

# PICAT: Uma Linguagem de Programação Multiparadigma

Claudio Cesar de Sá, Miguel Alfredo Nunes, Jeferson L. R. Souza

`claudio.sa@udesc.br`  
`miguel.nunes@edu.udesc.br`  
`jeferson.souza@udesc.br`

Departamento de Ciência da Computação – DCC  
Centro de Ciências e Tecnologias – CCT  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

30 de abril de 2019



- Alexandre Gonçalves;
- Hakan Kjellerstrand – (<http://www.hakank.org/picat/>)
- Neng-Fa Zhou – (<http://www.picat-lang.org/>)
- João Herique Faes Battisti;
- Paulo Victor de Aguiar;
- Rogério Eduardo da Silva;
- Outros anônimos que auxiliaram na produção deste documento;



- O que é o PICAT?



- O que é o PICAT?
  - Uma linguagem de programação de propósitos gerais
  - Uma evolução do PROLOG (consagrada linguagem dos primórdios da IA)
  - Tem elementos das linguagens Python, Prolog e Haskell
- Uso e finalidades do PICAT:



- O que é o PICAT?
  - Uma linguagem de programação de propósitos gerais
  - Uma evolução do PROLOG (consagrada linguagem dos primórdios da IA)
  - Tem elementos das linguagens Python, Prolog e Haskell
- Uso e finalidades do PICAT:
  - Uso de programas gerais: de simples à complexos (uma reflexão)
  - Provê suporte há vários *solvers* na área de Pesquisa Operacional
  - Área: IA, programação por restrições, programação inteira, planejamento, combinatória, etc



- Este curso é dirigido a você?



- Este curso é dirigido a você?
- Requisitos:



- Este curso é dirigido a você?
- Requisitos:
  - Conhecimento: noções de lógica matemática (proposicional e primeira-ordem), matemática elementar, e alguma outra linguagem de programação
  - Dedicação: depende de você





- Este curso é dirigido a você?
- Requisitos:
  - Conhecimento: noções de lógica matemática (proposicional e primeira-ordem), matemática elementar, e alguma outra linguagem de programação
  - Dedicação: depende de você
- Motivação:



- Este curso é dirigido a você?
- Requisitos:
  - Conhecimento: noções de lógica matemática (proposicional e primeira-ordem), matemática elementar, e alguma outra linguagem de programação
  - Dedicação: depende de você
- Motivação:
  - Dependendo de sua dedicação, ao final você vai estar apto a resolver problemas computacionais de simples à difíceis
  - Difícil: muitas linhas de código e muito conhecimento de algoritmos seriam necessários
  - Com Picat, há sofisticados esquemas prontos para se construir programas.



- Recursos computacionais:



- Recursos computacionais:  
Binários disponíveis para Linux, Mac e Windows e Código fonte (em C) também disponível
- Comunidade e ações: <http://picat-lang.org>



- Recursos computacionais:  
Binários disponíveis para Linux, Mac e Windows e Código fonte (em C) também disponível
- Comunidade e ações: <http://picat-lang.org>
- Códigos e este material, sempre atualizados em:



- Recursos computacionais:  
Binários disponíveis para Linux, Mac e Windows e Código fonte (em C) também disponível
- Comunidade e ações: <http://picat-lang.org>
- Códigos e este material, sempre atualizados em:
  - Este PDF e seu texto original:  
[http://github.com/claudiosa/Slides\\_Picat](http://github.com/claudiosa/Slides_Picat) (em código  $\text{\LaTeX}$ )
  - Os códigos fontes dos programas:  
<http://github.com/claudiosa/CCS/picat>
- Além do material aqui disponível em PDF, o mais importante do curso vai estar na interatividade da minha **apresentação oral**.



- Há alguns pontos do curso que estão repetidos:  
*propositalmente!*



- Há alguns pontos do curso que estão repetidos:  
*propositalmente!*  
Reforça os erros que cometi um dia!





- Há alguns pontos do curso que estão repetidos:  
*propositalmente!*  
Reforça os erros que cometi um dia!
- As aulas aqui apresentadas **não** serão regravadas!



- Há alguns pontos do curso que estão repetidos:  
*propositalmente!*  
Reforça os erros que cometi um dia!
- As aulas aqui apresentadas **não** serão regravadas!
- Contudo, o texto completo, incluindo os fontes dos programas:  
**SIM**  
Pois sempre há perguntas, melhoramentos, etc, que elucidam os pontos aqui abordados.



- Há alguns pontos do curso que estão repetidos:  
*propositalmente!*  
Reforça os erros que cometi um dia!
- As aulas aqui apresentadas **não** serão regravadas!
- Contudo, o texto completo, incluindo os fontes dos programas:  
**SIM**  
Pois sempre há perguntas, melhoramentos, etc, que elucidam os pontos aqui abordados.
- Na parte teórica da definição do Picat, mantive os padrões descritos no manual da linguagem (<http://picat-lang.org>).



- Além desta apresentação do curso, você pode assistir uma parte deste curso em aulas que fiz para o Youtube, há alguns anos atrás:



- Além desta apresentação do curso, você pode assistir uma parte deste curso em aulas que fiz para o Youtube, há alguns anos atrás:
- Videoaula 01: Introdução ao PICAT  
<https://www.youtube.com/watch?v=0DmTyFFQPK8>



- Além desta apresentação do curso, você pode assistir uma parte deste curso em aulas que fiz para o Youtube, há alguns anos atrás:
- Videoaula 01: Introdução ao PICAT  
<https://www.youtube.com/watch?v=0DmTyFFQPK8>
- Videoaula 02: Tipos de Dados do PICAT  
<https://www.youtube.com/watch?v=7fPKPd0ZDnc>
- Estas videoaulas foram refeitas e encontram-se com uma outra abordagem neste curso.



- Assim, ao final deste curso terás uma sólida visão de uma ferramenta computacional, utilizada em várias áreas tais como: modelagem matemática, IA, Pesquisa Operacional, etc



- Assim, ao final deste curso terás uma sólida visão de uma ferramenta computacional, utilizada em várias áreas tais como: modelagem matemática, IA, Pesquisa Operacional, etc
- Ao final você vai conseguir resolver problemas com alguma complexidade e ler códigos de grandes programadores da área: Barták, Neng-Fa, Hakank, Dymichenko, etc





- Assim, ao final deste curso terás uma sólida visão de uma ferramenta computacional, utilizada em várias áreas tais como: modelagem matemática, IA, Pesquisa Operacional, etc
- Ao final você vai conseguir resolver problemas com alguma complexidade e ler códigos de grandes programadores da área: Barták, Neng-Fa, Hakank, Dymichenko, etc
- Em resumo, este material é um guia para o seu desenvolvimento, com explicações nestas aulas, que funcionam como um *atalho* de horas de estudo sobre vários temas apresentados.



- Assim, ao final deste curso terás uma sólida visão de uma ferramenta computacional, utilizada em várias áreas tais como: modelagem matemática, IA, Pesquisa Operacional, etc
- Ao final você vai conseguir resolver problemas com alguma complexidade e ler códigos de grandes programadores da área: Barták, Neng-Fa, Hakank, Dymichenko, etc
- Em resumo, este material é um guia para o seu desenvolvimento, com explicações nestas aulas, que funcionam como um *atalho* de horas de estudo sobre vários temas apresentados.
- Tópicos cobertos no curso: ver índice



## 1 Apresentação ao Curso de PICAT

## 2 Introdução

Estrutura da Linguagem

Paradigmas

Usando Picat

## 3 Tipos de Dados e Variáveis

Tipos de Dados

Variáveis

Unificação e Atribuição

Tabela de Operadores

Operadores Especiais

## 4 Predicados e Funções

Casamento de Padrões

Funções

Relembrando as Regras

Regras do Tipo Fatos

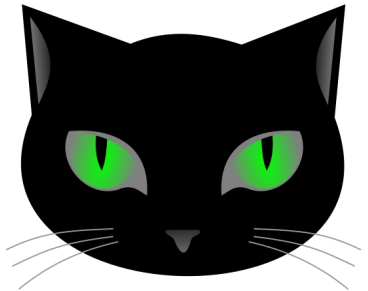
Exemplos



- ⑤ Comandos Condicionais, Laços e Repetições  
Funções e Predicados Especiais
- ⑥ Recursão  
Recursão  
*Backtracking*
- ⑦ Listas
- ⑧ Buscas
- ⑨ Programação Dinâmica
- ⑩ Planejamento
- ⑪ Programação por Restrições
- ⑫ Conclusões  
Faltando  
Agradecimentos



- Histórico
- Contexto
- Exemplo: *Alo Mundo*
- Como usar
- Site e recursos



- Criada em 2013 por Neng-Fa Zhou e Jonathan Fruhman
- Utiliza o B-Prolog como base de implementação, tendo a Lógica de Primeira-Ordem (LPO) como parte de seu mecanismo programação



- Criada em 2013 por Neng-Fa Zhou e Jonathan Fruhman
- Utiliza o B-Prolog como base de implementação, tendo a Lógica de Primeira-Ordem (LPO) como parte de seu mecanismo programação
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de sucesso!



- Criada em 2013 por Neng-Fa Zhou e Jonathan Fruhman
- Utiliza o B-Prolog como base de implementação, tendo a Lógica de Primeira-Ordem (LPO) como parte de seu mecanismo programação
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de sucesso!
- Sua atual versão é a 2.x (30 de abril de 2019).





- Criada em 2013 por Neng-Fa Zhou e Jonathan Fruhman
- Utiliza o B-Prolog como base de implementação, tendo a Lógica de Primeira-Ordem (LPO) como parte de seu mecanismo programação
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de sucesso!
- Sua atual versão é a 2.x (30 de abril de 2019).
- Código-aberto, segue as regras da FSF



- Picat é uma linguagem de programação simples de usar, poderosa e multi-uso
- Alguma de suas características são associadas com linguagens lógicas, como Prolog, B-Prolog, Goedel, etc



- Picat é uma linguagem de programação simples de usar, poderosa e multi-uso
- Algumas de suas características são associadas com linguagens lógicas, como Prolog, B-Prolog, Goedel, etc
- Picat é uma linguagem essencialmente multiparadigma, abrangendo partes de vários paradigmas de programação: declarativo (lógico e funcional) e imperativo



# O que é ser Multiparadigma ?

- Paradigma: um conjunto de características baseado em alguma abordagem teórica



# O que é ser Multiparadigma ?

- Paradigma: um conjunto de características baseado em alguma abordagem teórica
- Picat é uma linguagem multiparadigma pois abrange os seguintes paradigmas:
  - Lógico
  - Funcional
  - Procedural



# O que é ser Multiparadigma ?

- Paradigma: um conjunto de características baseado em alguma abordagem teórica
- Picat é uma linguagem multiparadigma pois abrange os seguintes paradigmas:
  - Lógico
  - Funcional
  - Procedural
- Em resumo, *uma boa mistura* de: Haskell (Funcional) , Prolog (Lógica) e Python (Procedural e Funcional).



