8; 2],
    dmacr: u8,
    _reserved13: [u8; 3],
}
// ANCHOR_END: Registers

// ANCHOR: Uart
/// Driver for a PL011 UART.
pub struct Uart {
    registers: *mut Registers,
}

impl Uart {
    /// Constructs a new instance of the UART driver for a PL011 device at the
    /// given base address.
    ///
```

```
    /// # Safety
    ///
    /// The given base address must point to the MMIO control registers of a
    /// PL011 device, which must be mapped into the address space of the process
    /// as device memory and not have any other aliases.
    pub unsafe fn new(base_address: *mut u32) -> Self {
        Self { registers: base_address as *mut Registers }
    }

    /// Writes a single byte to the UART.
    pub fn write_byte(&self, byte: u8) {
        // Wait until there is room in the TX buffer.
        while self.read_flag_register().contains(Flags::TXFF) {}

        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL011 device which is appropriately mapped.
        unsafe {
            // Write to the TX buffer.
            addr_of_mut!((*self.registers).dr).write_volatile(byte.into());
        }

        // Wait until the UART is no longer busy.
        while self.read_flag_register().contains(Flags::BUSY) {}
    }

    /// Reads and returns a pending byte, or `None` if nothing has been
    /// received.
    pub fn read_byte(&self) -> Option<u8> {
        if self.read_flag_register().contains(Flags::RXFE) {
            None
        } else {
            // SAFETY: We know that self.registers points to the control
            // registers of a PL011 device which is appropriately mapped.
            let data = unsafe { addr_of!((*self.registers).dr).read_volatile() };
            // TODO: Check for error conditions in bits 8-11.
            Some(data as u8)
        }
    }

    fn read_flag_register(&self) -> Flags {
        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL011 device which is appropriately mapped.
        unsafe { addr_of!((*self.registers).fr).read_volatile() }
    }
}
// ANCHOR_END: Uart

impl Write for Uart {
    fn write_str(&mut self, s: &str) -> fmt::Result {
        for c in s.as_bytes() {
            self.write_byte(*c);
```

```
        }
        Ok(())
    }
}

// Safe because it just contains a pointer to device memory, which can be
// accessed from any context.
unsafe impl Send for Uart {}
```

Cargo.toml (você não deve precisar alterar isso):

```
[workspace]

[package]
name = "rtc"
version = "0.1.0"
edition = "2021"
publish = false

[dependencies]
arm-gic = "0.1.0"
bitflags = "2.6.0"
chrono = { version = "0.4.38", default-features = false }
log = "0.4.22"
smccc = "0.1.1"
spin = "0.9.8"

[build-dependencies]
cc = "1.0.105"
```

build.rs (você não deverá precisar alterar isso):

```
// Copyright 2023 Google LLC
//
// Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
// you may not use this file except in compliance with the License.
// You may obtain a copy of the License at
//
//      http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
//
// Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
// distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
// WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
// See the License for the specific language governing permissions and
// limitations under the License.

use cc::Build;
use std::env;

fn main() {
    env::set_var("CROSS_COMPILE", "aarch64-linux-gnu");
    env::set_var("CROSS_COMPILE", "aarch64-none-elf");
```

```
    Build::new()
        .file("entry.S")
        .file("exceptions.S")
        .file("idmap.S")
        .compile("empty")
}
```

entry.S (você não deverá precisar alterar isso):

```
/*
 * Copyright 2023 Google LLC
 *
 * Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
 * you may not use this file except in compliance with the License.
 * You may obtain a copy of the License at
 *
 *     https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
 *
 * Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
 * distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
 * WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
 * See the License for the specific language governing permissions and
 * limitations under the License.
 */

.macro adr_l, reg:req, sym:req
    adrp \reg, \sym
    add \reg, \reg, :lo12:\sym
.endm

.macro mov_i, reg:req, imm:req
    movz \reg, :abs_g3:\imm
    movk \reg, :abs_g2_nc:\imm
    movk \reg, :abs_g1_nc:\imm
    movk \reg, :abs_g0_nc:\imm
.endm

.set .L_MAIR_DEV_nGnRE, 0x04
.set .L_MAIR_MEM_WBWA,  0xff
.set .Lmairval, .L_MAIR_DEV_nGnRE | (.L_MAIR_MEM_WBWA << 8)

/* 4 KiB granule size for TTBR0_EL1. */
.set .L_TCR_TG0_4KB, 0x0 << 14
/* 4 KiB granule size for TTBR1_EL1. */
.set .L_TCR_TG1_4KB, 0x2 << 30
/* Disable translation table walk for TTBR1_EL1, generating a translation fault instead
.set .L_TCR_EPD1, 0x1 << 23
/* Translation table walks for TTBR0_EL1 are inner sharable. */
.set .L_TCR_SH_INNER, 0x3 << 12
/*
 * Translation table walks for TTBR0_EL1 are outer write-back read-allocate write-alloca
 * cacheable.
```

```
 */
.set .L_TCR_RGN_OWB, 0x1 << 10
/*
 * Translation table walks for TTBR0_EL1 are inner write-back read-allocate write-alloca
 * cacheable.
 */
.set .L_TCR_RGN_IWB, 0x1 << 8
/* Size offset for TTBR0_EL1 is 2**39 bytes (512 GiB). */
.set .L_TCR_T0SZ_512, 64 - 39
.set .Ltcrval, .L_TCR_TG0_4KB | .L_TCR_TG1_4KB | .L_TCR_EPD1 | .L_TCR_RGN_OWB
.set .Ltcrval, .Ltcrval | .L_TCR_RGN_IWB | .L_TCR_SH_INNER | .L_TCR_T0SZ_512

/* Stage 1 instruction access cacheability is unaffected. */
.set .L_SCTLR_ELx_I, 0x1 << 12
/* SP alignment fault if SP is not aligned to a 16 byte boundary. */
.set .L_SCTLR_ELx_SA, 0x1 << 3
/* Stage 1 data access cacheability is unaffected. */
.set .L_SCTLR_ELx_C, 0x1 << 2
/* EL0 and EL1 stage 1 MMU enabled. */
.set .L_SCTLR_ELx_M, 0x1 << 0
/* Privileged Access Never is unchanged on taking an exception to EL1. */
.set .L_SCTLR_EL1_SPAN, 0x1 << 23
/* SETEND instruction disabled at EL0 in aarch32 mode. */
.set .L_SCTLR_EL1_SED, 0x1 << 8
/* Various IT instructions are disabled at EL0 in aarch32 mode. */
.set .L_SCTLR_EL1_ITD, 0x1 << 7
.set .L_SCTLR_EL1_RES1, (0x1 << 11) | (0x1 << 20) | (0x1 << 22) | (0x1 << 28) | (0x1 <<
.set .Lsctlrval, .L_SCTLR_ELx_M | .L_SCTLR_ELx_C | .L_SCTLR_ELx_SA | .L_SCTLR_EL1_ITD |
.set .Lsctlrval, .Lsctlrval | .L_SCTLR_ELx_I | .L_SCTLR_EL1_SPAN | .L_SCTLR_EL1_RES1

/**
 * This is a generic entry point for an image. It carries out the operations required to
 * loaded image to be run. Specifically, it zeroes the bss section using registers x25 a
 * prepares the stack, enables floating point, and sets up the exception vector. It pres
 * for the Rust entry point, as these may contain boot parameters.
 */
.section .init.entry, "ax"
.global entry
entry:
    /* Load and apply the memory management configuration, ready to enable MMU and cache
    adrp x30, idmap
    msr ttbr0_el1, x30

    mov_i x30, .Lmairval
    msr mair_el1, x30

    mov_i x30, .Ltcrval
    /* Copy the supported PA range into TCR_EL1.IPS. */
    mrs x29, id_aa64mmfr0_el1
    bfi x30, x29, #32, #4
```

```
    msr tcr_el1, x30

    mov_i x30, .Lsctlrval

    /*
     * Ensure everything before this point has completed, then invalidate any potentiall
     * local TLB entries before they start being used.
     */
    isb
    tlbi vmalle1
    ic iallu
    dsb nsh
    isb

    /*
     * Configure sctlr_el1 to enable MMU and cache and don't proceed until this has comp
     */
    msr sctlr_el1, x30
    isb

    /* Disable trapping floating point access in EL1. */
    mrs x30, cpacr_el1
    orr x30, x30, #(0x3 << 20)
    msr cpacr_el1, x30
    isb

    /* Zero out the bss section. */
    adr_l x29, bss_begin
    adr_l x30, bss_end
0:  cmp x29, x30
    b.hs 1f
    stp xzr, xzr, [x29], #16
    b 0b

1:  /* Prepare the stack. */
    adr_l x30, boot_stack_end
    mov sp, x30

    /* Set up exception vector. */
    adr x30, vector_table_el1
    msr vbar_el1, x30

    /* Call into Rust code. */
    bl main

    /* Loop forever waiting for interrupts. */
2:  wfi
    b 2b
```

exceptions.S (você não deverá precisar alterar isso):

```
/*
```

```
 * Copyright 2023 Google LLC
 *
 * Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
 * you may not use this file except in compliance with the License.
 * You may obtain a copy of the License at
 *
 *     https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
 *
 * Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
 * distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
 * WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
 * See the License for the specific language governing permissions and
 * limitations under the License.
 */

/**
 * Saves the volatile registers onto the stack. This currently takes 14
 * instructions, so it can be used in exception handlers with 18 instructions
 * left.
 *
 * On return, x0 and x1 are initialised to elr_el2 and spsr_el2 respectively,
 * which can be used as the first and second arguments of a subsequent call.
 */
.macro save_volatile_to_stack
    /* Reserve stack space and save registers x0-x18, x29 & x30. */
    stp x0, x1, [sp, #-(8 * 24)]!
    stp x2, x3, [sp, #8 * 2]
    stp x4, x5, [sp, #8 * 4]
    stp x6, x7, [sp, #8 * 6]
    stp x8, x9, [sp, #8 * 8]
    stp x10, x11, [sp, #8 * 10]
    stp x12, x13, [sp, #8 * 12]
    stp x14, x15, [sp, #8 * 14]
    stp x16, x17, [sp, #8 * 16]
    str x18, [sp, #8 * 18]
    stp x29, x30, [sp, #8 * 20]

    /*
     * Save elr_el1 & spsr_el1. This such that we can take nested exception
     * and still be able to unwind.
     */
    mrs x0, elr_el1
    mrs x1, spsr_el1
    stp x0, x1, [sp, #8 * 22]
.endm

/**
 * Restores the volatile registers from the stack. This currently takes 14
 * instructions, so it can be used in exception handlers while still leaving 18
 * instructions left; if paired with save_volatile_to_stack, there are 4
 * instructions to spare.
```

```
 */
.macro restore_volatile_from_stack
    /* Restore registers x2-x18, x29 & x30. */
    ldp x2, x3, [sp, #8 * 2]
    ldp x4, x5, [sp, #8 * 4]
    ldp x6, x7, [sp, #8 * 6]
    ldp x8, x9, [sp, #8 * 8]
    ldp x10, x11, [sp, #8 * 10]
    ldp x12, x13, [sp, #8 * 12]
    ldp x14, x15, [sp, #8 * 14]
    ldp x16, x17, [sp, #8 * 16]
    ldr x18, [sp, #8 * 18]
    ldp x29, x30, [sp, #8 * 20]

    /* Restore registers elr_el1 & spsr_el1, using x0 & x1 as scratch. */
    ldp x0, x1, [sp, #8 * 22]
    msr elr_el1, x0
    msr spsr_el1, x1

    /* Restore x0 & x1, and release stack space. */
    ldp x0, x1, [sp], #8 * 24
.endm

/**
 * This is a generic handler for exceptions taken at the current EL while using
 * SP0. It behaves similarly to the SPx case by first switching to SPx, doing
 * the work, then switching back to SP0 before returning.
 *
 * Switching to SPx and calling the Rust handler takes 16 instructions. To
 * restore and return we need an additional 16 instructions, so we can implement
 * the whole handler within the allotted 32 instructions.
 */
.macro current_exception_sp0 handler:req
    msr spsel, #1
    save_volatile_to_stack
    bl \handler
    restore_volatile_from_stack
    msr spsel, #0
    eret
.endm

/**
 * This is a generic handler for exceptions taken at the current EL while using
 * SPx. It saves volatile registers, calls the Rust handler, restores volatile
 * registers, then returns.
 *
 * This also works for exceptions taken from EL0, if we don't care about
 * non-volatile registers.
 *
 * Saving state and jumping to the Rust handler takes 15 instructions, and
 * restoring and returning also takes 15 instructions, so we can fit the whole
```

```
 * handler in 30 instructions, under the limit of 32.
 */
.macro current_exception_spx handler:req
    save_volatile_to_stack
    bl \handler
    restore_volatile_from_stack
    eret
.endm

.section .text.vector_table_el1, "ax"
.global vector_table_el1
.balign 0x800
vector_table_el1:
sync_cur_sp0:
    current_exception_sp0 sync_exception_current

