# Compiladores – Ambiente de Execução

Fabio Mascarenhas – 2018.1

http://www.dcc.ufrj.br/~fabiom/comp

# O Back-end

- Até agora vimos as fases do *front-end* do compilador:
  - Análise Léxica
  - Análise Sintática
  - Análise Semântica
- O *front-end* verifica se o programa está bem formado, de acordo com as regras da linguagem, e o coloca em uma estrutura adequada para seu processamento
- O *back-end* cuida da transformação do programa para a linguagem destino, e de transformações feitas no programa para tornar o código final mais eficiente

# Geração de Código

- Vamos ver a forma mais simples de back-end, que gera código diretamente a partir da AST do programa, sem se preocupar em melhorar o código resultante

- Mas mesmo um gerador de código ingênuo pode ter uma implementação complexa, a depender da distância entre a linguagem fonte e a linguagem destino

- Vamos ver a geração de código para uma versão simplificada da linguagem de máquina x64, para o compilador TINY

# Organização da Memória

- Antes de tratar da geração de código em sim, precisamos entender como é a estrutura do programa quando ele está sendo executado

- Quais recursos o programa usa em sua execução, e como eles se espalham na memória

- Que construções em tempo de execução correspondem às construções que temos em tempo de compilação: variáveis globais, variáveis locais, procedimentos, parâmetros, métodos, classes, objetos...

- Todas essas construções precisam estar refletidas de alguma forma no código gerado!

# Ativações e Alcance

- Uma chamada de um procedimento (ou função, ou método) *p* é uma *ativação* de *p*

"extent"

- O *alcance* de uma ativação de p compreende todos os passos para executar *p*, incluindo todos os passos para executar procedimentos chamados por *p*

- O *alcance* de uma variável *x* é a porção da execução do programa na qual *x* está definida

  - Em geral, está ligado ao *escopo* de *x*, mas nem sempre

  - Alcance é dinâmico, enquanto escopo é estático

# Alcance x Escopo

- No código em *JavaScript* abaixo, o escopo e o alcance do parâmetro *n* são bem diferentes:

```
function cont(n) {
  return function () {
      n = n + 1;
      return n;
  }
}
var c1 = cont(1);
console.log(c1());
console.log(c1());
var c2 = cont(1);
console.log(c2());
console.log(c1());
console.log(n);
```

```
2
3
2
4
ReferenceError: n is not defined
```

ativação de cont

# Árvore de Ativações

- Quando um procedimento *p* chama um procedimento *q*, *q* sempre retorna antes do retorno de *p*
- O alcance das ativações sempre é corretamente aninhado
- Isso quer dizer que as ativações durante a execução de um programa formam uma *árvore*
- A execução corresponde a um caminho nessa árvore *em profundidade*

# Árvore de Ativações - Exemplo

- Vamos desenhar a árvore de ativações para o programa TINY abaixo:

```
procedure g()
  x := 1
end;

procedure f()
  g()
end;

var x: int;
g();
f();
write x
```

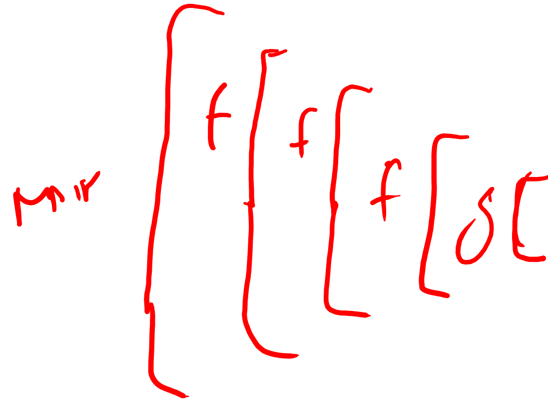
# Árvore de Ativações - Exemplo

- Vamos desenhar a árvore de ativações para o programa TINY abaixo:

```
procedure g()
  x := 1
end;

procedure f()
  var n: int;
  n := x;
  if n < 2 then
    g()
  else
    x := n - 1;
    f();
    x := n * x
  end
end;

var x: int;
x := 3;
f();
write x
```



# Árvore de Ativações - Exemplo

- Vamos desenhar a árvore de ativações para o programa TINY abaixo:

```
procedure g()
  x := 1
end;

procedure f()
  var n: int;
  n := x;
  if n < 2 then
    g()
  else
    x := n - 1;
    f();
    x := n * x
  end
end;

var x: int;
read x;
f();
write x
```

# Árvores de Ativação

- A árvore de ativação depende da execução do programa, e pode ser diferente a depender da entrada para o programa

- Ou seja, a árvore de ativação do programa não pode ser determinada estaticamente!