- Uma linguagem lógica é uma onde o programa é expresso como um conjunto de predicados lógicos, escritos por  *fatos* e  *regras*



- Uma linguagem lógica é uma onde o programa é expresso como um conjunto de predicados lógicos, escritos por  *fatos*  e  *regras*
- Regras são escritas em formas de cláusulas, as quais são interpretadas como implicações lógicas.  
Dependem das premissas serem verdadeiras para esta ser verdadeira.





- Uma linguagem lógica é uma onde o programa é expresso como um conjunto de predicados lógicos, escritos por *fatos* e *regras*
- Regras são escritas em formas de cláusulas, as quais são interpretadas como implicações lógicas.  
Dependem das premissas serem verdadeiras para esta ser verdadeira.
- Fatos são cláusulas sem premissas, verdades absolutas.



- Uma linguagem lógica é uma onde o programa é expresso como um conjunto de predicados lógicos, escritos por *fatos* e *regras*
- Regras são escritas em formas de cláusulas, as quais são interpretadas como implicações lógicas.  
Dependem das premissas serem verdadeiras para esta ser verdadeira.
- Fatos são cláusulas sem premissas, verdades absolutas.
- Este paradigma é a **base** do Picat



- Uma linguagem funcional é uma onde os elementos do programa podem ser avaliados e tratados como funções matemáticas.



- Uma linguagem funcional é uma onde os elementos do programa podem ser avaliados e tratados como funções matemáticas.
- Um dos principais motivos em usar linguagens funcionais é a previsibilidade e facilidade no entendimento do estado atual do programa.



- Uma linguagem funcional é uma onde os elementos do programa podem ser avaliados e tratados como funções matemáticas.
- Um dos principais motivos em usar linguagens funcionais é a previsibilidade e facilidade no entendimento do estado atual do programa.
- Este fato de uma sintaxe simples, torna o Picat intuitivo e legível na funcionalidade de seus códigos.



- Uma linguagem procedural é uma que pode ser subdividida em *procedimentos*, também chamados de rotinas, subrotinas ou funções



- Uma linguagem procedural é uma que pode ser subdividida em *procedimentos*, também chamados de rotinas, subrotinas ou funções
- Em linguagens procedurais há um procedimento principal (em geral é chamado de *Main*) que controla o uso e a chamada de outros procedimentos. Em Picat há tal hierarquia.



- Uma linguagem procedural é uma que pode ser subdividida em *procedimentos*, também chamados de rotinas, subrotinas ou funções
- Em linguagens procedurais há um procedimento principal (em geral é chamado de *Main*) que controla o uso e a chamada de outros procedimentos. Em Picat há tal hierarquia.
- Em Picat, cada premissa é tratada como um procedimento, que é resolvido por meio de métodos de inferência lógica.

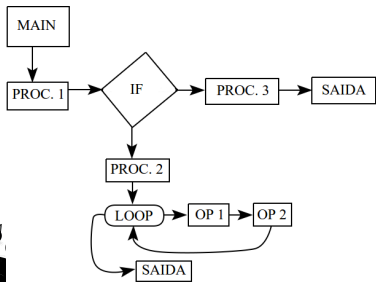


Figura 1: Fluxograma representando a estrutura de um programa Procedural





# Algumas Características:



- Sintaxe elegante e simples, facilitando a leitura e entendimento do código



- Sintaxe elegante e simples, facilitando a leitura e entendimento do código
- Velocidade de execução em um ambiente *interpretado* (há uma *máquina virtual* como Python, Java e alguns Prologs)



- Sintaxe elegante e simples, facilitando a leitura e entendimento do código
- Velocidade de execução em um ambiente *interpretado* (há uma *máquina virtual* como Python, Java e alguns Prologs)
- Disponibilidade em vários sistemas operacionais e arquiteturas



- Sintaxe elegante e simples, facilitando a leitura e entendimento do código
- Velocidade de execução em um ambiente *interpretado* (há uma *máquina virtual* como Python, Java e alguns Prologs)
- Disponibilidade em vários sistemas operacionais e arquiteturas
- Análogo a Python, podem ser feitas *queries* ou *consultas* ao terminal de Picat.



- Sintaxe elegante e simples, facilitando a leitura e entendimento do código
- Velocidade de execução em um ambiente *interpretado* (há uma *máquina virtual* como Python, Java e alguns Prologs)
- Disponibilidade em vários sistemas operacionais e arquiteturas
- Análogo a Python, podem ser feitas *queries* ou *consultas* ao terminal de Picat.
- Há várias bibliotecas da própria linguagem, e diversas ferramentas externas permitindo o incremento do poder do Picat.



- P:** *Pattern-matching*: Utiliza o conceito de *casamento de padrões* entre objetos, bem como os conceitos da *unificação* da LPO
- I:** *Intuitive*: Oferece estruturas de decisão, atribuição e laços de repetição, etc. Análogo há outras linguagens de programação mais populares
- C:** *Constraints*: Suporta a programação por restrições (PR) para problemas combinatórios
- A:** *Actors*: Suporte as chamadas a eventos, chamada via *atores*
- T:** *Tabling*: Implementa a técnica de *memoization* com soluções imediatas para problemas de Programação Dinâmica (PD).



- Baixar a versão desejada de:  
`http://picat-lang.org/download.html`





- Baixar a versão desejada de:  
`http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: `/usr/local/Picat/` ou `/opt/Picat/` no Linux e IOS



- Baixar a versão desejada de:  
`http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: `/usr/local/Picat/` ou `/opt/Picat/` no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):  
`ln -s /usr/local/Picat/picat /usr/bin/picat`



- Baixar a versão desejada de:  
`http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: `/usr/local/Picat/` ou `/opt/Picat/` no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):  
`ln -s /usr/local/Picat/picat /usr/bin/picat`
- Se quiser adicionar (opcional) uma variável de ambiente:  
`PICATPATH=/usr/local/Picat/`  
`export PICATPATH`



- Baixar a versão desejada de:  
`http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: `/usr/local/Picat/` ou `/opt/Picat/` no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):  
`ln -s /usr/local/Picat/picat /usr/bin/picat`
- Se quiser adicionar (opcional) uma variável de ambiente:  
`PICATPATH=/usr/local/Picat/`  
`export PICATPATH`
- Ou ainda, adicione o caminho:  
`PATH=$PATH:/usr/local/Picat`



- Baixar a versão desejada de:  
`http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: `/usr/local/Picat/` ou `/opt/Picat/` no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):  
`ln -s /usr/local/Picat/picat /usr/bin/picat`
- Se quiser adicionar (opcional) uma variável de ambiente:  
`PICATPATH=/usr/local/Picat/`  
`export PICATPATH`
- Ou ainda, adicione o caminho:  
`PATH=$PATH:/usr/local/Picat`
- Finalmente, tenha um editor de texto apropriado.  
Sugestão: *Geany*, *Sublime* ou *VS Code*.



- Baixar a versão desejada de:  
`http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: `/usr/local/Picat/` ou `/opt/Picat/` no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):  
`ln -s /usr/local/Picat/picat /usr/bin/picat`
- Se quiser adicionar (opcional) uma variável de ambiente:  
`PICATPATH=/usr/local/Picat/`  
`export PICATPATH`
- Ou ainda, adicione o caminho:  
`PATH=$PATH:/usr/local/Picat`
- Finalmente, tenha um editor de texto apropriado.  
Sugestão: *Geany*, *Sublime* ou *VS Code*.
- Editor on-line mantido pelo Alexandre:  
`http://retina.inf.ufsc.br/picat.html`



- Baixar a versão desejada de:  
`http://picat-lang.org/download.html`
- Descompactar. Em geral em: `/usr/local/Picat/` ou `/opt/Picat/` no Linux e IOS
- Criar um link simbólico (Linux) ou atalhos (Windows):  
`ln -s /usr/local/Picat/picat /usr/bin/picat`
- Se quiser adicionar (opcional) uma variável de ambiente:  
`PICATPATH=/usr/local/Picat/`  
`export PICATPATH`
- Ou ainda, adicione o caminho:  
`PATH=$PATH:/usr/local/Picat`
- Finalmente, tenha um editor de texto apropriado.  
Sugestão: *Geany*, *Sublime* ou *VS Code*.
- Editor on-line mantido pelo Alexandre:  
`http://retina.inf.ufsc.br/picat.html`
- Se não tiver *plugin* para Picat, escolha a sintaxe da linguagem *Erlang*.



- Os seus arquivos fontes utilizam a extensão **.pi**. Exemplo: `programa.pi`
- Há dois modos principais de utilização do Picat:
  - Modo interativo, onde seu código é digitado e compilado diretamente na linha de comando;
  - *Modo console* onde o console só é utilizado para compilar seus programas.





- Os seus arquivos fontes utilizam a extensão **.pi**. Exemplo: `programa.pi`
- Há dois modos principais de utilização do Picat:
  - Modo interativo, onde seu código é digitado e compilado diretamente na linha de comando;
  - *Modo console* onde o console só é utilizado para compilar seus programas.
- Códigos executáveis 100% **stand-alone**: ainda não!
- Neste quesito, estamos em igualdade com Java, Prolog e Python



Acompanhar as explicações do código de:

[https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/alo\\_mundo.pi](https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/alo_mundo.pi)

```
main => msg_01  ,  
        msg_02 .
```

```
msg_01 => printf("  ALO MUNDO!!! ").  
msg_02 => printf("\n  FIM \n").
```



# Execução na Console Linux ou Windows

```
$ picat alo_mundo.pi  
  ALO MUNDO!!!  
  FIM  
$
```



```
$ picat alo_mundo.pi  
  ALO MUNDO!!!  
  FIM  
$
```

Análogo ao desenvolvimento com Python!