.balign 0x80
irq_cur_sp0:
    current_exception_sp0 irq_current

.balign 0x80
fiq_cur_sp0:
    current_exception_sp0 fiq_current

.balign 0x80
serr_cur_sp0:
    current_exception_sp0 serr_current

.balign 0x80
sync_cur_spx:
    current_exception_spx sync_exception_current

.balign 0x80
irq_cur_spx:
    current_exception_spx irq_current

.balign 0x80
fiq_cur_spx:
    current_exception_spx fiq_current

.balign 0x80
serr_cur_spx:
    current_exception_spx serr_current

.balign 0x80
sync_lower_64:
    current_exception_spx sync_lower

.balign 0x80
irq_lower_64:
    current_exception_spx irq_lower
```

```
.balign 0x80
fiq_lower_64:
    current_exception_spx fiq_lower

.balign 0x80
serr_lower_64:
    current_exception_spx serr_lower

.balign 0x80
sync_lower_32:
    current_exception_spx sync_lower

.balign 0x80
irq_lower_32:
    current_exception_spx irq_lower

.balign 0x80
fiq_lower_32:
    current_exception_spx fiq_lower

.balign 0x80
serr_lower_32:
    current_exception_spx serr_lower
```

idmap.S (você não deverá precisar alterar isso):

```
/*
 * Copyright 2023 Google LLC
 *
 * Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
 * you may not use this file except in compliance with the License.
 * You may obtain a copy of the License at
 *
 *     https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
 *
 * Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
 * distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
 * WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
 * See the License for the specific language governing permissions and
 * limitations under the License.
 */

.set .L_TT_TYPE_BLOCK, 0x1
.set .L_TT_TYPE_PAGE,  0x3
.set .L_TT_TYPE_TABLE, 0x3

/* Access flag. */
.set .L_TT_AF, 0x1 << 10
/* Not global. */
.set .L_TT_NG, 0x1 << 11
.set .L_TT_XN, 0x3 << 53
```

```
.set .L_TT_MT_DEV, 0x0 << 2         // MAIR #0 (DEV_nGnRE)
.set .L_TT_MT_MEM, (0x1 << 2) | (0x3 << 8)  // MAIR #1 (MEM_WBWA), inner shareable

.set .L_BLOCK_DEV, .L_TT_TYPE_BLOCK | .L_TT_MT_DEV | .L_TT_AF | .L_TT_XN
.set .L_BLOCK_MEM, .L_TT_TYPE_BLOCK | .L_TT_MT_MEM | .L_TT_AF | .L_TT_NG

.section ".rodata.idmap", "a", %progbits
.global idmap
.align 12
idmap:
    /* level 1 */
    .quad       .L_BLOCK_DEV | 0x0          // 1 GiB of device mappings
    .quad       .L_BLOCK_MEM | 0x40000000   // 1 GiB of DRAM
    .fill       254, 8, 0x0         // 254 GiB of unmapped VA space
    .quad       .L_BLOCK_DEV | 0x4000000000 // 1 GiB of device mappings
    .fill       255, 8, 0x0         // 255 GiB of remaining VA space
```

image.ld (você não deverá precisar alterar isso):

```
/*
 * Copyright 2023 Google LLC
 *
 * Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
 * you may not use this file except in compliance with the License.
 * You may obtain a copy of the License at
 *
 *     https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
 *
 * Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
 * distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
 * WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
 * See the License for the specific language governing permissions and
 * limitations under the License.
 */

/*
 * Code will start running at this symbol which is placed at the start of the
 * image.
 */
ENTRY(entry)

MEMORY
{
    image : ORIGIN = 0x40080000, LENGTH = 2M
}

SECTIONS
{
    /*
     * Collect together the code.
     */
```

```
.init : ALIGN(4096) {
    text_begin = .;
    *(.init.entry)
    *(.init.*)
} >image
.text : {
    *(.text.*)
} >image
text_end = .;

/*
 * Collect together read-only data.
 */
.rodata : ALIGN(4096) {
    rodata_begin = .;
    *(.rodata.*)
} >image
.got : {
    *(.got)
} >image
rodata_end = .;

/*
 * Collect together the read-write data including .bss at the end which
 * will be zero'd by the entry code.
 */
.data : ALIGN(4096) {
    data_begin = .;
    *(.data.*)
    /*
     * The entry point code assumes that .data is a multiple of 32
     * bytes long.
     */
    . = ALIGN(32);
    data_end = .;
} >image

/* Everything beyond this point will not be included in the binary. */
bin_end = .;

/* The entry point code assumes that .bss is 16-byte aligned. */
.bss : ALIGN(16)  {
    bss_begin = .;
    *(.bss.*)
    *(COMMON)
    . = ALIGN(16);
    bss_end = .;
} >image

.stack (NOLOAD) : ALIGN(4096) {
    boot_stack_begin = .;
```

```
        . += 40 * 4096;
        . = ALIGN(4096);
        boot_stack_end = .;
    } >image

    . = ALIGN(4K);
    PROVIDE(dma_region = .);

    /*
     * Remove unused sections from the image.
     */
    /DISCARD/ : {
        /* The image loads itself so doesn't need these sections. */
        *(.gnu.hash)
        *(.hash)
        *(.interp)
        *(.eh_frame_hdr)
        *(.eh_frame)
        *(.note.gnu.build-id)
    }
}
```

Makefile (você não deverá precisar alterar isso):

```
# Copyright 2023 Google LLC
#
# Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
# you may not use this file except in compliance with the License.
# You may obtain a copy of the License at
#
#      http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
#
# Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
# distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
# WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
# See the License for the specific language governing permissions and
# limitations under the License.

UNAME := $(shell uname -s)
ifeq ($(UNAME),Linux)
    TARGET = aarch64-linux-gnu
else
    TARGET = aarch64-none-elf
endif
OBJCOPY = $(TARGET)-objcopy

.PHONY: build qemu_minimal qemu qemu_logger

all: rtc.bin

build:
    cargo build
```

```
rtc.bin: build
    $(OBJCOPY) -O binary target/aarch64-unknown-none/debug/rtc $@

qemu: rtc.bin
    qemu-system-aarch64 -machine virt,gic-version=3 -cpu max -serial mon:stdio -display

clean:
    cargo clean
    rm -f *.bin
```

.cargo/config.toml (você não deve precisar alterar isso):

```
[build]
target = "aarch64-unknown-none"
rustflags = ["-C", "link-arg=-Timage.ld"]
```

Execute o código no QEMU com `make qemu`.

56.2 Bare Metal Rust Tarde

Driver RTC

(voltar ao exercício)

main.rs:

```
mod exceptions;
mod logger;
mod pl011;
mod pl031;

use crate::pl031::Rtc;
use arm_gic::gicv3::{IntId, Trigger};
use arm_gic::{irq_enable, wfi};
use chrono::{TimeZone, Utc};
use core::hint::spin_loop;
use crate::pl011::Uart;
use arm_gic::gicv3::GicV3;
use core::panic::PanicInfo;
use log::{error, info, trace, LevelFilter};
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;

/// Endereços base do GICv3.
const GICD_BASE_ADDRESS: *mut u64 = 0x800_0000 as _;
const GICR_BASE_ADDRESS: *mut u64 = 0x80A_0000 as _;

/// Endereço base do UART PL011 primário.
const PL011_BASE_ADDRESS: *mut u32 = 0x900_0000 as _;
```

```
/// Endereço base do RTC PL031.
const PL031_BASE_ADDRESS: *mut u32 = 0x901_0000 as _;
/// O IRQ usado pelo RTC PL031.
const PL031_IRQ: IntId = IntId::spi(2);

extern "C" fn main(x0: u64, x1: u64, x2: u64, x3: u64) {
    // SEGURANÇA: `PL011_BASE_ADDRESS` é o endereço base de um dispositivo PL011,
    // e mais nada acessa esse intervalo de endereços.
    let uart = unsafe { Uart::new(PL011_BASE_ADDRESS) };
    logger::init(uart, LevelFilter::Trace).unwrap();

    info!("main({:#x}, {:#x}, {:#x}, {:#x})", x0, x1, x2, x3);

    // SEGURANÇA: `GICD_BASE_ADDRESS` e `GICR_BASE_ADDRESS` são os endereços
    // base de um distribuidor e redistribuidor GICv3, respectivamente, e mais
    // nada acessa esses intervalos de endereços.
    let mut gic = unsafe { GicV3::new(GICD_BASE_ADDRESS, GICR_BASE_ADDRESS) };
    gic.setup();

    // SEGURANÇA: `PL031_BASE_ADDRESS` é o endereço base de um dispositivo PL031,
    // e nada mais acessa esse intervalo de endereços.
    let mut rtc = unsafe { Rtc::new(PL031_BASE_ADDRESS) };
    let timestamp = rtc.read();
    let time = Utc.timestamp_opt(timestamp.into(), 0).unwrap();
    info!("RTC: {time}");

    GicV3::set_priority_mask(0xff);
    gic.set_interrupt_priority(PL031_IRQ, 0x80);
    gic.set_trigger(PL031_IRQ, Trigger::Level);
    irq_enable();
    gic.enable_interrupt(PL031_IRQ, true);

    // Espere por 3 segundos, sem interrupções.
    let target = timestamp + 3;
    rtc.set_match(target);
    info!("Esperando por {}", Utc.timestamp_opt(target.into(), 0).unwrap());
    trace!(
        "matched={}, interrupt_pending={}",
        rtc.matched(),
        rtc.interrupt_pending()
    );
    while !rtc.matched() {
        spin_loop();
    }
    trace!(
        "matched={}, interrupt_pending={}",
        rtc.matched(),
        rtc.interrupt_pending()
    );
    info!("Espera finalizada");
```

```
    // Espere mais 3 segundos por uma interrupção.
    let target = timestamp + 6;
    info!("Esperando por {}", Utc.timestamp_opt(target.into(), 0).unwrap());
    rtc.set_match(target);
    rtc.clear_interrupt();
    rtc.enable_interrupt(true);
    trace!(
        "matched={}, interrupt_pending={}",
        rtc.matched(),
        rtc.interrupt_pending()
    );
    while !rtc.interrupt_pending() {
        wfi();
    }
    trace!(
        "matched={}, interrupt_pending={}",
        rtc.matched(),
        rtc.interrupt_pending()
    );
    info!("Espera finalizada");

    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

fn panic(info: &PanicInfo) -> ! {
    error!("{info}");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
    loop {}
}
```

pl031.rs:

```
use core::ptr::{addr_of, addr_of_mut};

struct Registers {
    /// Registrador de dados
    dr: u32,
    /// Registrador de comparação
    mr: u32,
    /// Registrador de carga
    lr: u32,
    /// Registrador de controle
    cr: u8,
    _reserved0: [u8; 3],
    /// Registrador de máscara de interrupção ou registrador de limpeza
    imsc: u8,
    _reserved1: [u8; 3],
    /// Status de interrupção bruto
    ris: u8,
    _reserved2: [u8; 3],
    /// Status de interrupção mascarado
    mis: u8,
```

```
    _reserved3: [u8; 3],
    /// Registrador de limpeza de interrupção
    icr: u8,
    _reserved4: [u8; 3],
}

/// Driver para um relógio de tempo real PL031.
pub struct Rtc {
    registers: *mut Registers,
}

impl Rtc {
    /// Constrói uma nova instância do driver RTC para um dispositivo PL031 no endereço
    /// base fornecido.
    ///
    /// # Segurança
    ///
    /// O endereço base fornecido deve apontar para os registradores de controle MMIO de
    /// dispositivo PL031, que deve ser mapeado no espaço de endereços do processo
    /// como memória de dispositivo e não ter nenhum outro alias.
    pub unsafe fn new(base_address: *mut u32) -> Self {
        Self { registers: base_address as *mut Registers }
    }

    /// Lê o valor atual do RTC.
    pub fn read(&self) -> u32 {
        // SEGURANÇA: Sabemos que self.registers aponta para os registradores de control
        // de um dispositivo PL031 que está mapeado adequadamente.
        unsafe { addr_of!((*self.registers).dr).read_volatile() }
    }

    /// Escreve um valor de comparação. Quando o valor do RTC corresponde a este, então
    /// será gerada (se estiver habilitada).
    pub fn set_match(&mut self, value: u32) {
        // SEGURANÇA: Sabemos que self.registers aponta para os registradores de control
        // de um dispositivo PL031 que está mapeado adequadamente.
        unsafe { addr_of_mut!((*self.registers).mr).write_volatile(value) }
    }

    /// Retorna se o registrador de comparação corresponde ao valor do RTC, habilitada o
    /// a interrupção.
    pub fn matched(&self) -> bool {
        // SEGURANÇA: Sabemos que self.registers aponta para os registradores de control
        // de um dispositivo PL031 que está mapeado adequadamente.
        let ris = unsafe { addr_of!((*self.registers).ris).read_volatile() };
        (ris & 0x01) != 0
    }

    /// Retorna se há uma interrupção pendente no momento.
    ///
    /// Isso deve ser verdadeiro se e somente se `matched` retornar verdadeiro e a
```

```
    /// interrupção está mascarada.
    pub fn interrupt_pending(&self) -> bool {
        // SEGURANÇA: Sabemos que self.registers aponta para os registradores de control
        // de um dispositivo PL031 que está mapeado adequadamente.
        let ris = unsafe { addr_of!((*self.registers).mis).read_volatile() };
        (ris & 0x01) != 0
    }

    /// Define ou limpa a máscara de interrupção.
    ///
    /// Quando a máscara é verdadeira, a interrupção é habilitada; quando é falsa
    /// a interrupção é desabilitada.
    pub fn enable_interrupt(&mut self, mask: bool) {
        let imsc = if mask { 0x01 } else { 0x00 };
        // SEGURANÇA: Sabemos que self.registers aponta para os registradores de control
        // de um dispositivo PL031 que está mapeado adequadamente.
        unsafe { addr_of_mut!((*self.registers).imsc).write_volatile(imsc) }
    }