- Mas como as ativações são sempre aninhadas, podemos manter nossa *posição* na árvore de ativação usando uma *pilha*

- Usando uma pilha podemos facilmente ter procedimentos com mais de uma ativação ao mesmo tempo (funções recursivas)

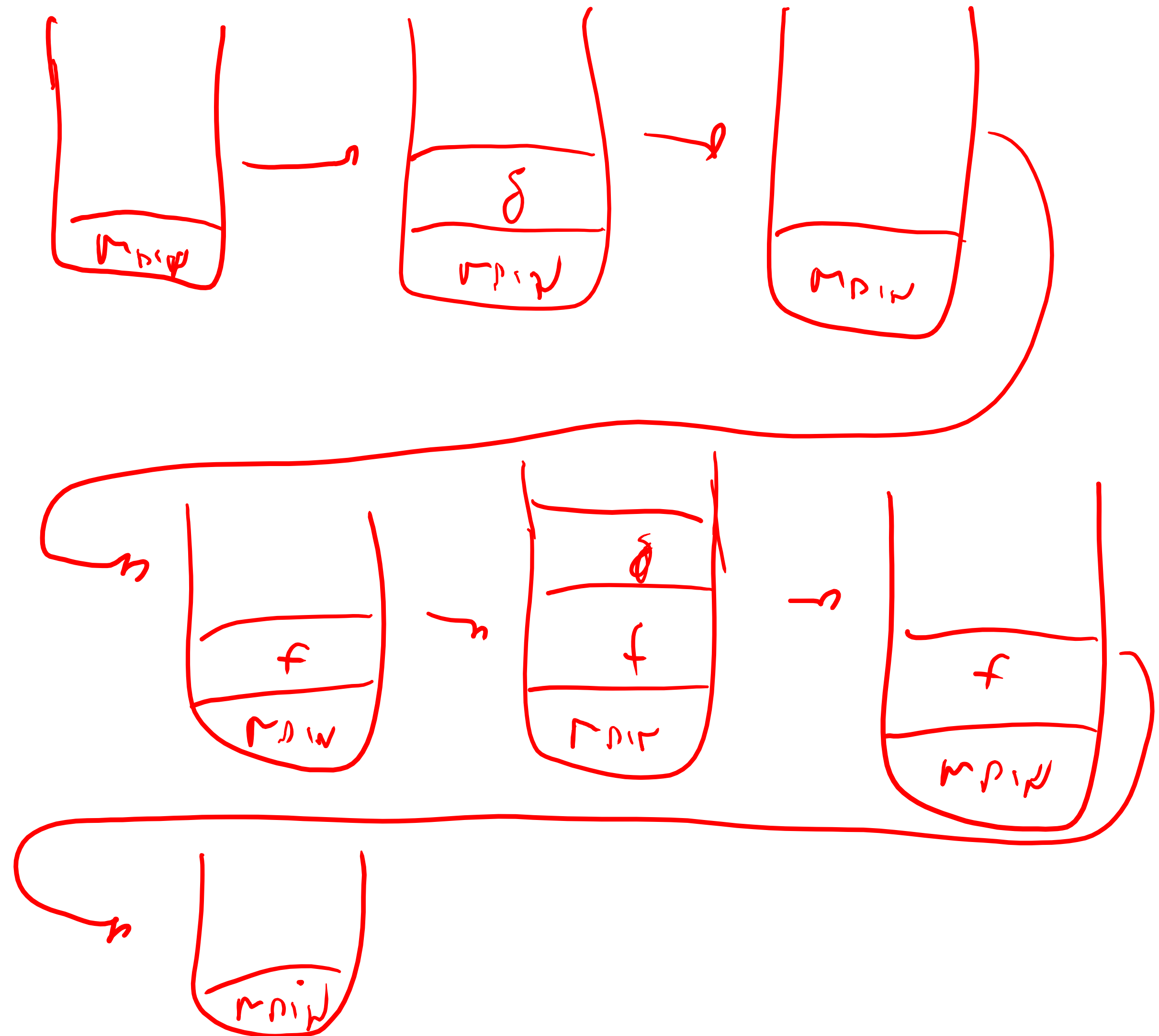
# Pilha de Ativações - Exemplo

- Vamos desenhar a pilha de ativações para o programa TINY abaixo:

```
procedure g()
  x := 1
end;

procedure f()
  g()
end;

var x: int;
g();
f();
write x
```



# Registro de Ativação

- A informação armazenada na pilha para gerenciar uma ativação de um procedimento se chama *registro de ativação* (AR) ou *quadro* (frame)

- O registro de ativação de um procedimento *g* que foi chamado por um procedimento *f* terá informação para:

    - Completar a execução de *g*

    - Retomar a execução de *f* no ponto logo após a chamada de *g*

# Registro de ativação Windows x64

- Área de *spill* para primeiros 4 argumentos
- Argumentos restantes, de trás para frente
- Endereço da instrução seguinte à chamada da função
- Opcionalmente, um ponteiro para o frame da função chamadora
- Variáveis locais
- Espaço para valores temporários e para guardar registradores entre chamadas