# Execução no Ambiente do Interpretador

```
$ picat
Picat 2.0, (C) picat-lang.org, 2013-2016.
Type 'help' for help.
Picat> cl(álo_mundo.pi').
Compiling:: alo_mundo.pi
alo_mundo.pi compiled in 0 milliseconds
loading...
```

yes

```
Picat> main
    ALO MUNDO!!!
    FIM
```

yes

```
Picat> msg_02
```

FIM



yes

# Ambiente do Interpretador – Uso do `getline`

- Inicialmente, aqui o código foi carregado com o comando '`c1`' (digite `help` na console), o qual **compila** o seu código e **carrega** em um código intermediário pronto para ser executado e testado



# Ambiente do Interpretador – Uso do `getline`

- Inicialmente, aqui o código foi carregado com o comando '`c1`' (digite `help` na console), o qual **compila** o seu código e **carrega** em um código intermediário pronto para ser executado e testado
- Neste ambiente interpretado há comandos básicos de teclado (mouse não funciona aqui) do programa `getline` do Linux. Os mais importantes são:



# Ambiente do Interpretador – Uso do getline

- Inicialmente, aqui o código foi carregado com o comando 'c1' (digite `help` na console), o qual **compila** o seu código e **carrega** em um código intermediário pronto para ser executado e testado
- Neste ambiente interpretado há comandos básicos de teclado (mouse não funciona aqui) do programa `getline` do Linux. Os mais importantes são:
  - **Ctrl-a**: move o cursor para o início da linha
  - **Ctrl-e**: move o cursor para o final da linha (*end*)
  - **Ctrl-f**: move o cursor de uma posição a frente (*forward*)
  - **Ctrl-b**: move o cursor de uma posição para trás (*backward*)
  - **Ctrl-d**: exclui o carácter sob o cursor (a 2a. vez – sai do ambiente)
  - **Ctrl-u**: exclui a linha inteira
  - As flechas ... repetem os últimos comandos





- Use um editor externo de sua preferência. Por exemplo: geany com plugin do Picat



- Use um editor externo de sua preferência. Por exemplo: geany com plugin do Picat
- Mantenha duas janelas de terminais abertas
  - Uma para o ambiente interpretado
  - Outra para usá-lo diretamente: `$console$ picat seu_programa.pi`



- Use um editor externo de sua preferência. Por exemplo: geany com plugin do Picat
- Mantenha duas janelas de terminais abertas
  - Uma para o ambiente interpretado
  - Outra para usá-lo diretamente: `$console$ picat seu_programa.pi`
- Os dois modos são importantes de se trabalhar simultaneamente



- Use um editor externo de sua preferência. Por exemplo: geany com plugin do Picat
- Mantenha duas janelas de terminais abertas
  - Uma para o ambiente interpretado
  - Outra para usá-lo diretamente: `$console$ picat seu_programa.pi`
- Os dois modos são importantes de se trabalhar simultaneamente
- Em dúvidas, digite: `Picat> help .`



- O conteúdo desta parte do curso pode ser complementado com a **Videoaula 01: Introdução ao PICAT**, disponível no Youtube:

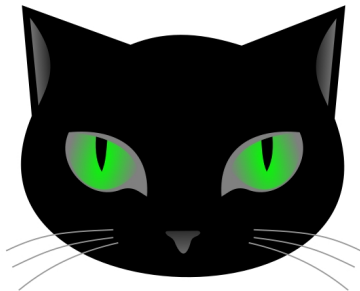
<https://www.youtube.com/watch?v=0DmTyFFQPK8>



- O conteúdo desta parte do curso pode ser complementado com a **Videoaula 01: Introdução ao PICAT**, disponível no Youtube:  
<https://www.youtube.com/watch?v=0DmTyFFQPK8>
- Para próxima seção esteja com o Picat instalado em seu computador para um melhor aproveitamento.



- Contextualizar
- Definições
- Exemplos



- Em projetos de linguagens de programação há dois tipos de verificação do tipo de dados: estática e dinâmica





- Em projetos de linguagens de programação há dois tipos verificação do tipo de dados: estática e dinâmica
- A verificação de tipos dados estática em *tempo de compilação*.



- Em projetos de linguagens de programação há dois tipos verificação do tipo de dados: estática e dinâmica
- A verificação de tipos dados estática em *tempo de compilação*.
- Enquanto a dinâmica em *tempo de execução*.



- Em projetos de linguagens de programação há dois tipos de verificação do tipo de dados: estática e dinâmica
- A verificação de tipos dados estática em *tempo de compilação*.
- Enquanto a dinâmica em *tempo de execução*.
- Linguagens fortemente tipadas, tais como Java, Haskell e Pascal, exigem que o tipo do dado (conteúdo) seja do mesmo tipo da variável ao qual este valor será atribuído. Tudo isto é pré-definido durante a fase da *compilação*.



- Nas linguagens interpretadas, com uma máquina virtual, esta definição é feita durante a *execução* do programa. Exemplo: Java é uma linguagem com tipagem estática que é executada em uma máquina virtual.



- Nas linguagens interpretadas, com uma máquina virtual, esta definição é feita durante a *execução* do programa. Exemplo: Java é uma linguagem com tipagem estática que é executada em uma máquina virtual.
- Prós e contras sobre a melhor tipagem de dados, esta é uma discussão que fica de lado neste momento, neste contexto



- Nas linguagens interpretadas, com uma máquina virtual, esta definição é feita durante a *execução* do programa. Exemplo: Java é uma linguagem com tipagem estática que é executada em uma máquina virtual.
- Prós e contras sobre a melhor tipagem de dados, esta é uma discussão que fica de lado neste momento, neste contexto
- Em resumo Picat, tem uma tipagem **dinâmica** e é compilado para uma máquina virtual própria.



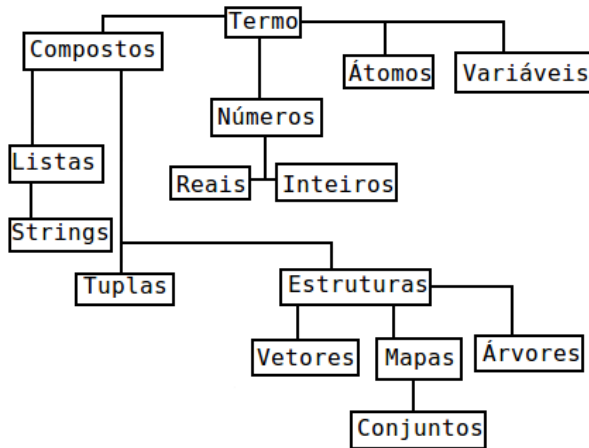


Figura 2: Hierarquia dos Tipos de Dados



- Em Picat, variáveis e valores são *genericamente* chamados de *termos*





- Em Picat, variáveis e valores são *genericamente* chamados de *termos*
- Os valores são subdivididos em duas categorias, números e valores compostos
- Os números, por suas vez, podem ser inteiros ou reais, e valores compostos podem ser listas e estruturas



- Átomos são constantes simbólicas, podendo ser delimitados ou não, por aspas simples.
- Carácteres são representados por átomos de comprimento 1.
- Átomos não delimitados por aspas simples, nunca começam com uma letra maiúscula, nem número ou *underscore*.



- Átomos são constantes simbólicas, podendo ser delimitados ou não, por aspas simples.
- Carácteres são representados por átomos de comprimento 1.
- Átomos não delimitados por aspas simples, **nunca** começam com uma letra maiúscula, nem número ou *underscore*.

## Exemplos

x    x\_1    ' \_ '    '\\ '    'a\'b\n'    '\_ab'    '\$%'



Números se dividem em:

- **Inteiro:** Inteiros podem ser representados por números binários, octais, decimais ou hexadecimais.

## Exemplos

|        |   |
|--------|---|
| 12_345 | 12345 em notação decimal, usando _ como separador |
| 0b100  | 4 em notação binária                              |
| 0o73   | 59 em notação octal                               |
| 0xf7   | 247 em notação hexadecimal                        |

O **underscore** é ignorado pelo compilador e o interpretador.



- **Real:** Números reais são compostos por um parte inteira, um ponto, seguido por uma fração decimal, ou um expoente.
- Se existe uma parte inteira em um número real então ela deve ser seguida por uma fração ou um expoente. Isso é necessário para distinguir um número real de um número inteiro.

## Exemplos

12.345    0.123    12-e10    0.12E10



- Termos compostos podem conter mais de um valor ao mesmo tempo.



- Termos compostos podem conter mais de um valor ao mesmo tempo.
- Termos compostos são acessados pela notação de índice, começando a partir de 1 e indo até  $N$ , onde  $N$  é o tamanho deste termo.



- Termos compostos podem conter mais de um valor ao mesmo tempo.
- Termos compostos são acessados pela notação de índice, começando a partir de 1 e indo até  $N$ , onde  $N$  é o tamanho deste termo.
- Se dividem em Listas e Estruturas.





Listas são agrupamentos de valores quaisquer sem ordem e sem tamanho pré-definido. Seu tamanho não é armazenado na memória, sendo necessário recalculá-lo sempre que necessário seu uso. Listas são encapsuladas por colchetes.

### Exemplos

[1,2,3,4,5] [a,b,32,1.5,aaac] ["string",14,22]

Há uma seção dedicada a esta poderosa estrutura de dados!



*Strings* são listas especiais que contém somente carácteres. *Strings* podem ser inicializadas como uma sequência de carácteres encapsulados por aspas duplas, ou como uma sequência de carácteres dentro colchetes separados por vírgulas.

## Exemplos

```
"Hello" "World!" "\n" [o,l,a," ",m,u,n,d,o]
```



- Tuplas é um conjunto de termos não-ordenados, podendo ser acessados por notação de índice assim como listas.
- Tuplas são estáticas, ou seja, os termos contidos em uma tupla não podem ser alterados, assim como não podem ser adicionados ou removidos termos de tuplas.
- Tuplas são encapsuladas por parênteses e seus termos são separados por vírgulas.

## Exemplos

(1,2,3,4,5) (a,b,32,1.5,aaac) ("string",14,22)

Em geral, usamos as tuplas dentro de listas.



Estruturas são termos especiais que podem ser definidos pelo usuário. Estruturas tomam a seguinte forma:

$$s(t_1, \dots, t_n)$$

Onde ' $s$ ' é um átomo que denomina a estrutura, cada ' $t_i$ ' é um de seus termos, e ' $n$ ' é a aridade ou tamanho da estrutura.

## Exemplo

`$ponto(1,2)`   `$pessoa(jose, "123.456.789.00", "1.234.567")`



Estruturas são termos especiais que podem ser definidos pelo usuário. Estruturas tomam a seguinte forma:

$$\$s(t_1, \dots, t_n)$$

Onde ' $s$ ' é um átomo que denomina a estrutura, cada ' $t_i$ ' é um de seus termos, e ' $n$ ' é a aridade ou tamanho da estrutura.