    /// Limpa uma interrupção pendente, se houver.
    pub fn clear_interrupt(&mut self) {
        // SEGURANÇA: Sabemos que self.registers aponta para os registradores de control
        // de um dispositivo PL031 que está mapeado adequadamente.
        unsafe { addr_of_mut!((*self.registers).icr).write_volatile(0x01) }
    }
}

// SEGURANÇA: `Rtc` contém apenas um ponteiro para memória de dispositivo, que pode ser
// acessado de qualquer contexto.
unsafe impl Send for Rtc {}
```

Parte XIII

Concorrência: Manhã

Capítulo 57

Bem-vindos à Concorrência em Rust

Rust tem suporte completo para concorrência usando *threads* do SO com *mutexes* e *channels* (canais).

O sistema de tipos do Rust desempenha um papel importante, convertendo muitos erros de concorrência em erros em tempo de compilação. Isso geralmente é chamado de *concorrência sem medo*, pois você pode confiar no compilador para garantir a exatidão em tempo de execução.

Agenda

Including 10 minute breaks, this session should take about 3 hours and 20 minutes. It contains:

Segment	Duration
Threads	30 minutes
Canais (Channels)	20 minutes
Send e Sync	15 minutes
Estado Compartilhado	30 minutes
Exercícios	1 hour and 10 minutes

- Rust nos permite acessar o conjunto de ferramentas de concorrência do SO: *threads*, primitivas de sincronização, etc.
- O sistema de tipos nos dá segurança para concorrência sem nenhum recurso especial.
- As mesmas ferramentas que ajudam com acesso ”concorrente” em uma única *thread* (por exemplo, uma função chamada que pode mutar um argumento ou salvar referências a ele para ler mais tarde) nos poupam de problemas de multi-threading.

Capítulo 58

Threads

This segment should take about 30 minutes. It contains:

Slide	Duration
Threads Simples	15 minutes
Threads com Escopo	15 minutes

58.1 Threads Simples

Threads em Rust funcionam de maneira semelhante às *threads* em outras linguagens:

```
use std::thread;
use std::time::Duration;

fn main() {
    thread::spawn(|| {
        for i in 1..10 {
            println!("Contagem na _thread_: {i}!");
            thread::sleep(Duration::from_millis(5));
        }
    });

    for i in 1..5 {
        println!("_Thread_ principal: {i}");
        thread::sleep(Duration::from_millis(5));
    }
}
```

- *Threads* são todas "*daemon threads*", a *thread* principal não espera por elas.
- "*Panics*" em *threads* são independentes uns dos outros.
  - "*Panics*" podem carregar um *payload* (carga útil), que pode ser descompactado com `downcast_ref`.
- As APIs de *threads* do Rust não parecem muito diferentes das de C++.

- Execute o exemplo.
  - O tempo de 5ms é suficientemente folgado para que a *thread* principal e as *threads* filhas permaneçam principalmente em sincronia.
  - Observe que o programa termina antes que a *thread* filha alcance 10!
  - Isso ocorre porque o *main* termina o programa e as *threads* filhas não o mantêm.
    * Compare com pthreads/C++ std::thread/boost::thread se desejar.
- Como esperamos a *thread* filha terminar?
- `thread::spawn` retorna um `JoinHandle`. Veja a documentação.
  - `JoinHandle` tem um método `.join()` bloqueante.
- Use `let handle = thread::spawn(...)` e depois `handle.join()` para esperar que a *thread* termine e fazer o programa contar até 10.
- Agora, e se quisermos retornar um valor?
- Olhe a documentação novamente:
  - O encerramento de `thread::spawn` retorna `T`
  - `JoinHandle` `.join()` retorna `thread::Result<T>`
- Use o valor de retorno `Result` de `handle.join()` para obter acesso ao valor retornado.
- Ok, e quanto ao outro caso?
  - Dispare um *panic* na *thread*. Observe como isso não afeta `main`.
  - Acessa o *payload* do *panic*. Este é um bom momento para falar sobre `Any`.
- Agora podemos retornar valores de *threads*! E quanto a receber entradas?
  - Capture algo por referência no encerramento da *thread*.
  - Uma mensagem de erro indica que devemos movê-lo.
  - Mova-o, veja que podemos calcular e depois retornar um valor derivado.
- E se quisermos emprestar?
  - O *main* mata as *threads* filhas quando retorna, mas outra função apenas retornaria e as deixaria em execução.
  - Isso seria acesso após retorno da pilha, o que viola a segurança de memória!
  - Como evitamos isso? Veja o próximo slide.

58.2 Threads com Escopo

Threads normais não podem emprestar de seu ambiente:

```
use std::thread;

fn foo() {
    let s = String::from("Olá");
    thread::spawn(|| {
        println!("Comprimento: {}", s.len());
    });
}

fn main() {
```

```
    foo();
}
```

No entanto, você pode usar uma *thread* com escopo para isso:

```
use std::thread;

fn main() {
    let s = String::from("Olá");

    thread::scope(|scope| {
        scope.spawn(|| {
            println!("Comprimento: {}", s.len());
        });
    });
}
```

- A razão para isso é que, quando a função `thread::scope` for concluída, todas as *threads* serão unidas, para que possam retornar dados emprestados.
- As regras normais de empréstimo do Rust se aplicam: você pode emprestar mutavelmente por uma *thread*, ou imutavelmente por qualquer número de *threads*.

Capítulo 59

Canais (Channels)

This segment should take about 20 minutes. It contains:

Slide	Duration
Transmissores e Receptores	10 minutes
Canais Ilimitados	2 minutes
Canais Delimitados	10 minutes

59.1 Transmissores e Receptores

Os *channels* (canais) em Rust têm duas partes: um `Sender<T>` e um `Receiver<T>`. As duas partes estão conectadas através do *channel*, mas você só vê os *end-points*.

```
use std::sync::mpsc;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel();

    tx.send(10).unwrap();
    tx.send(20).unwrap();

    println!("Recebido: {:?}", rx.recv());
    println!("Recebido: {:?}", rx.recv());

    let tx2 = tx.clone();
    tx2.send(30).unwrap();
    println!("Recebido: {:?}", rx.recv());
}
```

- `mpsc` significa Multi-Produtor, Único-Consumidor. `Sender` e `SyncSender` implementam `Clone` (então você pode criar vários produtores), mas `Receiver` (consumidores) não.
- `send()` e `recv()` retornam `Result`. Se retornarem `Err`, significa que a contraparte `Sender` ou `Receiver` é descartada e o canal é fechado.

59.2 Canais Ilimitados

Você obtém um canal ilimitado e assíncrono com `mpsc::channel()`:

```
use std::sync::mpsc;
use std::thread;
use std::time::Duration;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel();

    thread::spawn(move || {
        let thread_id = thread::current().id();
        for i in 1..10 {
            tx.send(format!("Mensagem {i}")).unwrap();
            println!("{thread_id:?}: Mensagem {i} enviada");
        }
        println!("{thread_id:?}: terminado");
    });
    thread::sleep(Duration::from_millis(100));

    for msg in rx.iter() {
        println!("Main: obteve {msg}");
    }
}
```

59.3 Canais Delimitados

Com canais limitados e síncronos, `send` pode bloquear a *thread* atual:

```
use std::sync::mpsc;
use std::thread;
use std::time::Duration;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::sync_channel(3);

    thread::spawn(move || {
        let thread_id = thread::current().id();
        for i in 1..10 {
            tx.send(format!("Mensagem {i}")).unwrap();
            println!("{thread_id:?}: Mensagem {i} enviada");
        }
        println!("{thread_id:?}: terminado");
    });
    thread::sleep(Duration::from_millis(100));

    for msg in rx.iter() {
        println!("Main: obteve {msg}");
    }
}
```

- Chamar `send` bloqueará a *thread* atual até que haja espaço no canal para a nova mensagem. A *thread* pode ser bloqueada indefinidamente se não houver ninguém que leia do canal.
- Uma chamada para `send` será abortada com um erro (é por isso que retorna `Result`) se o canal estiver fechado. Um canal é fechado quando o receptor é descartado.
- Um canal limitado com um tamanho de zero é chamado de ”canal de encontro”. Cada envio bloqueará a *thread* atual até que outra *thread* chame `recv`.

Capítulo 60

Send e Sync

This segment should take about 15 minutes. It contains:

Slide	Duration
Traits Marker	2 minutes
Send	2 minutes
Sync	2 minutes
Exemplos	10 minutes

60.1 Traits Marker

Como o Rust sabe proibir o acesso compartilhado entre threads? A resposta está em dois *traits*:

- Send: um tipo T é Send se for seguro mover um T entre *threads*
- Sync: um tipo T é Sync se for seguro mover um &T entre *threads*

Send e Sync são *unsafe traits*. O compilador os derivará automaticamente para seus tipos desde que contenham apenas os tipos Send e Sync. Você também pode implementá-los manualmente quando souber que são válidos.

- Pode-se pensar nesses *traits* como marcadores de que o tipo possui certas propriedades de segurança de *threads*.
- Eles podem ser usados nas restrições genéricas como *traits* normais.

60.2 Send

> Um tipo T é Send se for seguro mover um valor T para outro *thread*.

O efeito de mover a propriedade (ownership) para outro *thread* é que os *destructors* serão executados nessa *thread*. Então a questão é: quando você pode alocar um valor em um *thread* e desalocá-lo em outro?

Como exemplo, uma conexão com a biblioteca SQLite só pode ser acessada de um único *thread*.

60.3 Sync

> Um tipo `T` é Sync se for seguro acessar um valor `T` de várias threads ao mesmo tempo.

Mais precisamente, a definição é:

> `T` é `Sync` se e somente se `&T` é `Send`

Essa instrução é essencialmente uma maneira abreviada de dizer que, se um tipo é *thread-safe* para uso compartilhado, também é *thread-safe* passar referências a ele entre *threads*.

Isso ocorre porque, se um tipo for `Sync`, significa que ele pode ser compartilhado entre vários *threads* sem o risco de corridas de dados ou outros problemas de sincronização, portanto, é seguro movê-lo para outro *thread*. Uma referência ao tipo também é segura para mover para outro *thread*, porque os dados a que ela faz referência podem ser acessados de qualquer *thread* com segurança.

60.4 Exemplos

`Send + Sync`

A maioria dos tipos que você encontra são `Send + Sync`:

- `i8`, `f32`, `bool`, `char`, `&str`, ...
- `(T1, T2)`, `[T; N]`, `&[T]`, `struct { x: T }`, ...
- `String`, `Option<T>`, `Vec<T>`, `Box<T>`, ...
- `Arc<T>`: Explicitamente *thread-safe* via contagem de referência atômica.
- `Mutex<T>`: Explicitamente *thread-safe* via bloqueio interno.
- `mpsc::Sender<T>`: As of 1.72.0.
- `AtomicBool`, `AtomicU8`, ...: Usa instruções atômicas especiais.

Os tipos genéricos são tipicamente `Send + Sync` quando os parâmetros de tipo são `Send + Sync`.

`Send + !Sync`

Esses tipos podem ser movidos para outras *threads*, mas não são seguros para *threads*. Normalmente por causa da mutabilidade interior:

- `mpsc::Receiver<T>`
- `Cell<T>`
- `RefCell<T>`

`!Send + Sync`

Esses tipos são *thread-safe*, mas não podem ser movidos para outro *thread*:

- `MutexGuard<T>`: Usa primitivas a nível de sistema operacional que devem ser desalocadas no *thread* que as criou.

`!Send + !Sync`

Esses tipos não são *thread-safe* e não podem ser movidos para outros *threads*:

- `Rc<T>`: cada `Rc<T>` tem uma referência a um `RcBox<T>`, que contém uma contagem de referência não atômica.
- `*const T`, `*mut T`: Rust assume que ponteiros brutos podem ter considerações de especiais de concorrência.

Capítulo 61

Estado Compartilhado

This segment should take about 30 minutes. It contains:

Slide	Duration
Arc	5 minutes
Mutex	15 minutes
Exemplo	10 minutes

61.1 `Arc`

`Arc<T>` permite acesso somente-leitura compartilhado por meio de `Arc::clone`:

```
use std::sync::Arc;
use std::thread;

fn main() {
    let v = Arc::new(vec![10, 20, 30]);
    let mut handles = Vec::new();
    for _ in 1..5 {
        let v = Arc::clone(&v);
        handles.push(thread::spawn(move || {
            let thread_id = thread::current().id();
            println!("{thread_id:?}: {v:?}");
        }));
    }

    handles.into_iter().for_each(|h| h.join().unwrap());
    println!("v: {v:?}");
}
```

- `Arc` significa ”Atomic Reference Counted”, uma versão *thread-safe* de `Rc` que usa operações atômicas.
- `Arc<T>` implementa `Clone` quer `T` o faça ou não. Ele implementa `Send` e `Sync` se e somente se `T` implementa os dois.

- `Arc::clone()` tem o custo das operações atômicas que são executadas, mas depois disso o uso do `T` é gratuito.
- Cuidado com os ciclos de referência, `Arc` não usa um coletor de lixo para detectá-los.
  - `std::sync::Weak` pode ajudar.

61.2 `Mutex`

`Mutex<T>` garante exclusão mútua *e* permite acesso mutável a `T` por trás de uma interface somente de leitura (outra forma de mutabilidade interna):