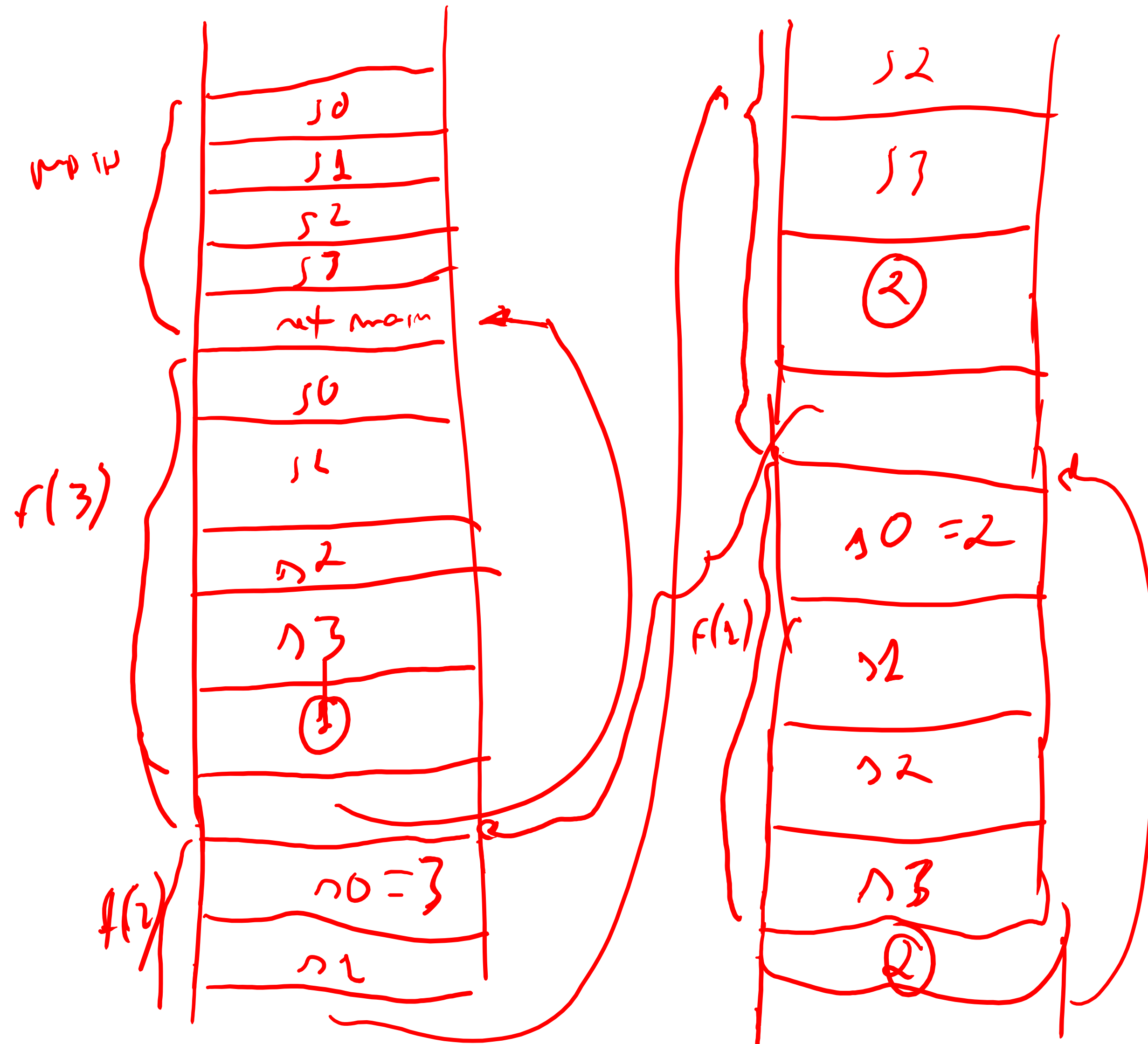
# Registro de Ativação – exemplo

- Vamos desenhar os registros de ativação do programa C abaixo para a ativação da função *g*:

```
static int g() {
  return 1;
}

static int f(int x) {
  if(x < 2)
    return g();
  else
    return x * f(x-1);
}

int main() {
  return f(3);
}
```



# Registro de Ativação

- Na convenção de chamada Windows x64, o valor de retorno da função é colocado em um registrador (RAX ou XMM0)

- Mas outras arquiteturas podem ter registros de ativação diferentes; em Linux x64, por exemplo, mais argumentos são passados em registradores e não na pilha

- O compilador também é livre para ter o seu próprio layout registro de ativação e convenção de chamada, especialmente para procedimentos que não serão "exportados"; bons compiladores tentam usar a pilha o mínimo possível

- Guardar o endereço de retorno na mesma pilha onde estão as variáveis é a origem de muitas falhas de segurança!