## Exemplo

\$ponto(1,2)   \$pessoa(jose, "123.456.789.00", "1.234.567")

**Temos 4 outras estruturas que não usam o símbolo \$, são elas:**



Vetores ou *arrays* são estruturas especiais do tipo:

$$\{t_1, \dots, t_n\}$$



Vetores ou *arrays* são estruturas especiais do tipo:

$$\{t_1, \dots, t_n\}$$

- Vetor é um conjunto ordenado de tamanho  $n$ , delimitado por ' $\{\}$ '.
- Vetores tem comportamentos análogo às listas, tanto é que quase todas as funções de listas são sobrecarregadas para vetores.
- A diferença entre vetores e listas é que vetores tem um tamanho constante.
- Vetores são muito práticos quando se manipula matrizes na entrada



## Exemplos

$\{1,2,3,4,5\}$     $\{a,b,32,1.5,aaac\}$     $\{"string",14,22\}$

- **Mapas** são estruturas especiais que são conjuntos de relações do tipo chave-valor.
- **Conjuntos** são sub-tipos de mapas onde todas as chaves estão relacionadas com o átomo `not_a_value`.
- *Heaps* são árvores binárias completas representadas como vetores. Árvores podem ser do tipo *máximo*, onde o maior valor está na raiz, ou *mínimo*, onde o menor valor está na raiz.





- Picat é uma linguagem de Tipagem Dinâmica, ou seja, o tipo de uma variável é validado durante a execução do programa
- Isto é, quando uma variável é criada, seu tipo não é instanciado
- Variáveis são análogas as da matemática, são símbolos que *seguram* ou representam um valor
- Ao contrário de variáveis em linguagens imperativas, variáveis em Picat não são endereços simbólicos de locais na memória
- Uma variável é dita *livre* (*free*) se não contém nenhum valor, e dita *instanciada* (*bound*) se ela contém um valor
- Uma vez que uma variável é instanciada, ela permanece com este valor na execução atual
- Por isso, diz-se que variáveis em Picat são de *atribuição única*



- O nome de variáveis devem sempre ser iniciado com letras maiúsculas ou com o carácter *underscore* (`_`), porém;
  - Variáveis cujo nome é unicamente um caractere `_` são chamadas de *variáveis anônimas*.
  - As *variáveis anônimas* podem receber qualquer valor não os guardam durante a execução do programa;
  - Num mesmo programa, podem existir diversas variáveis anônimas, instanciadas durante a execução do mesmo



Há dois modos de definir valores às variáveis:



Há dois modos de definir valores às variáveis:

- Unificação usa o operador '='
- Atribuição usa o operador ':='



- A Unificação é uma operação que instancia uma variável a um termo, substituindo toda ocorrência dessa variável pelo valor



- A Unificação é uma operação que instancia uma variável a um termo, substituindo toda ocorrência dessa variável pelo valor
- Caso ocorra uma instância que não falhe nenhuma situação a variável é unificada à este termo ou padrão.



- A Unificação é uma operação que instancia uma variável a um termo, substituindo toda ocorrência dessa variável pelo valor
- Caso ocorra uma instância que não falhe nenhuma situação a variável é unificada à este termo ou padrão.
- Uma instanciação é indefinida até que se encontre um valor que possa ser unificada a uma variável.



- A Unificação é uma operação que instancia uma variável a um termo, substituindo toda ocorrência dessa variável pelo valor
- Caso ocorra uma instância que não falhe nenhuma situação a variável é unificada à este termo ou padrão.
- Uma instanciação é indefinida até que se encontre um valor que possa ser unificada a uma variável.
- Termos são ditos unificáveis se são idênticos ou podem ser tornados idênticos instanciando variáveis nos termos.





## Exemplo

```
Picat> X = 1
X = 1
Picat> $f(a,b) = $f(a,b)
yes
Picat> [H|T] = [a,b,c]
H = a
T = [b,c]
Picat> $f(X,b) = $f(a,Y)
X = a
Y = b
Picat> bind_vars({X,Y,Z},a)
Picat> X = $f(X)
```

Cuidar neste último caso, há um laço infinito nesta chamada!



- A atribuição simula a atribuição em linguagens imperativas



- A atribuição simula a atribuição em linguagens imperativas
- Permite que variáveis assumam novos valores durante a execução do programa



- A atribuição simula a atribuição em linguagens imperativas
- Permite que variáveis assumam novos valores durante a execução do programa
- O escopo da atribuição da variável é local e volátil



- A atribuição simula a atribuição em linguagens imperativas
- Permite que variáveis assumam novos valores durante a execução do programa
- O escopo da atribuição da variável é local e volátil
- Na unificação, uma nova variável temporária é criada afim de substituir um valor atribuído ou outra variável.



## Exemplo

`teste => X = 0, X := X + 1, X := X + 2, write(X).`

- Neste exemplo  $X$  é unificado a 0.
- Em seguida, há uma atribuição  $X$  a  $X + 1$ , porém  $X$  já foi unificado a um termo.
- Então, outras operações devem ser feitas para que esta atribuição seja possível.
- Nesse caso, o compilador cria uma variável temporária,  $X1$  por exemplo, e unifica com  $X + 1$ . Cada vez que  $X$  for instanciado, o compilador/programa atualiza em  $X1$ .
- O mesmo ocorre na atribuição  $X1 := X1 + 2$ , neste caso uma outra variável temporária é criada, por exemplo  $X2$ , e o processo se repetido.



## Exemplo

Portanto, estas atribuições sucessivas são compiladas como:



## Exemplo

Portanto, estas atribuições sucessivas são compiladas como:

```
test => X = 0, X1 = X + 1, X2 = X1 + 2, write(X2).
```





## Exemplos de Variáveis Válidas

|           |          |          |
|-----------|----------|----------|
| X1        | _        | _ab      |
| X         | A        | Variavel |
| _invalido | _correto | _aa      |

⇒ Relembrando, um nome de variável é válido se começa com letra **maiúscula** ou **\_**



## Exemplos de Variáveis Inválidas

|         |          |        |
|---------|----------|--------|
| 1_Var   | variável | valida |
| 23      | "correto | 'termo |
| !numero | \$valor  | #comum |



Tabela 1: Operadores Aritméticos em Ordem de Precedência

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| $X ** Y$                          | Potenciação                                |
| $X * Y$                           | Multiplicação                              |
| $X / Y$                           | Divisão, resulta em um real                |
| $X // Y$                          | Divisão de Inteiros, resulta em um inteiro |
| $X \text{ mod } Y$                | Resto da Divisão                           |
| $X + Y$                           | Adição                                     |
| $X - Y$                           | Subtração                                  |
| <i>Inicio ..<br/>Passo .. Fim</i> | Uma série (lista) de números com um passo  |
| <i>Inicio .. Fim</i>              | Uma série (lista) de números com passo 1   |



Tabela 2: Tabela de Operadores Completa em Ordem de Precedência

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| Ops Aritméticos | Ver Tabela ??                        |
| ++              | Concatenação de Listas/Vetores       |
| = :=            | Unificação e Atribuição              |
| == ==:=         | Equivalência e Equivalência Numérica |
| != !===         | Não Unificável e Diferença           |
| < =< <=         | Menor que                            |
| > >=            | Maior que                            |
| in              | Contido em                           |
| not             | Negação Lógica                       |
| , &&            | Conjunção Lógica                     |
| ;               | Disjunção Lógica                     |



## Operadores de Termos Não-Compostos

- **Equivalência(==)**: compara se dois termos são iguais.  
No caso de termos compostos, eles são ditos equivalentes se todos os termos contidos em si são equivalentes. O compilador considera termos de tipos diferentes como totalmente diferentes, portanto a comparação  $1.0 == 1$  seria avaliada como falsa, mesmo que os valores sejam iguais. Nesses casos, usa-se a *Equivalência Numérica*.



## Operadores de Termos Não-Compostos

- **Equivalência(==)**: compara se dois termos são iguais.  
No caso de termos compostos, eles são ditos equivalentes se todos os termos contidos em si são equivalentes. O compilador considera termos de tipos diferentes como totalmente diferentes, portanto a comparação  $1.0 == 1$  seria avaliada como falsa, mesmo que os valores sejam iguais. Nesses casos, usa-se a *Equivalência Numérica*.
- **Equivalência Numérica(==)**: Compara se dois números são o mesmo valor. Deve ser usada com termos que sejam números.



## Operadores de Termos Não-Compostos

- **Diferença(!=)**: compara se dois termos são diferentes, isto é, a negação da equivalência.



## Operadores de Termos Não-Compostos

- **Diferença( $\neq$ ):** compara se dois termos são diferentes, isto é, a negação da equivalência.
- **Não-Unificável( $\neq$ ):** Verifica se dois termos não são unificáveis. Termos são ditos unificáveis se são idênticos ou podem ser tornados idênticos instanciando variáveis destes termos.