```
use std::sync::Mutex;

fn main() {
    let v = Mutex::new(vec![10, 20, 30]);
    println!("v: {:?}", v.lock().unwrap());

    {
        let mut guard = v.lock().unwrap();
        guard.push(40);
    }

    println!("v: {:?}", v.lock().unwrap());
}
```

Observe como temos uma implementação `impl<T: Send> Sync for Mutex<T>` encoberta.

- `Mutex` em Rust é semelhante a uma coleção com apenas um elemento --- os dados protegidos.
  - Não é possível esquecer de adquirir o mutex antes de acessar os dados protegidos.
- Você pode obter um `&mut T` de um `&Mutex<T>` obtendo um *lock*. O `MutexGuard` garante que o `&mut T` não sobrevive além do *lock* obtido.
- `Mutex<T>` implementa ambos `Send` e `Sync` sse (se e somente se) `T` implementa `Send`.
- Um *lock* para leitura e gravação: `RwLock`.
- Por que `lock()` retorna um `Result`?
  - Se o thread que manteve o `Mutex` entrou em pânico, o `Mutex` torna-se ”envenenado” para sinalizar que os dados protegidos podem estar em um estado inconsistente. Chamar `lock()` em um mutex envenenado falha com um `PoisonError`. Você pode chamar `into_inner()` no erro para recuperar os dados de qualquer maneira.

61.3 Exemplo

Vamos ver `Arc` e `Mutex` em ação:

```
use std::thread;
// use std::sync::{Arc, Mutex};

fn main() {
    let v = vec![10, 20, 30];
    let handle = thread::spawn(|| {
        v.push(10);
    });
```

```
    v.push(1000);

    handle.join().unwrap();
    println!("v: {v:?}");
}
```

Solução possível:

```
use std::sync::{Arc, Mutex};
use std::thread;

fn main() {
    let v = Arc::new(Mutex::new(vec![10, 20, 30]));

    let v2 = Arc::clone(&v);
    let handle = thread::spawn(move || {
        let mut v2 = v2.lock().unwrap();
        v2.push(10);
    });

    {
        let mut v = v.lock().unwrap();
        v.push(1000);
    }

    handle.join().unwrap();

    println!("v: {v:?}");
}
```

Partes notáveis:

- `v` é agrupado em ambos `Arc` e `Mutex`, porque seus interesses são ortogonais.
  - Envolver um `Mutex` em um `Arc` é um padrão comum para compartilhar estado mutável entre threads.
- `v: Arc<_>` precisa ser clonado como `v2` antes que possa ser movido para outra *thread*. Note que `move` foi adicionado à assinatura lambda.
- Os blocos são introduzidos para restringir o escopo do `LockGuard` tanto quanto possível.

Capítulo 62

Exercícios

This segment should take about 1 hour and 10 minutes. It contains:

Slide	Duration
Jantar dos Filósofos	20 minutes
Verificador de Links Multi-Threads	20 minutes
Soluções	30 minutes

62.1 Jantar dos Filósofos

O problema do jantar dos filósofos é um problema clássico em concorrência:

> Cinco filósofos jantam juntos na mesma mesa. Cada folósofo tem seu próprio lugar à mesa. Há um garfo entre cada prato. O prato servido é uma espécie de espaguete que se come com dois garfos. Cada filósofo pode somente pensar ou comer, alternadamente. Além disso, um filósofo só pode comer seu espaguete quando ele têm garfo esquerdo e direito. Assim, dois garfos só estarão disponíveis quando seus dois vizinhos mais próximos estiverem pensando, não comendo. Depois de um filósofo individual termina de comer, ele abaixa os dois garfos.

Você precisará de uma instalação local do Cargo para esse exercício. Copie o código abaixo para um arquivo chamado `src/main.rs`, preencha os espaços em branco e teste se `cargo run` não entra em *deadlock*:

```
use std::sync::{mpsc, Arc, Mutex};
use std::thread;
use std::time::Duration;

struct Fork;

struct Philosopher {
    name: String,
    // left_fork: ...
    // right_fork: ...
    // thoughts: ...
```

```
}

impl Philosopher {
    fn think(&self) {
        self.thoughts
            .send(format!("Eureka! {} tem uma nova ideia!", &self.name))
            .unwrap();
    }

    fn eat(&self) {
        // Peguem os garfos...
        println!("{} está comendo...", &self.name);
        thread::sleep(Duration::from_millis(10));
    }
}

static PHILOSOPHERS: &[&str] =
    &["Sócrates", "Hipátia", "Platão", "Aristóteles", "Pitágoras"];

fn main() {
    // Criem os garfos

    // Criem os filósofos

    // Façam cada um deles pensar e comer 100 vezes

    // Imprimam seus pensamentos
}
```

Você pode usar o seguinte `Cargo.toml`

```
[package]
name = "dining-philosophers"
version = "0.1.0"
edition = "2021"
```

62.2 Verificador de Links Multi-Threads

Vamos usar nosso novo conhecimento para criar um verificador de links *multi-threads*. Comece em uma página da web e verifique se os links na página são válidos. Verifique recursivamente outras páginas no mesmo domínio e continue fazendo isso até que todas as páginas tenham sido validadas.

Para isso, você precisará de um cliente HTTP como `reqwest`. Você também precisará de uma maneira de encontrar links, podemos usar `scraper`. Por fim, precisaremos de alguma maneira de lidar com erros, usaremos `thiserror`.

Crie um novo projeto Cargo e adicione `reqwest` como uma dependência com:

```
cargo new link-checker
cd link-checker
cargo add --features blocking,rustls-tls reqwest
```

```
cargo add scraper
cargo add thiserror
```

> Se `cargo add` falhar com `error: no such subcommand`, edite o arquivo `Cargo.toml` à mão. Adicione as dependências listadas abaixo.

As chamadas `cargo add` irão atualizar o arquivo `Cargo.toml` para ficar assim:

```
[package]
name = "link-checker"
version = "0.1.0"
edition = "2021"
publish = false

[dependencies]
reqwest = { version = "0.11.12", features = ["blocking", "rustls-tls"] }
scraper = "0.13.0"
thiserror = "1.0.37"
```

Agora você pode baixar a página inicial. Tente com um pequeno site como `https://www.google.org/`.

Seu arquivo `src/main.rs` deve se parecer com isto:

```
use reqwest::blocking::Client;
use reqwest::Url;
use scraper::{Html, Selector};
use thiserror::Error;

enum Error {
    ReqwestError(#[from] reqwest::Error),
    BadResponse(String),
}

struct CrawlCommand {
    url: Url,
    extract_links: bool,
}

fn visit_page(client: &Client, command: &CrawlCommand) -> Result<Vec<Url>, Error> {
    println!("Verificando {:#}", command.url);
    let response = client.get(command.url.clone()).send()?;
    if !response.status().is_success() {
        return Err(Error::BadResponse(response.status().to_string()));
    }

    let mut link_urls = Vec::new();
    if !command.extract_links {
        return Ok(link_urls);
    }

    let base_url = response.url().to_owned();
    let body_text = response.text()?;
    let document = Html::parse_document(&body_text);
```

```
    let selector = Selector::parse("a").unwrap();
    let href_values = document
        .select(&selector)
        .filter_map(|element| element.value().attr("href"));
    for href in href_values {
        match base_url.join(href) {
            Ok(link_url) => {
                link_urls.push(link_url);
            }
            Err(err) => {
                println!("Em {base_url:#}: ignorado não analisável {href:?}: {err}");
            }
        }
    }
    Ok(link_urls)
}

fn main() {
    let client = Client::new();
    let start_url = Url::parse("https://www.google.org").unwrap();
    let crawl_command = CrawlCommand{ url: start_url, extract_links: true };
    match visit_page(&client, &crawl_command) {
        Ok(links) => println!("Links: {links:#?}"),
        Err(err) => println!("Não foi possível extrair links: {err:#}"),
    }
}
```

Execute o código em `src/main.rs` com

```
cargo run
```

Tarefas

- Use *threads* para verificar os links em paralelo: envie as URLs a serem verificadas para um *channel* e deixe alguns *threads* verificarem as URLs em paralelo.
- Estenda isso para extrair recursivamente links de todas as páginas no domínio `www.google.org`. Coloque um limite máximo de 100 páginas ou menos para que você não acabe sendo bloqueado pelo site.

62.3 Soluções

Jantar dos Filósofos

```
use std::sync::{mpsc, Arc, Mutex};
use std::thread;
use std::time::Duration;

struct Fork;

struct Philosopher {
    name: String,
```

```
    left_fork: Arc<Mutex<Fork>>,
    right_fork: Arc<Mutex<Fork>>,
    thoughts: mpsc::SyncSender<String>,
}

impl Philosopher {
    fn think(&self) {
        self.thoughts
            .send(format!("Eureka! {} tem uma nova ideia!", &self.name))
            .unwrap();
    }

    fn eat(&self) {
        println!("{} está tentando comer", &self.name);
        let _left = self.left_fork.lock().unwrap();
        let _right = self.right_fork.lock().unwrap();

        println!("{} está comendo...", &self.name);
        thread::sleep(Duration::from_millis(10));
    }
}

static PHILOSOPHERS: &[&str] =
    &["Sócrates", "Hipátia", "Platão", "Aristóteles", "Pitágoras"];

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::sync_channel(10);

    let forks = (0..PHILOSOPHERS.len())
        .map(|_| Arc::new(Mutex::new(Fork)))
        .collect::<Vec<_>>();

    for i in 0..forks.len() {
        let tx = tx.clone();
        let mut left_fork = Arc::clone(&forks[i]);
        let mut right_fork = Arc::clone(&forks[(i + 1) % forks.len()]);

        // Para evitar um _deadlock_, temos que quebrar a simetria
        // em algum lugar. Isso trocará os garfos sem desinicializar
        // nenhum deles.
        if i == forks.len() - 1 {
            std::mem::swap(&mut left_fork, &mut right_fork);
        }

        let philosopher = Philosopher {
            name: PHILOSOPHERS[i].to_string(),
            thoughts: tx,
            left_fork,
            right_fork,
        };
```

```
        thread::spawn(move || {
            for _ in 0..100 {
                philosopher.eat();
                philosopher.think();
            }
        });
    }

    drop(tx);
    for thought in rx {
        println!("{thought}");
    }
}
```

Verificador de Links

```
use std::sync::{mpsc, Arc, Mutex};
use std::thread;

use reqwest::blocking::Client;
use reqwest::Url;
use scraper::{Html, Selector};
use thiserror::Error;

enum Error {
    ReqwestError(#[from] reqwest::Error),
    BadResponse(String),
}

struct CrawlCommand {
    url: Url,
    extract_links: bool,
}

fn visit_page(client: &Client, command: &CrawlCommand) -> Result<Vec<Url>, Error> {
    println!("Verificando {:#}", command.url);
    let response = client.get(command.url.clone()).send()?;
    if !response.status().is_success() {
        return Err(Error::BadResponse(response.status().to_string()));
    }

    let mut link_urls = Vec::new();
    if !command.extract_links {
        return Ok(link_urls);
    }

    let base_url = response.url().to_owned();
    let body_text = response.text()?;
    let document = Html::parse_document(&body_text);

    let selector = Selector::parse("a").unwrap();
```

```
    let href_values = document
        .select(&selector)
        .filter_map(|element| element.value().attr("href"));
    for href in href_values {
        match base_url.join(href) {
            Ok(link_url) => {
                link_urls.push(link_url);
            }
            Err(err) => {
                println!("Em {base_url:#}: ignorado não analisável {href:?}: {err}");
            }
        }
    }
    Ok(link_urls)
}

struct CrawlState {
    domain: String,
    visited_pages: std::collections::HashSet<String>,
}

impl CrawlState {
    fn new(start_url: &Url) -> CrawlState {
        let mut visited_pages = std::collections::HashSet::new();
        visited_pages.insert(start_url.as_str().to_string());
        CrawlState { domain: start_url.domain().unwrap().to_string(), visited_pages }
    }

    /// Determine se os links dentro da página fornecida devem ser extraídos.
    fn should_extract_links(&self, url: &Url) -> bool {
        let Some(url_domain) = url.domain() else {
            return false;
        };
        url_domain == self.domain
    }

    /// Marque a página fornecida como visitada, retornando falso se ela já
    /// tiver sido visitada.
    fn mark_visited(&mut self, url: &Url) -> bool {
        self.visited_pages.insert(url.as_str().to_string())
    }
}

type CrawlResult = Result<Vec<Url>, (Url, Error)>;
fn spawn_crawler_threads(
    command_receiver: mpsc::Receiver<CrawlCommand>,
    result_sender: mpsc::Sender<CrawlResult>,
    thread_count: u32,
) {
    let command_receiver = Arc::new(Mutex::new(command_receiver));
```

```
    for _ in 0..thread_count {
        let result_sender = result_sender.clone();
        let command_receiver = command_receiver.clone();
        thread::spawn(move || {
            let client = Client::new();
            loop {
                let command_result = {
                    let receiver_guard = command_receiver.lock().unwrap();
                    receiver_guard.recv()
                };
                let Ok(crawl_command) = command_result else {
                    // O remetente foi descartado. Não há mais comandos chegando.
                    break;
                };
                let crawl_result = match visit_page(&client, &crawl_command) {
                    Ok(link_urls) => Ok(link_urls),
                    Err(error) => Err((crawl_command.url, error)),
                };
                result_sender.send(crawl_result).unwrap();
            }
        });
    }
}

fn control_crawl(
    start_url: Url,
    command_sender: mpsc::Sender<CrawlCommand>,
    result_receiver: mpsc::Receiver<CrawlResult>,
) -> Vec<Url> {
    let mut crawl_state = CrawlState::new(&start_url);
    let start_command = CrawlCommand { url: start_url, extract_links: true };
    command_sender.send(start_command).unwrap();
    let mut pending_urls = 1;

    let mut bad_urls = Vec::new();
    while pending_urls > 0 {
        let crawl_result = result_receiver.recv().unwrap();
        pending_urls -= 1;

        match crawl_result {
            Ok(link_urls) => {
                for url in link_urls {
                    if crawl_state.mark_visited(&url) {
                        let extract_links = crawl_state.should_extract_links(&url);
                        let crawl_command = CrawlCommand { url, extract_links };
                        command_sender.send(crawl_command).unwrap();
                        pending_urls += 1;
                    }
                }
            }
            Err((url, error)) => {
```

```
                bad_urls.push(url);
                println!("Erro de crawling: {:#}", error);
                continue;
            }
        }
    }
    bad_urls
}

fn check_links(start_url: Url) -> Vec<Url> {
    let (result_sender, result_receiver) = mpsc::channel::<CrawlResult>();
    let (command_sender, command_receiver) = mpsc::channel::<CrawlCommand>();
    spawn_crawler_threads(command_receiver, result_sender, 16);
    control_crawl(start_url, command_sender, result_receiver)
}

fn main() {
    let start_url = reqwest::Url::parse("https://www.google.org").unwrap();
    let bad_urls = check_links(start_url);
    println!("URLs ruins: {:#?}", bad_urls);
}
```

Parte XIV

Concorrência: Tarde

Capítulo 63

Bem-vindos

”*Async*” é um modelo de concorrência onde várias tarefas são executadas concorrentemente, executando cada tarefa até que ela bloqueie, e então mudando para outra tarefa que está pronta para fazer progresso. O modelo permite executar um número maior de tarefas em um número limitado de threads. Isso ocorre porque o custo por tarefa é tipicamente muito baixo e os sistemas operacionais fornecem primitivas para identificar eficientemente I/O que é capaz de prosseguir.

A operação assíncrona do Rust é baseada em ”futures”, que representam trabalho que pode ser concluído no futuro. As *futures* são ”polled” até que elas sinalizem que estão completas.

As *futures* são *polled* por um *runtime* assíncrono, e vários *runtimes* diferentes estão disponíveis.

Comparações

- O Python tem um modelo semelhante em seu `asyncio`. No entanto, seu tipo `Future` é baseado em *callback*, e não *polled*. Programas *async* em Python requerem um ”loop”, semelhante a um *runtime* em Rust.
- O `Promise` do JavaScript é semelhante, mas novamente baseado em *callback*. O *runtime* da linguagem implementa o *event loop*, então muitos dos detalhes da resolução de *Promise* são ocultos.

Agenda

Including 10 minute breaks, this session should take about 3 hours and 20 minutes. It contains:

Segment	Duration
Fundamentos de Async (Assincronicidade)	30 minutes
Canais e Controle de Fluxo	20 minutes
Armadilhas	55 minutes
Exercícios	1 hour and 10 minutes

Capítulo 64

Fundamentos de Async (Assincronicidade)

This segment should take about 30 minutes. It contains:

Slide	Duration
async/await	10 minutes
Futures	4 minutes
Tempos de Execução	10 minutes
Tarefas	10 minutes

64.1 `async`/`await`

De maneira geral, o código *async* do Rust se parece muito com o código sequencial ”normal”:

```
use futures::executor::block_on;

async fn count_to(count: i32) {
    for i in 1..=count {
        println!("Contador é: {i}!");
    }
}

async fn async_main(count: i32) {
    count_to(count).await;
}

fn main() {
    block_on(async_main(10));
}
```

Pontos chave:

- Observe que este é um exemplo simplificado para mostrar a sintaxe. Não há operação de longa duração ou qualquer concorrência real nele!

- Qual é o tipo de retorno de uma chamada *async*?
  - Use `let future: () = async_main(10);` em `main` para ver o tipo.
- A palavra-chave "async" é açúcar sintático. O compilador substitui o tipo de retorno por uma *future*.
- Você não pode tornar `main` *async*, sem instruções adicionais para o compilador sobre como usar a *future* retornada.
- Você precisa de um executor para executar código *async*. `block_on` bloqueia o thread atual até que a *future* fornecida tenha sido executada até a conclusão.
- `.await` espera assincronamente pela conclusão de outra operação. Ao contrário de `block_on`, `.await` não bloqueia o thread atual.
- `.await` só pode ser usado dentro de uma função `async` (ou bloco; estes são introduzidos mais tarde).

64.2 Futures

`Future` é um traço, implementado por objetos que representam uma operação que pode ainda não estar completa. Uma *future* pode ser *polled*, e `poll` retorna um `Poll`.

```
use std::pin::Pin;
use std::task::Context;

pub trait Future {
    type Output;
    fn poll(self: Pin<&mut Self>, cx: &mut Context<'_>) -> Poll<Self::Output>;
}

pub enum Poll<T> {
    Ready(T),
    Pending,
}
```

Uma função *async* retorna um `impl Future`. Também é possível (mas pouco comum) implementar `Future` para seus próprios tipos. Por exemplo, o `JoinHandle` retornado de `tokio::spawn` implementa `Future` para permitir juntar-se a ele.

A palavra-chave `.await`, aplicada a uma *Future*, faz com que a função assíncrona atual pause até que essa *Future* esteja pronta, e então avalia para sua saída.

- Os tipos `Future` e `Poll` são implementados exatamente como mostrado; clique nos links para mostrar as implementações na documentação.
- Não chegaremos a `Pin` e `Context`, pois nos concentraremos em escrever código *async*, em vez de construir novas primitivas *async*. Brevemente:
  - `Context` permite que uma *Future* agende-se para ser *polled* novamente quando um evento ocorre.
  - `Pin` garante que a *Future* não seja movida na memória, para que os ponteiros para essa *future* permaneçam válidos. Isso é necessário para permitir que as referências permaneçam válidas após um `.await`.

64.3 Tempos de Execução

Um *runtime* fornece suporte para realizar operações de forma assíncrona (um *reator*) e é responsável por executar *futures* (um *executor*). Rust não tem um *runtime* "integrado", mas várias opções estão disponíveis:

- Tokio: performante, com um ecossistema bem desenvolvido de funcionalidades como Hyper para HTTP ou Tonic para gRPC.
- async-std: tem como objetivo ser um "std para *async*", e inclui um *runtime* básico em `async::task`.
- smol: simples e leve

Várias aplicações maiores têm seus próprios *runtimes*. Por exemplo, Fuchsia já tem um.

- Observe que, dos *runtimes* listados, apenas Tokio é suportado no *Rust playground*. O *playground* também não permite nenhum I/O, então a maioria das coisas *async* interessantes não pode ser executada no *playground*.
- As *futures* são "inertes" no sentido de que elas não fazem nada (nem mesmo iniciam uma operação de I/O) a menos que haja um *executor polling*. Isso difere das *Promises* do JS, por exemplo, que serão executadas até o final mesmo que nunca sejam usadas.

64.3.1 Tokio

Tokio fornece:

- Um *runtime multi-threaded* para executar código assíncrono.
- Uma versão assíncrona da biblioteca padrão.
- Um grande ecossistema de bibliotecas.

```
use tokio::time;

async fn count_to(count: i32) {
    for i in 1..=count {
        println!("Contador na tarefa: {i}!");
        time::sleep(time::Duration::from_millis(5)).await;
    }
}

async fn main() {
    tokio::spawn(count_to(10));

    for i in 1..5 {
        println!("Tarefa principal: {i}");
        time::sleep(time::Duration::from_millis(5)).await;
    }
}
```

- Com a macro `tokio::main` agora podemos tornar `main` *async*.
- A função `spawn` cria uma nova "tarefa" concorrente.
- Nota: `spawn` recebe uma `Future`, você não chama `.await` em `count_to`.

Exploração adicional:

- Por que `count_to` (geralmente) não chega a 10? Este é um exemplo de cancelamento *async*. `tokio::spawn` retorna um *handle* que pode ser aguardado para esperar que ele termine.
- Tente `count_to(10).await` em vez de *spawn*.
- Tente aguardar a tarefa retornada de `tokio::spawn`.

64.4 Tarefas

Rust tem um sistema de tarefas, que é uma forma de *threading* leve.

Uma tarefa tem uma única *future* de nível superior que o *executor polls* para fazer progresso. Essa *future* pode ter uma ou mais *futures* aninhadas que seu método `poll` *polls*, correspondendo vagamente a uma pilha de chamadas. A concorrência dentro de uma tarefa é possível *polling* várias *futures* filhas, como correr um temporizador e uma operação de I/O.

```
use tokio::io::{self, AsyncReadExt, AsyncWriteExt};
use tokio::net::TcpListener;

async fn main() -> io::Result<()> {
    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:0").await?;
    println!("escutando na porta {}", listener.local_addr()?.port());

    loop {
        let (mut socket, addr) = listener.accept().await?;

        println!("conexão de {addr:?}");

        tokio::spawn(async move {
            socket.write_all(b"Quem é você?\n").await.expect("erro de _socket_");

            let mut buf = vec![0; 1024];
            let name_size = socket.read(&mut buf).await.expect("erro de _socket_");
            let name = std::str::from_utf8(&buf[..name_size]).unwrap().trim();
            let reply = format!("Obrigado por ligar, {name}!\n");
            socket.write_all(reply.as_bytes()).await.expect("erro de _socket_");
        });
    }
}
```

Copie este exemplo para o seu `src/main.rs` preparado e execute-o a partir daí.

Tente se conectar a ele com uma ferramenta de conexão TCP como nc ou telnet.

- Pergunte aos alunos para visualizar qual seria o estado do servidor de exemplo com alguns clientes conectados. Quais tarefas existem? Quais são suas *futures*?
- Esta é a primeira vez que vemos um bloco `async`. Isso é semelhante a um *closure*, mas não aceita argumentos. Seu valor de retorno é uma *future*, semelhante a um `async fn`.
- Refatore o bloco *async* em uma função e melhore o tratamento de erros usando `?`.

Capítulo 65

Canais e Controle de Fluxo

This segment should take about 20 minutes. It contains:

Slide	Duration
Canais Assíncronos	10 minutes
Join	4 minutes
Select	5 minutes

65.1 Canais Assíncronos

Vários *crates* têm suporte para canais assíncronos. Por exemplo, `tokio`:

```
use tokio::sync::mpsc::{self, Receiver};

async fn ping_handler(mut input: Receiver<()>) {
    let mut count: usize = 0;

    while let Some(_) = input.recv().await {
        count += 1;
        println!("Recebido {count} pings até agora.");
    }

    println!("_ping_handler_ completo");
}

async fn main() {
    let (sender, receiver) = mpsc::channel(32);
    let ping_handler_task = tokio::spawn(ping_handler(receiver));
    for i in 0..10 {
        sender.send(()).await.expect("Falha ao enviar _ping_");
        println!("Enviado {} pings até agora.", i + 1);
    }

    drop(sender);
```

```
    ping_handler_task.await.expect("Algo deu errado na tarefa do gerenciador de _ping_")
}
```

- Altere o tamanho do canal para 3 e veja como isso afeta a execução.
- No geral, a interface é semelhante aos canais `sync` vistos na aula da manhã.
- Tente remover a chamada `std::mem::drop`. O que acontece? Por quê?
- O *crate* Flume tem canais que implementam tanto `sync` quanto `async` `send` e `recv`. Isso pode ser conveniente para aplicações complexas com tarefas de processamento de I/O e CPU pesadas.
- O que torna o trabalho com canais `async` preferível é a capacidade de combiná-los com outras *futures* para combiná-los e criar um fluxo de controle complexo.

65.2 Join

Uma operação de *join* espera até que todas as *futures* de um conjunto estejam prontas e retorna uma coleção de seus resultados. Isso é semelhante a `Promise.all` em JavaScript ou `asyncio.gather` em Python.

```
use anyhow::Result;
use futures::future;
use reqwest;
use std::collections::HashMap;

async fn size_of_page(url: &str) -> Result<usize> {
    let resp = reqwest::get(url).await?;
    Ok(resp.text().await?.len())
}

async fn main() {
    let urls: [&str; 4] = [
        "https://google.com",
        "https://httpbin.org/ip",
        "https://play.rust-lang.org/",
        "BAD_URL",
    ];
    let futures_iter = urls.into_iter().map(size_of_page);
    let results = future::join_all(futures_iter).await;
    let page_sizes_dict: HashMap<&str, Result<usize>> =
        urls.into_iter().zip(results.into_iter()).collect();
    println!("{:?}", page_sizes_dict);
}
```

Copie este exemplo para o seu `src/main.rs` preparado e execute-o a partir daí.

- Para várias *futures* de tipos disjuntos, você pode usar `std::future::join!` mas deve saber quantas *futures* você terá em tempo de compilação. Isso atualmente está no *crate* `futures`, em breve será estabilizado em `std::future`.
- O risco do `join` é que uma das *futures* pode nunca ser resolvida, o que faria seu programa travar.

- Você também pode combinar `join_all` com `join!`, por exemplo, para unir todas as solicitações a um serviço http, bem como uma consulta ao banco de dados. Tente adicionar um `tokio::time::sleep` para o futuro, usando `futures::join!`. Isso não é um *timeout* (isso requer `select!`, explicado no próximo capítulo), mas demonstra `join!`.

65.3 Select

Uma operação de *select* espera até que qualquer uma das *futures* de um conjunto esteja pronta e responde ao resultado dessa *future*. Em JavaScript, isso é semelhante a `Promise.race`. Em Python, compara-se a `asyncio.wait(task_set, return_when=asyncio.FIRST_COMPLETED)`.

Semelhante a uma instrução *match*, o corpo de `select!` tem um número de ramos, cada um da forma `pattern = future => statement`. Quando um `future` está pronto, seu valor de retorno é desestruturado pelo `pattern`. O `statement` é então executado com as variáveis resultantes. O resultado do `statement` se torna o resultado da macro `select!`.