## Exemplos

①  $a == a$ ,  $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$ ,  $Var1 == Var2$



## Exemplos

- ①  $a == a$ ,  $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$ ,  $Var1 == Var2$   
yes, yes, Depende dos valores (padrão *no*)



## Exemplos

- ①  $a == a$ ,  $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$ ,  $Var1 == Var2$   
yes, yes, Depende dos valores (padrão *no*)
- ②  $1.0 == 1$



## Exemplos

- ①  $a == a$ ,  $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$ ,  $Var1 == Var2$   
yes, yes, Depende dos valores (padrão *no*)
- ②  $1.0 == 1$   
*no*



## Exemplos

- ①  $a == a$ ,  $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$ ,  $Var1 == Var2$   
yes, yes, Depende dos valores (padrão *no*)
- ②  $1.0 == 1$   
*no*
- ③  $1.0 ::= 1$ ,  $1.2 ::= 1$



## Exemplos

- 1  $a == a$ ,  $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$ ,  $Var1 == Var2$   
*yes, yes, Depende dos valores (padrão no)*
- 2  $1.0 == 1$   
*no*
- 3  $1.0 ::= 1$ ,  $1.2 ::= 1$   
*yes, no*



## Exemplos

- ①  $a == a$ ,  $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$ ,  $Var1 == Var2$   
yes, yes, Depende dos valores (padrão *no*)
- ②  $1.0 == 1$   
*no*
- ③  $1.0 := 1$ ,  $1.2 := 1$   
yes, *no*
- ④  $1.0 != 1$ ,  $Var3 != Var4$



## Exemplos

- ①  $a == a$ ,  $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$ ,  $Var1 == Var2$   
yes, yes, Depende dos valores (padrão *no*)
- ②  $1.0 == 1$   
*no*
- ③  $1.0 := 1$ ,  $1.2 := 1$   
yes, *no*
- ④  $1.0 !== 1$ ,  $Var3 !== Var4$   
yes, Depende dos valores (padrão *yes*)





## Exemplos

- 1  $a == a$ ,  $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$ ,  $Var1 == Var2$   
yes, yes, Depende dos valores (padrão *no*)
- 2  $1.0 == 1$   
*no*
- 3  $1.0 ::= 1$ ,  $1.2 ::= 1$   
yes, *no*
- 4  $1.0 !== 1$ ,  $Var3 !== Var4$   
yes, Depende dos valores (padrão *yes*)
- 5  $1.0 != 1$ ,  $aa != bb$ ,  $Var1 != Var5$



## Exemplos

- ①  $a == a$ ,  $[1, 2, 3] == [1, 2, 3]$ ,  $Var1 == Var2$   
yes, yes, Depende dos valores (padrão *no*)
- ②  $1.0 == 1$   
*no*
- ③  $1.0 ::= 1$ ,  $1.2 ::= 1$   
yes, *no*
- ④  $1.0 !== 1$ ,  $Var3 !== Var4$   
yes, Depende dos valores (padrão *yes*)
- ⑤  $1.0 != 1$ ,  $aa != bb$ ,  $Var1 != Var5$   
yes, yes, *no*



- **Concatenação (++)**: concatena duas listas ou vetores. O termo da esquerda é a primeira parte lista e a segundo a parte final da lista resultante.



- **Concatenação** ( $++$ ): concatena duas listas ou vetores. O termo da esquerda é a primeira parte lista e a segundo a parte final da lista resultante.
- **Separador** ( $H \mid T$ ): separa uma lista  $L$  em seu primeiro termo  $H$ , chamado de *cabeça* (em inglês *Head*), e o resto da lista  $T$ , chamado de *cauda* (em inglês *Tail*).

Na seção de listas este assunto é retomado



- **Iterador** ( $X$  in  $L$ ): itera  $X$  no termo composto  $L$ , instanciando um termo não-composto  $X$  aos termos contidos em  $L$ .



- **Iterador** ( $X$  in  $L$ ): itera  $X$  no termo composto  $L$ , instanciando um termo não-composto  $X$  aos termos contidos em  $L$ .
- **Sequência** ( $\text{Inicio}..\text{Passo}..\text{Fim}$ ): gera uma lista ou vetor, começando (inclusivamente) em *Inicio* incrementando por *Passo* e parando (inclusivamente) em *Fim*. Se *Passo* for omitido, este é automaticamente atribuído 1.

Na seção de listas este assunto é retomado



# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

①  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], \quad [] ++ [1, 2, 3], \quad [] ++ []$



# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- ①  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$





# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- ①  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$
- ②  $L = [1, 2, 3], [H|T] = L$



# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- 1  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$
- 2  $L = [1, 2, 3], [H|T] = L$   
 $L = [1, 2, 3]$



# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- ①  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$
- ②  $L = [1, 2, 3], [H|T] = L$   
 $L = [1, 2, 3]$   
 $H = 1$



# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- ①  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$
- ②  $L = [1, 2, 3], [H|T] = L$   
 $L = [1, 2, 3]$   
 $H = 1$   
 $T = [2, 3]$



# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- ①  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$
- ②  $L = [1, 2, 3], [H|T] = L$   
 $L = [1, 2, 3]$   
 $H = 1$   
 $T = [2, 3]$
- ③ *foreach*( $X$  in  $[1, 2, 3]$ ) *printf*(" %w ",  $X$ ) *end*



# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- 1  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$
- 2  $L = [1, 2, 3], [H|T] = L$   
 $L = [1, 2, 3]$   
 $H = 1$   
 $T = [2, 3]$
- 3 *foreach*( $X$  in  $[1, 2, 3]$ ) *printf*(" %w ",  $X$ ) *end*  
1 2 3



# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- 1  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$
- 2  $L = [1, 2, 3], [H|T] = L$   
 $L = [1, 2, 3]$   
 $H = 1$   
 $T = [2, 3]$
- 3 *foreach*( $X$  in  $[1, 2, 3]$ ) *printf*(" %w ",  $X$ ) *end*  
1 2 3
- 4  $X = 1..10, Y = 0..2..20, Z = 10.. - 1..1$



# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- 1  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$
- 2  $L = [1, 2, 3], [H|T] = L$   
 $L = [1, 2, 3]$   
 $H = 1$   
 $T = [2, 3]$
- 3 *foreach*( $X$  in  $[1, 2, 3]$ ) *printf*(" %w ",  $X$ ) *end*  
1 2 3
- 4  $X = 1..10, Y = 0..2..20, Z = 10.. - 1..1$   
 $X = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]$





# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- 1  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$
- 2  $L = [1, 2, 3], [H|T] = L$   
 $L = [1, 2, 3]$   
 $H = 1$   
 $T = [2, 3]$
- 3 *foreach*( $X$  in  $[1, 2, 3]$ ) *printf*(" %w ",  $X$ ) *end*  
1 2 3
- 4  $X = 1..10, Y = 0..2..20, Z = 10.. - 1..1$   
 $X = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]$   
 $Y = [0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20]$



# Operadores de Termos Compostos – Exemplos

- 1  $[1, 2, 3] ++ [4, 5, 6], [] ++ [1, 2, 3], [] ++ []$   
 $[1, 2, 3, 4, 5, 6], [1, 2, 3], []$
- 2  $L = [1, 2, 3], [H|T] = L$   
 $L = [1, 2, 3]$   
 $H = 1$   
 $T = [2, 3]$
- 3 *foreach*( $X$  in  $[1, 2, 3]$ ) *printf*(" %w ",  $X$ ) *end*  
1 2 3
- 4  $X = 1..10, Y = 0..2..20, Z = 10.. - 1..1$   
 $X = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]$   
 $Y = [0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20]$   
 $Z = [10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1]$



- Picat: tipagem dinâmica. O erro entre variáveis e dados, ocorre no meio da execução do código



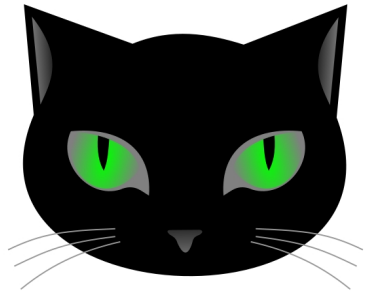
- Picat: tipagem dinâmica. O erro entre variáveis e dados, ocorre no meio da execução do código
- As estruturas de dados compostos são as clássicas: listas, vetores, mapas, conjuntos, etc



- Picat: tipagem dinâmica. O erro entre variáveis e dados, ocorre no meio da execução do código
- As estruturas de dados compostos são as clássicas: listas, vetores, mapas, conjuntos, etc
- O conteúdo desta parte do curso pode ser complementado com a **Videoaula 02: Tipos de Dados do PICAT**  
<https://www.youtube.com/watch?v=7fPKPd0ZDnc>



- Definições
- Contexto de uso
- Exemplos com a definições
- Estruturas de repetição
- Estruturas de decisão



- Os **predicados** sempre assumem valores lógicos true (1) ou false (0).
- Os **predicados** em seus argumentos, podem passar  $n$ -termos e receber outros termos.
- Quanto as **funções**, estas funcionam seguindo as regras de funções matemáticas, sempre retornando um único valor
- Predicados e funções são definidos com regras de *casamento de padrões*
- Predicados são conhecidos como **regras lógicas**, há dois tipos de regras:



- Regras **sem** *backtracking* (*non-backtrackable*):

Cabeça , Condicional  $\Rightarrow$  Corpo .

- Regras **com** *backtracking*:

Cabeça , Condicional  $\Rightarrow$  Corpo .





- A identificação da sintaxe é dada por:
  - *Cabeça*: indica um padrão de regra a ser casada.  
Forma geral:
$$regra(termo_1, \dots, termo_n)$$

Onde:

    - *regra* é um átomo que define o nome da regra.
    - *n* é a aridade da regra (i.e. o total de argumentos)
    - Cada *termo<sub>i</sub>* é um argumento da regra.
  - *Cond*: é uma ou várias condições sobre a execução desta regra.
  - *Corpo*: define as ações da regra
- Todas as regras são finalizadas por um ponto final (*.*), seguido por um espaço em branco ou nova linha.
- Ao longo dos exemplos, detalhes a mais sobre esta construção de **predicados e funções**



# Regras com e sem Backtracking – Exemplo

```
main => regra_01(7)  ,  
        regra_01(-4) ,  
        regra_01(44) .
```

```
regra_01(0)           ?=> printf("\n  CHEGOU A 0 !!!\n").  
regra_01(N) , N < 0   ?=> printf("\n  EH UM NEGATIVO !!!\n").  
regra_01(N) , N > 10 ?=> printf("\n  EH MAIOR QUE 10 !!!\n").  
regra_01(N) , N <= 10 =>  
    printf("\t :%d ", N),  
    regra_01(N-1).
```

```
%% =<  EH IGUAL a >= :: sobrecarga  
%% $ picat regras_com_sem_backtraking.pi
```

Há uma recursão aqui. Algumas seções a frente.



- O algoritmo de *casamento de padrões* para regras é análogo ao algoritmo de unificação para variáveis.
- O objetivo é encontrar dois padrões que possam ser unificados para se inferir alguma ação.



- O algoritmo de *casamento de padrões* para regras é análogo ao algoritmo de unificação para variáveis.
- O objetivo é encontrar dois padrões que possam ser unificados para se inferir alguma ação.
- Muitos exemplos no curso



Procedimento de *casamento de padrões*:

- Dado um padrão  $p_1(t_1, \dots, t_m)$ , este *casa* com um padrão semelhante  $p_2(u_1, \dots, u_n)$  se:
  - $p_1$  e  $p_2$  forem átomos equivalentes;
  - O número de termos (chamado de aridade) em  $(t_1, \dots, t_m)$  e  $(u_1, \dots, u_n)$  for equivalente.
  - Os termos  $(t_1, \dots, t_m)$  e  $(u_1, \dots, u_n)$  são equivalentes, ou tornaram-se equivalentes pela unificação de variáveis em qualquer um dos dois termos;
- Caso essas condições forem satisfeitas, o padrão  $p_1(t_1, \dots, t_m)$  casa com o padrão  $p_2(u_1, \dots, u_n)$ .