```
use tokio::sync::mpsc::{self, Receiver};
use tokio::time::{sleep, Duration};

enum Animal {
    Cat { name: String },
    Dog { name: String },
}

async fn first_animal_to_finish_race(
    mut cat_rcv: Receiver<String>,
    mut dog_rcv: Receiver<String>,
) -> Option<Animal> {
    tokio::select! {
        cat_name = cat_rcv.recv() => Some(Animal::Cat { name: cat_name? }),
        dog_name = dog_rcv.recv() => Some(Animal::Dog { name: dog_name? })
    }
}

async fn main() {
    let (cat_sender, cat_receiver) = mpsc::channel(32);
    let (dog_sender, dog_receiver) = mpsc::channel(32);
    tokio::spawn(async move {
        sleep(Duration::from_millis(500)).await;
        cat_sender.send(String::from("Felix")).await.expect("Falha ao enviar gato.");
    });
    tokio::spawn(async move {
        sleep(Duration::from_millis(50)).await;
        dog_sender.send(String::from("Rex")).await.expect("Falha ao enviar cachorro.");
    });

    let winner = first_animal_to_finish_race(cat_receiver, dog_receiver)
        .await
        .expect("Falha ao receber vencedor");
```

```
    println!("O vencedor é {winner:?}");
}
```

- Neste exemplo, temos uma corrida entre um gato e um cachorro. `first_animal_to_finish_race` escuta ambos os canais e escolherá o que chegar primeiro. Como o cachorro leva 50ms, ele vence contra o gato que leva 500ms.
- Você pode usar canais `oneshot` neste exemplo, já que os canais devem receber apenas um `send`.
- Tente adicionar um prazo para a corrida, demonstrando a seleção de diferentes tipos de *futures*.
- Observe que `select!` descarta ramos não correspondidos, o que cancela suas *futures*. É mais fácil de usar quando cada execução de `select!` cria novas *futures*.
  - Uma alternativa é passar `&mut future` em vez da própria *future*, mas isso pode levar a problemas, discutidos mais adiante no slide de *pinning*.

Capítulo 66

Armadilhas

Async/await fornece uma abstração conveniente e eficiente para programação assíncrona concorrente. No entanto, o modelo *async/await* em Rust também vem com sua parcela de armadilhas e "tiros no pé". Ilustramos alguns deles neste capítulo.

This segment should take about 55 minutes. It contains:

Slide	Duration
Bloqueando o Executor	10 minutes
Pin	20 minutes
Traits Assíncronos	5 minutes
Cancelamento	20 minutes

66.1 Bloqueando o *executor*

A maioria dos *runtimes async* só permite que tarefas de I/O sejam executadas concorrentemente. Isso significa que tarefas que bloqueiam a CPU bloquearão o *executor* e impedirão que outras tarefas sejam executadas. Uma solução fácil é usar métodos equivalentes *async* sempre que possível.

```
use futures::future::join_all;
use std::time::Instant;

async fn sleep_ms(start: &Instant, id: u64, duration_ms: u64) {
    std::thread::sleep(std::time::Duration::from_millis(duration_ms));
    println!(
        "_future_ {id} dormiu por {duration_ms}ms, terminou após {}ms",
        start.elapsed().as_millis()
    );
}

async fn main() {
    let start = Instant::now();
    let sleep_futures = (1..=10).map(|t| sleep_ms(&start, t, t * 10));
```

```
    join_all(sleep_futures).await;
}
```

- Execute o código e veja que os *sleeps* acontecem consecutivamente em vez de concorrentemente.
- A variante `"current_thread"` coloca todas as tarefas em um único *thread*. Isso torna o efeito mais óbvio, mas o bug ainda está presente na variante multi-threaded.
- Troque o `std::thread::sleep` por `tokio::time::sleep` e aguarde seu resultado.
- Outra correção seria `tokio::task::spawn_blocking` que inicia um *thread* real e transforma seu *handle* em uma *future* sem bloquear o *executor*.
- Você não deve pensar em tarefas como *threads* do SO. Elas não mapeiam 1 para 1 e a maioria dos *executors* permitirá que muitas tarefas sejam executadas em um único *thread* do SO. Isso é particularmente problemático ao interagir com outras bibliotecas via FFI, onde essa biblioteca pode depender de armazenamento local de *thread* ou mapear para *threads* específicos do SO (por exemplo, CUDA). Prefira `tokio::task::spawn_blocking` em tais situações.
- Use *mutexes sync* com cuidado. Manter um *mutex* sobre um `.await` pode fazer com que outra tarefa bloqueie, e essa tarefa pode estar sendo executada no mesmo *thread*.

66.2 `Pin`

Os blocos e funções *async* retornam tipos que implementam o *trait* `Future`. O tipo retornado é o resultado de uma transformação do compilador que transforma variáveis locais em dados armazenados dentro da *future*.

Algumas dessas variáveis podem conter ponteiros para outras variáveis locais. Por causa disso, a *future* nunca deve ser movida para uma localização de memória diferente, pois isso invalidaria esses ponteiros.

Para evitar mover o tipo de *future* na memória, ele só pode ser *poll* por meio de um ponteiro *pinned*. `Pin` é um invólucro em torno de uma referência que proíbe todas as operações que moveriam a instância para a qual aponta para uma localização de memória diferente.

```
use tokio::sync::{mpsc, oneshot};
use tokio::task::spawn;
use tokio::time::{sleep, Duration};

// Um item de trabalho. Neste caso, apenas dormir pelo tempo dado e responder com uma me
struct Work {
    input: u32,
    respond_on: oneshot::Sender<u32>,
}

// Um trabalhador que escuta o trabalho em uma fila e o executa.
async fn worker(mut work_queue: mpsc::Receiver<Work>) {
    let mut iterations = 0;
    loop {
        tokio::select! {
            Some(work) = work_queue.recv() => {
```

```
                sleep(Duration::from_millis(10)).await; // Fingir trabalhar.
                work.respond_on
                    .send(work.input * 1000)
                    .expect("falha ao enviar resposta");
                iterations += 1;
            }
            // TODO: relatar o número de iterações a cada 100ms
        }
    }
}

// Um solicitante que solicita trabalho e aguarda sua conclusão.
async fn do_work(work_queue: &mpsc::Sender<Work>, input: u32) -> u32 {
    let (tx, rx) = oneshot::channel();
    work_queue
        .send(Work { input, respond_on: tx })
        .await
        .expect("falha ao enviar na fila de trabalho");
    rx.await.expect("falha ao esperar pela resposta")
}

async fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel(10);
    spawn(worker(rx));
    for i in 0..100 {
        let resp = do_work(&tx, i).await;
        println!("resultado do trabalho para a iteração {i}: {resp}");
    }
}
```

- Você pode reconhecer isso como um exemplo do padrão *actor*. Os *actors* tipicamente chamam `select!` em um loop.
- Isso serve como uma síntese de algumas das lições anteriores, então leve seu tempo com isso.
  - Adicione ingenuamente um `_ = sleep(Duration::from_millis(100)) => { println!(..) }` ao `select!`. Isso nunca será executado. Por quê?
  - Em vez disso, adicione um `timeout_fut` contendo essa *future* fora do `loop`:

    ```
    let timeout_fut = sleep(Duration::from_millis(100));
    loop {
        select! {
            ..,
            _ = timeout_fut => { println!(..); },
        }
    }
    ```

  - Isso ainda não funciona. Siga os erros do compilador, adicionando `&mut` ao `timeout_fut` no `select!` para contornar a movimentação, e então usando `Box::pin`.

    ```
    let mut timeout_fut = Box::pin(sleep(Duration::from_millis(100)));
    ```

```
loop {
    select! {
        ..,
        _ = &mut timeout_fut => { println!(..); },
    }
}
```

  - Isso compila, mas uma vez que o *timeout* expira, ele é `Poll::Ready` em cada iteração (um *fused future* ajudaria com isso). Atualize para redefinir `timeout_fut` toda vez que expirar:

```
let mut timeout_fut = Box::pin(sleep(Duration::from_millis(100)));
loop {
    select! {
        _ = &mut timeout_fut => {
            println!(..);
            timeout_fut = Box::pin(sleep(Duration::from_millis(100)));
        },
    }
}
```

- O *Box* aloca na pilha. Em alguns casos, `std::pin::pin!` (apenas recentemente estabilizado, com código mais antigo frequentemente usando `tokio::pin!`) também é uma opção, mas é difícil de usar para uma *future* que é reatribuída.
- Outra alternativa é não usar `pin` de forma alguma, mas iniciar outra tarefa que enviará para um canal `oneshot` a cada 100ms.
- Dados que contêm ponteiros para si mesmos são chamados auto-referenciais. Normalmente, o verificador de empréstimos do Rust impediria que dados auto-referenciais fossem movidos, pois as referências não podem sobreviver aos dados aos quais apontam. No entanto, a transformação de código para blocos e funções *async* não é verificada pelo verificador de empréstimos.
- `Pin` é um invólucro em torno de uma referência. Um objeto não pode ser movido de seu local usando um ponteiro *pinned*. No entanto, ele ainda pode ser movido por meio de um ponteiro não *pinned*.
- O método `poll` do *trait* `Future` usa `Pin<&mut Self>` em vez de `&mut Self` para se referir à instância. É por isso que ele só pode ser chamado em um ponteiro *pinned*.

66.3 Traits Assíncronos

Métodos *async* em *traits* foram estabilizados apenas recentemente, no lançamento 1.75. Isso exigiu suporte para o uso de `impl Trait` em posição de retorno em *traits*, pois a "desaçucarização" para `async fn` inclui `-> impl Future<Output = ...>`.

No entanto, mesmo com o suporte nativo hoje, existem algumas armadilhas em torno de `async fn` e RPIT em _traits:

- O `impl Trait` em posição de retorno captura todos os tempos de vida em escopo (portanto, alguns padrões de empréstimo não podem ser expressos)
- Os métodos de *traits* que usam `impl trait` em posição de retorno ou `async` não são compatíveis com dyn.

Se precisarmos de suporte dyn, o *crate* async_trait fornece uma solução alternativa por meio de um macro, com algumas ressalvas:

```
use async_trait::async_trait;
use std::time::Instant;
use tokio::time::{sleep, Duration};

trait Sleeper {
    async fn sleep(&self);
}

struct FixedSleeper {
    sleep_ms: u64,
}

impl Sleeper for FixedSleeper {
    async fn sleep(&self) {
        sleep(Duration::from_millis(self.sleep_ms)).await;
    }
}

async fn run_all_sleepers_multiple_times(
    sleepers: Vec<Box<dyn Sleeper>>,
    n_times: usize,
) {
    for _ in 0..n_times {
        println!("executando todos os dormentes..");
        for sleeper in &sleepers {
            let start = Instant::now();
            sleeper.sleep().await;
            println!("dormiu por {}ms", start.elapsed().as_millis());
        }
    }
}

async fn main() {
    let sleepers: Vec<Box<dyn Sleeper>> = vec![
        Box::new(FixedSleeper { sleep_ms: 50 }),
        Box::new(FixedSleeper { sleep_ms: 100 }),
    ];
    run_all_sleepers_multiple_times(sleepers, 5).await;
}
```

- `async_trait` é fácil de usar, mas observe que ele está usando alocações de pilha para alcançar isso. Essa alocação de pilha impacta o desempenho.
- Os desafios no suporte da linguagem para `async trait` são profundos em Rust e provavelmente não valem a pena descrever em detalhes. Niko Matsakis fez um bom trabalho ao explicá-los neste post se você estiver interessado em aprofundar.
- Tente criar uma nova estrutura *sleeper* que dormirá por uma quantidade aleatória de tempo e adicioná-la ao *Vec*.

66.4 Cancelamento

Descartar uma *future* implica que ela nunca pode ser consultada novamente. Isso é chamado de *cancelamento* e pode ocorrer em qualquer ponto de `await`. Cuidado é necessário para garantir que o sistema funcione corretamente mesmo quando as *futures* são canceladas. Por exemplo, não deve travar ou perder dados.

```
use std::io::{self, ErrorKind};
use std::time::Duration;
use tokio::io::{AsyncReadExt, AsyncWriteExt, DuplexStream};

struct LinesReader {
    stream: DuplexStream,
}

impl LinesReader {
    fn new(stream: DuplexStream) -> Self {
        Self { stream }
    }

    async fn next(&mut self) -> io::Result<Option<String>> {
        let mut bytes = Vec::new();
        let mut buf = [0];
        while self.stream.read(&mut buf[..]).await? != 0 {
            bytes.push(buf[0]);
            if buf[0] == b'\n' {
                break;
            }
        }
        if bytes.is_empty() {
            return Ok(None);
        }
        let s = String::from_utf8(bytes)
            .map_err(|_| io::Error::new(ErrorKind::InvalidData, "não UTF-8"))?;
        Ok(Some(s))
    }
}

async fn slow_copy(source: String, mut dest: DuplexStream) -> std::io::Result<()> {
    for b in source.bytes() {
        dest.write_u8(b).await?;
        tokio::time::sleep(Duration::from_millis(10)).await
    }
    Ok(())
}

async fn main() -> std::io::Result<()> {
    let (client, server) = tokio::io::duplex(5);
    let handle = tokio::spawn(slow_copy("hi\nthere\n".to_owned(), client));

    let mut lines = LinesReader::new(server);
```

```
    let mut interval = tokio::time::interval(Duration::from_millis(60));
    loop {
        tokio::select! {
            _ = interval.tick() => println!("tick!"),
            line = lines.next() => if let Some(l) = line? {
                print!("{}", l)
            } else {
                break
            },
        }
    }
    handle.await.unwrap()?;
    Ok(())
}
```

- O compilador não ajuda com a segurança do cancelamento. Você precisa ler a documentação da API e considerar qual estado sua `async fn` mantém.
- Diferentemente de `panic` e `?`, o cancelamento faz parte do fluxo de controle normal (vs tratamento de erros).
- O exemplo perde partes da *string*.
  - Sempre que o ramo `tick()` termina primeiro, `next()` e seu `buf` são descartados.
  - `LinesReader` pode ser tornado seguro para cancelamento tornando `buf` parte da estrutura:

    ```
    struct LinesReader {
        stream: DuplexStream,
        bytes: Vec<u8>,
        buf: [u8; 1],
    }

    impl LinesReader {
        fn new(stream: DuplexStream) -> Self {
            Self { stream, bytes: Vec::new(), buf: [0] }
        }
        async fn next(&mut self) -> io::Result<Option<String>> {
            // prefixe buf e bytes com self.
            // ...
            let raw = std::mem::take(&mut self.bytes);
            let s = String::from_utf8(raw)
                .map_err(|_| io::Error::new(ErrorKind::InvalidData, "não UTF-8"))?;
            // ...
        }
    }
    ```

- `Interval::tick` é seguro para cancelamento porque mantém o controle de se um *tick* foi 'entregue'.
- `AsyncReadExt::read` é seguro para cancelamento porque ou retorna ou não lê dados.
- `AsyncBufReadExt::read_line` é semelhante ao exemplo e *não* é seguro para cancelamento. Consulte sua documentação para detalhes e alternativas.

Capítulo 67

Exercícios

This segment should take about 1 hour and 10 minutes. It contains:

Slide	Duration
Jantar dos Filósofos	20 minutes
Apliação de Chat de Transmissão	30 minutes
Soluções	20 minutes

67.1 Jantar dos Filósofos --- Async

Veja Jantar dos Filósofos para uma descrição do problema.

Como antes, você precisará de uma instalação local do Cargo para este exercício. Copie o código abaixo para um arquivo chamado `src/main.rs`, preencha os espaços em branco e teste se `cargo run` não trava:

```
use std::sync::Arc;
use tokio::sync::mpsc::{self, Sender};
use tokio::sync::Mutex;
use tokio::time;

struct Fork;

struct Philosopher {
    name: String,
    // left_fork: ...
    // right_fork: ...
    // thoughts: ...
}

impl Philosopher {
    async fn think(&self) {
        self.thoughts
            .send(format!("Eureka! {} tem uma nova ideia!", &self.name))
```

```
            .await
            .unwrap();
    }

    async fn eat(&self) {
        // Continue tentando até termos ambos os garfos
        println!("{} está comendo...", &self.name);
        time::sleep(time::Duration::from_millis(5)).await;
    }
}

static PHILOSOPHERS: &[&str] =
    &["Sócrates", "Hipátia", "Platão", "Aristóteles", "Pitágoras"];

async fn main() {
    // Criem os garfos

    // Criem os filósofos

    // Faça-os pensar e comer

    // Imprimam seus pensamentos
}
```

Como desta vez você está usando Rust Async, você precisará de uma dependência `tokio`. Você pode usar o seguinte `Cargo.toml`:

```
[package]
name = "dining-philosophers-async-dine"
version = "0.1.0"
edition = "2021"

[dependencies]
tokio = { version = "1.26.0", features = ["sync", "time", "macros", "rt-multi-thread"] }
```

Também observe que desta vez você tem que usar o módulo `Mutex` e o módulo `mpsc` do *crate* `tokio`.

- Você pode fazer sua implementação single-threaded?

67.2 Apliação de Chat de Transmissão

Neste exercício, queremos usar nosso novo conhecimento para implementar um aplicativo de bate-papo por *broadcast*. Temos um servidor de bate-papo ao qual os clientes se conectam e publicam suas mensagens. O cliente lê as mensagens do usuário da entrada padrão e as envia para o servidor. O servidor de bate-papo transmite cada mensagem que recebe para todos os clientes.

Para isso, usamos um canal de *broadcast* no servidor e `tokio_websockets` para a comunicação entre o cliente e o servidor.

Crie um novo projeto Cargo e adicione as seguintes dependências:

Cargo.toml:

```
[package]
name = "chat-async"
version = "0.1.0"
edition = "2021"

[dependencies]
futures-util = { version = "0.3.30", features = ["sink"] }
http = "1.1.0"
tokio = { version = "1.38.0", features = ["full"] }
tokio-websockets = { version = "0.8.3", features = ["client", "fastrand", "server", "sha
```

As APIs necessárias

Você vai precisar das seguintes funções de `tokio` e `tokio_websockets`. Dedique alguns minutos para se familiarizar com a API.

- StreamExt::next() implementado por `WebSocketStream`: para ler mensagens de forma assíncrona de um *stream* de *Websocket*.
- SinkExt::send() implementado por `WebSocketStream`: para enviar mensagens de forma assíncrona em um *stream* de *Websocket*.
- Lines::next_line(): para ler mensagens de forma assíncrona do usuário da entrada padrão.
- Sender::subscribe(): para se inscrever em um canal de transmissão.

Dois binários

Normalmente em um projeto Cargo, você pode ter apenas um binário e um arquivo `src/main.rs`. Neste projeto, precisamos de dois binários. Um para o cliente e outro para o servidor. Você poderia potencialmente torná-los dois projetos Cargo separados, mas vamos colocá-los em um único projeto Cargo com dois binários. Para que isso funcione, o código do cliente e do servidor deve ir em `src/bin` (consulte a documentação).

Copie o seguinte código do servidor e do cliente para `src/bin/server.rs` e `src/bin/client.rs`, respectivamente. Sua tarefa é completar esses arquivos conforme descrito abaixo.

src/bin/server.rs:

```
use futures_util::sink::SinkExt;
use futures_util::stream::StreamExt;
use std::error::Error;
use std::net::SocketAddr;
use tokio::net::{TcpListener, TcpStream};
use tokio::sync::broadcast::{channel, Sender};
use tokio_websockets::{Message, ServerBuilder, WebSocketStream};

async fn handle_connection(
    addr: SocketAddr,
    mut ws_stream: WebSocketStream<TcpStream>,
    bcast_tx: Sender<String>,
) -> Result<(), Box<dyn Error + Send + Sync>> {
```

```
    // TODO: Para uma dica, veja a descrição da tarefa abaixo.

}

async fn main() -> Result<(), Box<dyn Error + Send + Sync>> {
    let (bcast_tx, _) = channel(16);

    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:2000").await?;
    println!("ouvindo na porta 2000");

    loop {
        let (socket, addr) = listener.accept().await?;
        println!("Nova conexão de {addr:?}");
        let bcast_tx = bcast_tx.clone();
        tokio::spawn(async move {
            // Envolver o _stream_ TCP bruto em um _websocket_.
            let ws_stream = ServerBuilder::new().accept(socket).await?;

            handle_connection(addr, ws_stream, bcast_tx).await
        });
    }
}
```

src/bin/client.rs:

```
use futures_util::stream::StreamExt;
use futures_util::SinkExt;
use http::Uri;
use tokio::io::{AsyncBufReadExt, BufReader};
use tokio_websockets::{ClientBuilder, Message};

async fn main() -> Result<(), tokio_websockets::Error> {
    let (mut ws_stream, _) =
        ClientBuilder::from_uri(Uri::from_static("ws://127.0.0.1:2000"))
            .connect()
            .await?;

    let stdin = tokio::io::stdin();
    let mut stdin = BufReader::new(stdin).lines();


    // TODO: Para uma dica, veja a descrição da tarefa abaixo.

}
```

Executando os binários

Execute o servidor com:

`cargo run --bin server`

e o cliente com:

```
cargo run --bin client
```

Tarefas

- Implemente a função `handle_connection` em `src/bin/server.rs`.
  - Dica: Use `tokio::select!` para realizar concorrentemente duas tarefas em um loop contínuo. Uma tarefa recebe mensagens do cliente e as transmite. A outra envia mensagens recebidas pelo servidor para o cliente.
- Complete a função principal em `src/bin/client.rs`.
  - Dica: Como antes, use `tokio::select!` em um loop contínuo para realizar concorrentemente duas tarefas: (1) ler mensagens do usuário da entrada padrão e enviá-las para o servidor, e (2) receber mensagens do servidor e exibi-las para o usuário.
- Opcional: Depois de terminar, altere o código para transmitir mensagens para todos os clientes, exceto o remetente da mensagem.

67.3 Soluções

Jantar dos Filósofos --- Async

```
use std::sync::Arc;
use tokio::sync::mpsc::{self, Sender};
use tokio::sync::Mutex;
use tokio::time;

struct Fork;

struct Philosopher {
    name: String,
    left_fork: Arc<Mutex<Fork>>,
    right_fork: Arc<Mutex<Fork>>,
    thoughts: Sender<String>,
}

impl Philosopher {
    async fn think(&self) {
        self.thoughts
            .send(format!("Eureka! {} tem uma nova ideia!", &self.name))
            .await
            .unwrap();
    }

    async fn eat(&self) {
        // Continue tentando até termos ambos os garfos
        let (_left_fork, _right_fork) = loop {
            // Peguem os garfos...
            let left_fork = self.left_fork.try_lock();
            let right_fork = self.right_fork.try_lock();
            let Ok(left_fork) = left_fork else {
                // Se não pegamos o garfo esquerdo, solte o garfo direito se o
```

```
                // tivermos e deixe outras tarefas progredirem.
                drop(right_fork);
                time::sleep(time::Duration::from_millis(1)).await;
                continue;
            };
            let Ok(right_fork) = right_fork else {
                // Se não pegamos o garfo direito, solte o garfo esquerdo e deixe
                // outras tarefas progredirem.
                drop(left_fork);
                time::sleep(time::Duration::from_millis(1)).await;
                continue;
            };
            break (left_fork, right_fork);
        };

        println!("{} está comendo...", &self.name);
        time::sleep(time::Duration::from_millis(5)).await;

        // Os _locks_ são descartados aqui
    }
}

static PHILOSOPHERS: &[&str] =
    &["Sócrates", "Hipátia", "Platão", "Aristóteles", "Pitágoras"];

async fn main() {
    // Criem os garfos
    let mut forks = vec![];
    (0..PHILOSOPHERS.len()).for_each(|_| forks.push(Arc::new(Mutex::new(Fork))));

    // Criem os filósofos
    let (philosophers, mut rx) = {
        let mut philosophers = vec![];
        let (tx, rx) = mpsc::channel(10);
        for (i, name) in PHILOSOPHERS.iter().enumerate() {
            let left_fork = Arc::clone(&forks[i]);
            let right_fork = Arc::clone(&forks[(i + 1) % PHILOSOPHERS.len()]);
            philosophers.push(Philosopher {
                name: name.to_string(),
                left_fork,
                right_fork,
                thoughts: tx.clone(),
            });
        }
        (philosophers, rx)
        // tx é descartado aqui, então não precisamos descartá-lo explicitamente mais ta
    };

    // Faça-os pensar e comer
    for phil in philosophers {
        tokio::spawn(async move {
```

```
            for _ in 0..100 {
                phil.think().await;
                phil.eat().await;
            }
        });
    }

    // Imprimam seus pensamentos
    while let Some(thought) = rx.recv().await {
        println!("Aqui está um pensamento: {thought}");
    }
}
```

Apliação de Chat de Transmissão

src/bin/server.rs:

```
use futures_util::sink::SinkExt;
use futures_util::stream::StreamExt;
use std::error::Error;
use std::net::SocketAddr;
use tokio::net::{TcpListener, TcpStream};
use tokio::sync::broadcast::{channel, Sender};
use tokio_websockets::{Message, ServerBuilder, WebSocketStream};

async fn handle_connection(
    addr: SocketAddr,
    mut ws_stream: WebSocketStream<TcpStream>,
    bcast_tx: Sender<String>,
) -> Result<(), Box<dyn Error + Send + Sync>> {

    ws_stream
        .send(Message::text("Bem-vindos ao bate-papo! Digite uma mensagem".to_string()))
        .await?;
    let mut bcast_rx = bcast_tx.subscribe();

    // Um loop contínuo para realizar concorrentemente duas tarefas: (1) recebendo
    // mensagens de `ws_stream` e transmitindo-as, e (2) recebendo
    // mensagens em `bcast_rx` e enviando-as para o cliente.
    loop {
        tokio::select! {
            incoming = ws_stream.next() => {
                match incoming {
                    Some(Ok(msg)) => {
                        if let Some(text) = msg.as_text() {
                            println!("Do cliente {addr:?} {text:?}");
                            bcast_tx.send(text.into())?;
                        }
                    }
                    Some(Err(err)) => return Err(err.into()),
                    None => return Ok(()),
```