## Exemplos de casamento

- 1 A regra *fatorial*(*Termo*, *Resultado*) pode casar com:  
*fatorial*(1, 1), *fatorial*(5, 120), *fatorial*(*abc*, 25),  
*fatorial*(*X*, *Y*), etc.



## Exemplos de casamento

- 1 A regra *fatorial*(*Termo*, *Resultado*) pode casar com:  
*fatorial*(1, 1), *fatorial*(5, 120), *fatorial*(*abc*, 25),  
*fatorial*(*X*, *Y*), etc.
- 2 A regra *fatorial*(*Termo*, *Resultado*),  $\text{Termo} \geq 0$  pode casar com:  
*fatorial*(1, 1), *fatorial*(5, 120), *fatorial*(*X*, *Y*), *fatorial*(*Z*, *Z*),  
etc.



## Exemplos de casamento

- 1 A regra *fatorial*(*Termo*, *Resultado*) pode casar com:  
*fatorial*(1, 1), *fatorial*(5, 120), *fatorial*(*abc*, 25),  
*fatorial*(*X*, *Y*), etc.
- 2 A regra *fatorial*(*Termo*, *Resultado*),  $\text{Termo} \geq 0$  pode casar com:  
*fatorial*(1, 1), *fatorial*(5, 120), *fatorial*(*X*, *Y*), *fatorial*(*Z*, *Z*),  
etc.
- 3 A regra *pai*(*X*, *Y*) pode casar com:  
*pai*(*rogerio*, *miguel*), *pai*(*rogerio*, *henrique*), *pai*(*salomao*, *X*),  
*pai*(12, 24), etc.





## Exemplos de casamento

- 1 A regra *fatorial*(*Termo*, *Resultado*) pode casar com:  
*fatorial*(1, 1), *fatorial*(5, 120), *fatorial*(*abc*, 25),  
*fatorial*(*X*, *Y*), etc.
- 2 A regra *fatorial*(*Termo*, *Resultado*),  $\text{Termo} \geq 0$  pode casar com:  
*fatorial*(1, 1), *fatorial*(5, 120), *fatorial*(*X*, *Y*), *fatorial*(*Z*, *Z*),  
etc.
- 3 A regra *pai*(*X*, *Y*) pode casar com:  
*pai*(*rogerio*, *miguel*), *pai*(*rogerio*, *henrique*), *pai*(*salomao*, *X*),  
*pai*(12, 24), etc.
- 4 A regra *pai*(*salomao*, *X*) pode casar com:  
*pai*(*salomao*, *rogerio*), *pai*(*salomao*, *fabio*).



## Exemplos de casamento

- 1 A regra *fatorial*(*Termo*, *Resultado*) pode casar com:  
*fatorial*(1, 1), *fatorial*(5, 120), *fatorial*(*abc*, 25),  
*fatorial*(*X*, *Y*), etc.
- 2 A regra *fatorial*(*Termo*, *Resultado*),  $\text{Termo} \geq 0$  pode casar com:  
*fatorial*(1, 1), *fatorial*(5, 120), *fatorial*(*X*, *Y*), *fatorial*(*Z*, *Z*),  
etc.
- 3 A regra *pai*(*X*, *Y*) pode casar com:  
*pai*(*rogerio*, *miguel*), *pai*(*rogerio*, *henrique*), *pai*(*salomao*, *X*),  
*pai*(12, 24), etc.
- 4 A regra *pai*(*salomao*, *X*) pode casar com:  
*pai*(*salomao*, *rogerio*), *pai*(*salomao*, *fabio*).
- 5 A regra *pai*(*salomao*, *fabio*) pode casar com:  
*pai*(*X*, *fabio*), *pai*(*salomao*, *X*), *pai*(*X*, *Y*)



- Na matemática ao se deduzir um valor de um teorema, tem-se uma *prova*. Assim, o termo *goal* eventualmente é chamado de *prova do programa*



- Na matemática ao se deduzir um valor de um teorema, tem-se uma *prova*. Assim, o termo *goal* eventualmente é chamado de *prova do programa*
- Metas ou Provas (do inglês: *goal*) são estados que definem o final da execução.



- Na matemática ao se deduzir um valor de um teorema, tem-se uma *prova*. Assim, o termo *goal* eventualmente é chamado de *prova do programa*
- Metas ou Provas (do inglês: *goal*) são estados que definem o final da execução.
- Uma meta pode ser, entre outros, um valor lógico, uma chamada de outra regra, uma exceção ou uma operação lógica.



- A forma geral de uma função é:  
$$Cabeça = X \Rightarrow Corpo.$$



- A forma geral de uma função é:  
$$\text{Cabeça} = X \Rightarrow \text{Corpo}.$$
- Caso tenhamos uma condição *Cond*::  
$$\text{Cabeça} = X, \text{Cond} \Rightarrow \text{Corpo}.$$
- Funções **não** admitem *backtracking*.



- Funções são tipos especiais de regras que sempre sucedem com *uma* resposta.





- Funções são tipos especiais de regras que sempre sucedem com *uma* resposta.
- Funções em Picat tem como intuito serem sintaticamente semelhantes a funções matemáticas (vide *Haskell*).



- Funções são tipos especiais de regras que sempre sucedem com *uma* resposta.
- Funções em Picat tem como intuito serem sintaticamente semelhantes a funções matemáticas (vide *Haskell*).
- Em uma função a *Cabeça* é uma equação do tipo  $f(t_1, \dots, t_n) = X$ , onde  $f$  é um átomo que é o nome da função,  $n$  é a aridade da função, e cada termo  $t_i$  é um argumento da função.
- $X$  é uma expressão que é o retorno da função.



- Funções também podem ser denotadas como fatos, onde podem servir como ***aterramento*** para regras recursivas.
- Estas são denotadas como:  $f(t_1, \dots, t_n) = \textit{Expressão}$ , onde *Expressão* pode ser um valor ou uma série de ações.



main =>

```
X = 3,  
Y = 4,  
um_predicado(X,Y,Z),  
R = uma_funcao(X,Y),  
printf("\n Z: %d \t R: %d", Z, R),  
println("\n FIM").
```

$\text{um\_predicado}(X,Y,Z) \Rightarrow Z = X + Y.$

$\text{uma\_funcao}(X,Y) = R \Rightarrow R = X + Y.$



```
Picat> cl('predicados_funcoes').  
Compiling:: predicados_funcoes.pi  
predicados_funcoes.pi compiled in 0 milliseconds  
loading...
```

```
yes
```

```
Picat> um_predicado(3,4,Z), write(Z).  
7Z = 7  
yes
```

```
Picat> uma_funcao(3,4) = R, write(R).  
7R = 7  
yes
```

```
Picat>
```



- Forma geral de um predicado do tipo Regra:

Cabeça , Condicional  $\Rightarrow$  Corpo .

- Forma geral de um predicado com *backtracking*:

Cabeça , Condicional  $\Rightarrow$  Corpo .

Em Prolog, esta condicional (Cond) entra no corpo da regra. Picat é flexível!



- Dentro de uma regra, *Cond* só pode ser avaliado uma vez, acessando somente termos dentro do escopo do predicado.
- Sempre estar atento que: regras são **sempre avaliados com valores lógicos** (*true* ou *false*)
- Por outro lado, as variáveis como argumento ou instanciadas dentro dele, podem ser utilizadas dentro do escopo da regra, ou no escopo onde esta regra foi chamada.



- As regras que não tem condicionais e nem corpo, estes são conhecidos como: *fatos* ou *regras sem-corpo*
- Estes *fatos* são regras *sempre verdadeiras*
- Formato dos fatos são do tipo:

$$p(t_1, \dots, t_n).$$

- Os argumentos de um *fato* **não** podem conter **variáveis**.





- A declaração de um fato é precedida por uma declaração *index*, algo como:

`index (M11, M12, ..., M1n) ... (Mm1, Mm2, ..., Mmn)`

- Onde um  $M_{ij}$  com o simbolo '+', significa que este termo já foi indexado.
- Quanto o '-' significa que este termo deve ser indexado
- Ou seja, quando ocorre um simbolo '+' em um grupo do *index*, é avaliado pelo compilador como um valor constante a ser casada



- Quanto ao '—', este é avaliado pelo compilador com uma variável que deverá ser instanciada à um valor. Ou seja, quando se deseja unificar um valor a esta variável
- Dica: o parâmetro '—' no *index* é quase como regra geral
- **Não** pode haver um **predicado** e um **predicado fato** com **mesmo nome**.



## Exemplo – Função e Regras

```
index (+,+,+) (+,+, -) (-,+, -) (-,-,+) (-,-, +)
      (+,-,+) (+,+, -) (-,-, -)
%(-,-, -) %% NENHUM argumento instanciao -- UTIL
%(+,+,+) %% TODOS ARGUMENTOS DEVEM ESTAR INSTANCIADOS
%(+,+, -) (-,+, -) (-,-,+) (-,-, +) (+,-,+) (+,+, -) (-,-, -)
```

```
and2(true,true,true).
and2(true,false,false).
and2(false,true,false).
and2(false,false,false).
```

```
main ?=>
    and2(X,Y,Z), % and eh reservado
    printf("\n X: %w \t Y: %w \t Z: %w", X, Y, Z),
    fail.

main =>
    println("\n FIM").
```



Este exemplo é muito interessante. Execute ele na console do interpretador excluindo alguns dos parâmetros do *index*

## Exemplo de Predicado ou regra

```
1  contas_P0(X1, X2, X3, Z) ?=>
2      number(X1),
3      number(X2),
4      number(X3),
5      X1 < X2,
6      X2 < X3,
7      Z = (X2 + X3).
8
9  contas_P0(X1, _, _, Z) =>
10     Z = X1.
```



## Exemplo de Funções

```
1  contas_F0(X1, X2, X3) = Z, (number(X1),  
2                               number(X2),  
3                               number(X3)) =>  
4      if (X1 < X2 && X2 < X3) then  
5          Z = (X2 + X3)  
6      else  
7          Z = X1  
8      end.
```

*Aperitivo à próxima seção: condicionais e laços!*



## Mais Exemplos (Fatos e Regras)

```
1 index(-,-) (+,-) (-,+)
2 pai(salomao, rogerio).
3 pai(salomao, fabio).
4 pai(rogerio, miguel).
5 pai(rogerio, henrique).
6
7 avo(X,Y) ?=> pai(X,Z), pai(Z,Y).
8 irmao(X,Y) ?=> pai(Z,X), pai(Z,Y).
9 tio(X,Y) ?=> pai(Z,Y), irmao(X,Z).
```



## Exemplos de Funções – Equivalentes

```
1 eleva_cubo(1) = 1.  
2 eleva_cubo(X) = X**3.  
3 eleva_cubo(X) = X*X*X.  
4 eleva_cubo(X) = X1 => X1 = X**3.  
5 eleva_cubo(X) = X1 => X1 = X*X*X.
```



# Comandos Condicionais, Laços e Repetições

- Ao contrário do Prolog, Picat apresenta conceitos e comandos da programação imperativa





# Comandos Condicionais, Laços e Repetições

- Ao contrário do Prolog, Picat apresenta conceitos e comandos da programação imperativa
- Esta maneira ameniza os obstáculos em se aprender uma linguagem com o paradigma lógico, tendo outros elementos conhecidos



- Ao contrário do Prolog, Picat apresenta conceitos e comandos da programação imperativa
- Esta maneira ameniza os obstáculos em se aprender uma linguagem com o paradigma lógico, tendo outros elementos conhecidos
- Assim, Picat apresenta estruturas clássicas como:
  - `if-then-end`, `if-then-else-end`,  
`if-then-elseif-then-....end`
  - `foreach`
  - `while`
  - `do-while`
  - Bem como a atribuição, `':='`, já discutida



- Picat implementa uma estrutura condicional explícita (na programação em lógica, voce faz isto implicitamente)



- Picat implementa uma estrutura condicional explícita (na programação em lógica, voce faz isto implicitamente)
- Sua notação é:

```
if (Exp) then
    Ações
else
    Ações
:
end
```



- Picat implementa uma estrutura condicional explícita (na programação em lógica, voce faz isto implicitamente)

- Sua notação é:

```
if (Exp) then
    Ações
else
    Ações
:
end
```

- Onde *Exp* é uma expressão lógica avaliada como verdadeira ou falsa.



- Picat implementa uma estrutura condicional explícita (na programação em lógica, voce faz isto implicitamente)

- Sua notação é:

```
if (Exp) then
    Ações
else
    Ações
:
end
```

- Onde *Exp* é uma expressão lógica avaliada como verdadeira ou falsa.
- A última ação antes de um *else* ou *end* não deve ter vírgula nem ponto e vírgula ao final da linha.



- Picat implementa uma estrutura condicional explícita (na programação em lógica, voce faz isto implicitamente)

- Sua notação é:

```
if (Exp) then
    Ações
else
    Ações
:
end
```

- Onde *Exp* é uma expressão lógica avaliada como verdadeira ou falsa.
- A última ação antes de um *else* ou *end* não deve ter vírgula nem ponto e vírgula ao final da linha.
- Tem-se ainda o *elseif* que pode estar embutido no comando *if-then-else-end*



## Exemplo: if-then-else-end

```
1  ,  
2  if (X <= 100) then  
3      println("X e menor que 100")  
4  elseif (X <= 1000 && X >= 500) then  
5      println("X estah entre 500 e 1000")  
6  else  
7      println("X estah abaixo de 500")  
8  end  
9  ,
```





- Picat também implementa 3 estruturas de repetição, são elas: `foreach`, `while`, e `do-while`.



- Picat também implementa 3 estruturas de repetição, são elas: `foreach`, `while`, e `do-while`.
- O laço `foreach` itera sobre termos simples e compostos.



- Picat também implementa 3 estruturas de repetição, são elas: `foreach`, `while`, e `do-while`.
- O laço `foreach` itera sobre termos simples e compostos.
- O `while` repete um conjunto de ações enquanto uma condição for verdadeira.



- Picat também implementa 3 estruturas de repetição, são elas: `foreach`, `while`, e `do-while`.
- O laço `foreach` itera sobre termos simples e compostos.
- O `while` repete um conjunto de ações enquanto uma condição for verdadeira.
- A condição pode ser simples ou combinada



- Picat também implementa 3 estruturas de repetição, são elas: `foreach`, `while`, e `do-while`.
- O laço `do foreach` itera sobre termos simples e compostos.
- O `while` repete um conjunto de ações enquanto uma condição for verdadeira.
- A condição pode ser simples ou combinada
- O laço `do-while` é análogo ao `while`, porém ele sempre executa pelo menos uma vez.



- Um laço foreach tem a seguinte forma:

```
foreach ( $E_1$  in  $D_1$ ,  $Cond_1$ , ...,  $E_n$  in  $D_n$ ,  $Cond_n$ )  
    Metas  
end
```



- Um laço foreach tem a seguinte forma:

```
foreach ( $E_1$  in  $D_1$ ,  $Cond_1$ , ...,  $E_n$  in  $D_n$ ,  $Cond_n$ )  
    Metas  
end
```

Esta notação é dada por:

- $E_i$  é um *padrão de iteração* ou *iterador*.
- $D_i$  é uma expressão de *valor composto*. Exemplo: uma lista de valores
- $Cond_i$  é uma condição opcional sobre os iteradores  $E_1$  até  $E_i$ .
- Laços do foreach podem conter múltiplos iteradores. Caso isso ocorra, o compilador interpreta isso como diversos laços aninhados.



## Exemplo: foreach

```
1  
2 laco_01 =>  
3   L = [17, 3, 41, 25, 8, 1, 6, 40],  
4   foreach (E in L)  
5     println(E)  
6   end.
```





- O laço do while tem a seguinte forma:

```
while (Cond)  
    Metas  
end
```

- Enquanto a expressão lógica *Cond* for verdadeira, o conjunto de *Metas* é executado.



## Exemplo: while

```
1  
2 laco_02 =>  
3     I = 1,  
4     while (I <= 9)  
5         println(I),  
6         I := I + 2  
7     end.
```



- O laço do-while tem a seguinte forma:

do

*Metas*

while (*Cond*)

- Ao contrário do while o iterador do-while vai executar Metas pelo menos uma vez antes de avaliar Cond.



## Exemplo: do-while

```
1  
2 laco_03 =>  
3     J = 6,  
4     do  
5         println(J),  
6         J := J + 1  
7     while (J <= 5).
```



- Há algumas funções e predicados especiais em Picat que necessitam de algum cuidado.



- Há algumas funções e predicados especiais em Picat que necessitam de algum cuidado.
- São elas: compreensão de listas/vetores, entrada de dados e saída de dados.
- Na verdade, já fizemos uso delas, porém sem a ênfase de que são funções ora predicados.



- A função de compreensão de listas e vetores é uma função especial que permite a fácil criação de listas ou vetores, opcionalmente seguindo uma regra de criação.
- Sua notação é:

$$[T : E_1 \text{ in } D_1, Cond_1, \dots, E_n \text{ in } D_n, Cond_n]$$

- Onde,  $T$  é uma expressão adicionada a lista, cada  $E_i$  é um iterador, cada  $D_i$  é um termo composto ou expressão que gera um termo composto, e cada  $Cond_i$  é uma condição sobre cada iterador de  $E_1$  até  $E_i$ .
- Há uma seção dedicada a listas. Voltaremos ao assunto.



- Esta função pode gerar um vetor também, a notação é um pouco diferente:

$$\{T : E_1 \text{ in } D_1, Cond_1, \dots, E_n \text{ in } D_n, Cond_n\}$$

- Neste caso, os delimitadores são  $\{$  e  $\}$  de um vetor





# Compreensão de Listas e Vetores: Exemplo

```
main =>
  L = [(A, I) : A in [a, b], I in 1 .. 2],
  V = {(I, A) : A in [a, b], I in 1 .. 2},
  printf("\nL: %w \nV: %w\n", L, V),
  imp_vetor(V).
```

```
imp_vetor (M) =>
  Tam = M.length,  %% tamanho de M
  nl,
  foreach(I in 1 .. Tam )
    printf("V(%d):%w \t" , I, M[I] )
  end,
  nl.
%%%% $picat vetor_exemplo_01.pi
```



- Picat tem diversas variações funções de leitura de valores, que serve tanto para ler de uma console `stdin`, como de um arquivo qualquer.
- Aos usuários de Prolog, aqui não precisamos do delimitador final de `'.'` ao final de uma leitura.
- Válido quando editamos no interpretador, o `'.'` final é opcional



- As mais importantes são:
  - `read_int(FD)` = *Int*  $\Rightarrow$  Lê um *Int* do arquivo *FD*.
  - `read_real(FD)` = *Real*  $\Rightarrow$  Lê um *Float* do arquivo *FD*.
  - `read_char(FD)` = *Char*  $\Rightarrow$  Lê um *Char* do arquivo *FD*.
  - `read_line(FD)` = *String*  $\Rightarrow$  Lê uma *Linha* do arquivo *FD*.
- Caso se deseja ler da console, padrão `stdin`, *FD*, o nome do descritor de arquivo, pode ser omitido.



- Os dois predicados mais importantes para saída de dados, são `write` e `print`.
- Cada um destes predicados tem três variantes, são eles:
  - `write(FD, T) ⇒` Escreve um termo  $T$  no arquivo  $FD$ .
  - `writeln(FD, T) ⇒` Escreve um termo  $T$  no arquivo  $FD$ , e pula uma linha ao final do termo.
  - `writeln(FD, F, A...) ⇒` Este predicado é usado para escrita formatada para um arquivo  $FD$ , onde  $F$  indica uma série de formatos para cada termo contido no argumento  $A...$ . O número de argumentos não pode exceder 10.



- Analogamente, para o predicado `print`, temos:
  - `print(FD, T) ⇒` Escreve um termo  $T$  no arquivo  $FD$ .
  - `println(FD, T) ⇒` Escreve um termo  $T$  no arquivo  $FD$ , e pula uma linha ao final do termo.
  - `printf(FD, F, A...) ⇒` Este predicado é usado para escrita formatada para um arquivo  $FD$ , onde  $F$  indica uma série de formatos para cada termo contido no argumento  $A...$ . O número de argumentos não pode exceder 10.
- Caso queira escrever para `stdout`, o nome do  $FD$ , pode ser omitido.