```
                }
            }
            msg = bcast_rx.recv() => {
                ws_stream.send(Message::text(msg?)).await?;
            }
        }
    }
}

async fn main() -> Result<(), Box<dyn Error + Send + Sync>> {
    let (bcast_tx, _) = channel(16);

    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:2000").await?;
    println!("ouvindo na porta 2000");

    loop {
        let (socket, addr) = listener.accept().await?;
        println!("Nova conexão de {addr:?}");
        let bcast_tx = bcast_tx.clone();
        tokio::spawn(async move {
            // Envolver o _stream_ TCP bruto em um _websocket_.
            let ws_stream = ServerBuilder::new().accept(socket).await?;

            handle_connection(addr, ws_stream, bcast_tx).await
        });
    }
}
```

src/bin/client.rs:

```
use futures_util::stream::StreamExt;
use futures_util::SinkExt;
use http::Uri;
use tokio::io::{AsyncBufReadExt, BufReader};
use tokio_websockets::{ClientBuilder, Message};

async fn main() -> Result<(), tokio_websockets::Error> {
    let (mut ws_stream, _) =
        ClientBuilder::from_uri(Uri::from_static("ws://127.0.0.1:2000"))
            .connect()
            .await?;

    let stdin = tokio::io::stdin();
    let mut stdin = BufReader::new(stdin).lines();

    // Loop contínuo para enviar e receber mensagens concorrentemente.
    loop {
        tokio::select! {
            incoming = ws_stream.next() => {
                match incoming {
                    Some(Ok(msg)) => {
                        if let Some(text) = msg.as_text() {
```

```
                            println!("Do servidor: {}", text);
                        }
                    },
                    Some(Err(err)) => return Err(err.into()),
                    None => return Ok(()),
                }
            }
            res = stdin.next_line() => {
                match res {
                    Ok(None) => return Ok(()),
                    Ok(Some(line)) => ws_stream.send(Message::text(line.to_string())).au
                    Err(err) => return Err(err.into()),
                }
            }

        }
    }
}
```

Parte XV

Palavras Finais

Capítulo 68

Obrigado!

Obrigado por fazer o Comprehensive Rust 🦀! Esperamos que tenha gostado e que tenha sido útil.

Nós nos divertimos muito montando o curso. O curso não é perfeito, portanto, se você identificou algum erro ou tem ideias para melhorias, entre em entre em contato conosco no GitHub. Nós adoraríamos ouvir você.

Capítulo 69

Glossário

A seguir, há um glossário que tem como objetivo fornecer uma definição breve de muitos termos de Rust. Para traduções, isso também serve para conectar o termo de volta ao original em inglês.

- alocar:
  Alocação dinâmica de memória no *heap*.
- argumento:
  Informação que é passada para uma função ou método.
- Rust *bare-metal*:
  Desenvolvimento de baixo nível em Rust, frequentemente implantado em um sistema sem um sistema operacional. Veja Rust *bare-metal*.
- bloco:
  Veja Blocos e *escopo*.
- empréstimo:
  Veja Empréstimo.
- verificador de empréstimo:
  A parte do compilador Rust que verifica se todos os empréstimos são válidos.
- chaves:
  `{` e `}`. Elas delimitam *blocos*.
- compilar:
  O processo de converter o código-fonte em código executável ou um programa usável.
- chamada:
  Para invocar ou executar uma função ou método.
- canal:
  Usado para passar mensagens com segurança entre *threads*.
- Comprehensive Rust 🦀:
  Os cursos aqui são chamados conjuntamente de Comprehensive Rust 🦀.
- concorrência:
  A execução de várias tarefas ou processos ao mesmo tempo.
- Concorrência em Rust:
  Veja Concorrência em Rust.
- constante:
  Um valor que não muda durante a execução de um programa.
- fluxo de controle:
  A ordem na qual as instruções individuais são executadas em um programa.

- falha (*crash*):
  Uma falha ou término inesperado e não tratado de um programa.
- enumeração:
  Um tipo de dado que contém uma das várias constantes nomeadas, possivelmente com uma tupla ou *struct* associada.
- erro:
  Uma condição ou resultado inesperado que desvia do comportamento esperado.
- tratamento de erro:
  O processo de gerenciar e responder a erros que ocorrem durante a execução do programa.
- exercício:
  Uma tarefa ou problema projetado para praticar e testar habilidades de programação.
- função:
  Um bloco de código reutilizável que executa uma tarefa específica.
- coletor de lixo:
  Um mecanismo que libera automaticamente a memória ocupada por objetos que não estão mais em uso.
- genéricos:
  Um recurso que permite escrever código com espaços reservados para tipos, possibilitando a reutilização de código com diferentes tipos de dados.
- imutável:
  Incapaz de ser alterado após a criação.
- teste de integração:
  Um tipo de teste que verifica as interações entre diferentes partes ou componentes de um sistema.
- palavra-chave:
  Uma palavra reservada em uma linguagem de programação que tem um significado específico e não pode ser usada como um identificador.
- biblioteca:
  Uma coleção de rotinas ou código pré-compilado que pode ser usado por programas.
- macro:
  Macros Rust podem ser reconhecidas por um `!` no nome. Macros são usadas quando funções normais não são suficientes. Um exemplo típico é `format!`, que aceita um número variável de argumentos, o que não é suportado por funções Rust.
- função `main`:
  Programas Rust começam a executar a partir da função `main`.
- correspondência:
  Uma construção de fluxo de controle em Rust que permite a correspondência de padrões no valor de uma expressão.
- vazamento de memória:
  Uma situação em que um programa falha em liberar memória que não é mais necessária, levando a um aumento gradual no uso de memória.
- método:
  Uma função associada a um objeto ou a um tipo em Rust.
- módulo:
  Um espaço de nomes que contém definições, como funções, tipos ou *traits*, para organizar o código em Rust.
- mover:
  A transferência de propriedade de um valor de uma variável para outra em Rust.
- mutável:
  Uma propriedade em Rust que permite que variáveis sejam modificadas depois de terem

sido declaradas.

- propriedade (*ownership*):
  O conceito em Rust que define qual parte do código é responsável por gerenciar a memória associada a um valor.
- pânico:
  Uma condição de erro irreversível em Rust que resulta no término do programa.
- parâmetro:
  Um valor que é passado para uma função ou método quando é chamado.
- padrão:
  Uma combinação de valores, literais ou estruturas que podem ser correspondidos a uma expressão em Rust.
- carga (*payload*):
  Os dados ou informações transportados por uma mensagem, evento ou estrutura de dados.
- programa:
  Um conjunto de instruções que um computador pode executar para realizar uma tarefa específica ou resolver um problema particular.
- linguagem de programação:
  Um sistema formal usado para comunicar instruções a um computador, como Rust.
- receptor:
  O primeiro parâmetro em um método Rust que representa a instância na qual o método é chamado.
- contagem de referências:
  Uma técnica de gerenciamento de memória na qual o número de referências a um objeto é rastreado, e o objeto é desalocado quando a contagem atinge zero.
- *return*:
  Uma palavra-chave em Rust usada para indicar o valor a ser retornado de uma função.
- Rust:
  Uma linguagem de programação de sistemas que se concentra em segurança, desempenho e concorrência.
- Fundamentos de Rust:
  Dias 1 a 4 deste curso.
- Rust no Android:
  Veja Rust no Android.
- Rust no Chromium:
  Veja Rust no Chromium.
- seguro (*safe*):
  Refere-se a código que adere às regras de propriedade e empréstimo de Rust, prevenindo erros relacionados à memória.
- escopo:
  A região de um programa onde uma variável é válida e pode ser usada.
- biblioteca padrão:
  Uma coleção de módulos que fornecem funcionalidades essenciais em Rust.
- static:
  Uma palavra-chave em Rust usada para definir variáveis estáticas ou itens com um tempo de vida `'static`.
- string:
  Um tipo de dado que armazena dados textuais. Veja Strings para mais informações.
- estrutura (*struct*):
  Um tipo de dado composto em Rust que agrupa variáveis de diferentes tipos sob um único nome.

- *test*:
  Um módulo Rust contendo funções que testam a correção de outras funções.
- *thread*:
  Uma sequência de execução separada em um programa, permitindo execução concorrente.
- segurança de *thread*:
  A propriedade de um programa que garante comportamento correto em um ambiente multithread.
- trait:
  Uma coleção de métodos definidos para um tipo desconhecido, fornecendo uma maneira de alcançar polimorfismo em Rust.
- restrição de *trait*:
  Uma abstração onde você pode exigir que os tipos implementem alguns *traits* de seu interesse.
- tupla:
  Um tipo de dado composto em Rust que agrupa variáveis de diferentes tipos. Os campos da tupla não têm nomes e são acessados por seus números ordinais.
- tipo:
  Uma classificação que especifica quais operações podem ser realizadas em valores de um tipo particular em Rust.
- inferência de tipo:
  A capacidade do compilador Rust de deduzir o tipo de uma variável ou expressão.
- comportamento indefinido:
  Ações ou condições em Rust que não têm um resultado especificado, frequentemente levando a comportamento imprevisível do programa.
- união (*union*):
  Um tipo de dado que pode conter valores de diferentes tipos, mas apenas um de cada vez.
- teste unitário:
  Rust vem com suporte embutido para executar pequenos testes unitários e testes de integração maiores. Veja Testes Unitários.
- tipo unitário:
  Tipo que não contém dados, escrito como uma tupla sem membros.
- não seguro (*unsafe*):
  O subconjunto de Rust que permite que você acione *comportamentos indefinidos*. Veja Rust não seguro.
- variável:
  Uma localização de memória que armazena dados. Variáveis são válidas em um *escopo*.

Capítulo 70

Outros recursos de Rust

A comunidade Rust tem abundância de recursos gratuitos e de alta qualidade on-line.

Documentação Oficial

O projeto Rust hospeda muitos recursos. Estes cobrem Rust em geral:

- A Linguagem de Programação Rust: o livro gratuito canônico sobre Rust. Abrange o idioma em detalhes e inclui alguns projetos para as pessoas construírem.
- Rust By Example: abrange a sintaxe de Rust por meio de uma série de exemplos que mostram diferentes construções. As vezes inclui pequenos exercícios onde você é solicitado a expandir o código dos exemplos.
- Rust Standard Library: documentação completa da biblioteca padrão para Rust.
- The Rust Reference: um livro incompleto que descreve a gramática Rust e o modelo de memória.

Mais guias especializados hospedados no site oficial do Rust:

- O Rustonomicon: cobre Rust inseguro, incluindo trabalhar com ponteiros brutos e fazer interface com outras linguagens (FFI).
- Programação assíncrona em Rust: abrange o novo modelo de programação assíncrona que foi introduzido após o Rust Book ser escrito.
- The Embedded Rust Book: uma introdução ao uso do Rust em dispositivos embarcados sem um sistema operacional.

Material de aprendizagem não oficial

Uma pequena seleção de outros guias e tutoriais para Rust:

- ALearn Rust the Dangerous Way: cobre Rust da perspectiva de programadores C de baixo nível.
- Rust for Embedded C Programmers: cobre Rust da perspectiva dos desenvolvedores que escrevem firmware em C.
- Rust for professionals: cobre a sintaxe do Rust usando comparações lado a lado com outras linguagens como C, C++, Java, JavaScript e Python.
- Rust on Exercism: mais de 100 exercícios para lhe ajudar a aprender Rust.

- Ferrous Teaching Material: uma série de pequenas apresentações abrangendo tanto a parte básica quanto a avançada da Linguagem Rust. Outros tópicos como WebAssembly e async/await também são abordados.
- Testes avançados para aplicações Rust: um workshop autoguiado que vai além do framework de testes integrado do Rust. Ele cobre `googletest`, testes de snapshot, mocking, bem como como escrever seu próprio conjunto de testes personalizado.
- Beginner's Series to Rust e Take your first steps with Rust: dois guias Rust voltados para novos desenvolvedores. O primeiro é um conjunto de 35 vídeos e o o segundo é um conjunto de 11 módulos que cobrem a sintaxe Rust e as construções básicas.
- Learn Rust With Entirely Too Many Linked Lists: exploração aprofundada das regras de gerenciamento de memória do Rust, através da implementação de alguns tipos diferentes de estruturas de lista.

Consulte o Little Book of Rust Books para ainda mais livros sobre Rust.

Capítulo 71

Créditos

O material aqui se baseia em muitas fontes excelentes de documentação do Rust. Consulte a página em outros recursos para obter uma lista completa de recursos úteis .

O material do Comprehensive Rust é licenciado sob os termos da licença Apache 2.0 , consulte `LICENSE` para obter detalhes.

Rust by Example

Alguns exemplos e exercícios foram copiados e adaptados de Rust by Exemplo. por favor veja o diretório `third_party/rust-by-example/` para detalhes, incluindo os termos de licença.

Rust on Exercism

Alguns exercícios foram copiados e adaptados de Rust on Exercism. por favor veja o diretório `third_party/rust-on-exercism/` para obter detalhes, incluindo os termos licença.

CXX

A seção Interoperabilidade com C++ usa uma imagem de CXX. Consulte o diretório `third_party/cxx/` para obter detalhes, incluindo os termos da licença.