# Tabela de Formatação para Escrita

Apenas os mais importantes, há outros como: hexadecimal, notação científica, etc. Ver no apêndice do Guia do Usuário.

| Especificador | Saída                    |
|---------------|--------------------------|
| %%            | Sinal de Porcentagem     |
| %c            | Carácter                 |
| %d %i         | Número Inteiro Com Sinal |
| %f            | Número Real              |
| %n            | Nova Linha               |
| %s            | <i>String</i>            |
| %u            | Número Inteiro Sem Sinal |
| %w            | Termo <b>qualquer</b>    |



# Comparação entre write e print

| Dados $\Rightarrow$ | "abc"        | [a,b,c]  | 'a@b'      |
|---------------------|--------------|----------|------------|
| write               | [a,b,c]      | [a,b,c]  | 'a@b'      |
| writeln             | [a,b,c] (%s) | abc (%w) | 'a@b' (%w) |
| print               | abc          | abc      | a@b        |
| printf              | abc (%s)     | abc (%w) | a@b (%w)   |



## Condicionais

```
1 main =>  
2     X = read_int(),  
3     if(X <= 100) then  
4         println("X e menor que 100")  
5     else  
6         println("X nao e menor que 100")  
7     end.  
8 .  
9
```





```
1 main =>
2   X = read_int(),
3   println(x=X),
4   while(X != 0)
5     X := X - 1,
6     println(x=X)
7   end
8 .
9
```

```
1 main =>
2   X = read_int(),
3   Y = X..X*3,
4   foreach(A in Y)
5     println(A)
6   end.
7
```



# Exemplos – Compreensão de Listas

```
1 main =>
2   Tamanho = read_int(),
3   Y = [read_int() : 1..Tamanho],
4   Z = {X : X in Y, X >= 0},
5   foreach(I in 1..Tamanho)
6     if(Y[I] >= 0) then
7       printf("Y[%d] e maior ou igual que 0\n",I)
8     else
9       printf("Y[%d] e menor que 0\n",I)
10    end
11  end
12  printf("Os valores de Y que sao maiores que 0 sao:\n%w",Z)
13  .
```

Este exemplo reúne muitos conceitos desta seção.



- Esta seção trata da sintaxe do Picat



- Esta seção trata da sintaxe do Picat
- Embora sua sintaxe não seja muito extensa, ela precisa ser praticada



- Esta seção trata da sintaxe do Picat
- Embora sua sintaxe não seja muito extensa, ela precisa ser praticada
- Como este conteúdo se assemelha as LPs clássicas, como exercício, voce está apto a fazer alguns algoritmos de outras linguagens.



- Esta seção trata da sintaxe do Picat
- Embora sua sintaxe não seja muito extensa, ela precisa ser praticada
- Como este conteúdo se assemelha as LPs clássicas, como exercício, voce está apto a fazer alguns algoritmos de outras linguagens.
- Se antes o Prolog era complicado, com Picat, tudo ficou análogo a Python e a linguagem C



- Esta seção trata da sintaxe do Picat
- Embora sua sintaxe não seja muito extensa, ela precisa ser praticada
- Como este conteúdo se assemelha as LPs clássicas, como exercício, voce está apto a fazer alguns algoritmos de outras linguagens.
- Se antes o Prolog era complicado, com Picat, tudo ficou análogo a Python e a linguagem C
- Em [https://github.com/claudiosa/CCS/tree/master/picat/input\\_output\\_exemplos](https://github.com/claudiosa/CCS/tree/master/picat/input_output_exemplos) tem vários exemplos avançados de entradas e saídas

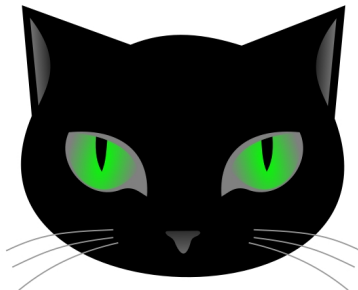


- Esta seção trata da sintaxe do Picat
- Embora sua sintaxe não seja muito extensa, ela precisa ser praticada
- Como este conteúdo se assemelha as LPs clássicas, como exercício, voce está apto a fazer alguns algoritmos de outras linguagens.
- Se antes o Prolog era complicado, com Picat, tudo ficou análogo a Python e a linguagem C
- Em [https://github.com/claudiosa/CCS/tree/master/picat/input\\_output\\_exemplos](https://github.com/claudiosa/CCS/tree/master/picat/input_output_exemplos) tem vários exemplos avançados de entradas e saídas
- Mãos à obra!





- Contextualizar a recursão
- Princípios
- 03 exemplos
- *Backtracking*



- A *recursão* é um importante conceito da matemática e presente em muitas linguagens de programação. Exemplo: LISP, Haskell, etc



- A *recursão* é um importante conceito da matemática e presente em muitas linguagens de programação. Exemplo: LISP, Haskell, etc
- Permite expressar conceitos complexos em uma sintaxe abstrata, mas simples de ler.



- A *recursão* é um importante conceito da matemática e presente em muitas linguagens de programação. Exemplo: LISP, Haskell, etc
- Permite expressar conceitos complexos em uma sintaxe abstrata, mas simples de ler.
- Uma regra é dita recursiva quando ela faz auto-referência.



- A *recursão* é um importante conceito da matemática e presente em muitas linguagens de programação. Exemplo: LISP, Haskell, etc
- Permite expressar conceitos complexos em uma sintaxe abstrata, mas simples de ler.
- Uma regra é dita recursiva quando ela faz auto-referência.
- Em Picat, a recursão pode ser usada sob uma notação em *lógica* ou *funcional*



- A *recursão* é um importante conceito da matemática e presente em muitas linguagens de programação. Exemplo: LISP, Haskell, etc
- Permite expressar conceitos complexos em uma sintaxe abstrata, mas simples de ler.
- Uma regra é dita recursiva quando ela faz auto-referência.
- Em Picat, a recursão pode ser usada sob uma notação em *lógica* ou *funcional*
- A funcional apresenta muita clareza ao código!



## Somatório dos $N$ naturais

O somatório dos  $n$  primeiros números naturais é recursivamente definido como a soma de todos  $n-1$  números, mais o termo  $n$ . Ou seja:

$$S(n) = \begin{cases} 1 & \text{para } n = 1 \\ S(n-1) + n & \text{para } n \geq 2 \text{ e } n \in \mathbb{N} \end{cases}$$

Ou seja:

$$S(n) = \underbrace{1 + 2 + 3 + \dots + (n-1)}_{S(n-1)} + n$$



## Fatorial

O Fatorial de um número  $n$  é definido recursivamente pela multiplicação do fatorial do termo  $n - 1$  por  $n$ . O fatorial só pode ser calculado para números positivos. Adicionalmente, o fatorial de 0 é igual a 1 por definição.

$$Fat(n) = \begin{cases} 1 & \text{para } n = 0 \\ Fat(n - 1) \cdot n & \text{para } n \geq 1 \text{ e } n \in \mathbb{N} \end{cases}$$

Portanto:

$$Fat(n) = \underbrace{1 * 2 * 3 * \dots * (n - 1)}_{Fat(n - 1)} \cdot n$$





## Sequência Fibonacci

A sequência Fibonacci é uma sequência de números calculada a partir da soma dos dois últimos números anteriores desta. Ou seja o  $n$  – *esimo* termo da Sequência Fibonacci é definido como a soma dos termos  $n - 1$  e  $n - 2$ . Como fato ou definição: os dois primeiros termos,  $n = 0$  e  $n = 1$ , são respectivamente, 0 e 1.

$$Fib(n) = \begin{cases} 0 & \text{para } n = 0 \\ 1 & \text{para } n = 1 \\ Fib(n - 1) + Fib(n - 2) & \text{para } n \geq 1 \text{ e } n \in \mathbb{N} \end{cases}$$



- Podemos perceber algo em comum entre estas três regras, todas tem uma ou mais condições que sempre tem o mesmo valor de retorno, ou seja, todas tem uma *regra de aterramento*.



- Podemos perceber algo em comum entre estas três regras, todas tem uma ou mais condições que sempre tem o mesmo valor de retorno, ou seja, todas tem uma *regra de aterramento*.
- Uma condição de *aterramento* é uma condição onde a chamada recursiva da regra acaba (para ou termina).



- Podemos perceber algo em comum entre estas três regras, todas tem uma ou mais condições que sempre tem o mesmo valor de retorno, ou seja, todas tem uma *regra de aterramento*.
- Uma condição de *aterramento* é uma condição onde a chamada recursiva da regra acaba (para ou termina).
- Caso uma regra não tenha uma *regra de aterramento*, poderá ocorrer uma recursão infinita deste regra, ou seja, são feitas infinitas chamadas recursivas da regra.



Numa visão funcional, estas regras matemáticas podem ser transcritas em Picat como:

```
1 fatorial(0) = 1.  
2 fatorial(1) = 1.  
3 fatorial(n) = n * fatorial(n-1).  
4
```

```
1 fibonacci(0) = 0.  
2 fibonacci(1) = 1.  
3 fibonacci(n) = fibonacci(n-1) + fibonacci(n-2).  
4
```

```
1 somatorio(0) = 0.  
2 somatorio(1) = 1.  
3 somatorio(n) = n + somatorio(n-1).  
4
```



- Caso a definição do fatorial fosse modificada para:

$$Fat(n) = Fat(n - 1) * n, \quad \forall n \in \mathbb{N} \text{ ou } \forall n \geq 0$$



- Caso a definição do fatorial fosse modificada para:

$$Fat(n) = Fat(n - 1) * n, \quad \forall n \in \mathbb{N} \text{ ou } \forall n \geq 0$$

- Teríamos um caso de *recursão infinita*, pois a regra Fatorial continuaria a ser chamada com  $n < 0$
- Nesse caso haveria um erro, pois estaria tentando executar algo indefinido.



Para os exemplos anteriores, reescreva-os as formulações sob uma visão *lógica* e *procedural*.





- O mecanismo de *backtracking* é bem conhecido por algumas linguagens de programação



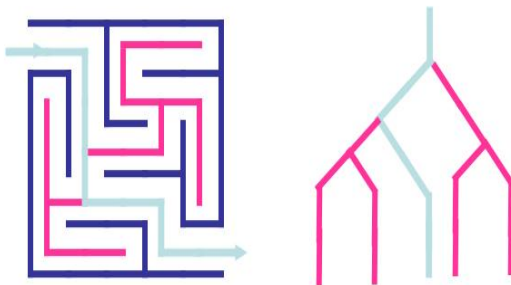
- O mecanismo de *backtracking* é bem conhecido por algumas linguagens de programação
- Em Picat, o *backtracking* é controlável e é habilitado pelo símbolo `?=>` no escopo da regra.



# Ilustrando o *Backtracking* no Labirinto

## Backtracking Implementation

*Backtracking is a modified depth-first search of the solution-space tree. In the case of the maze the start location is the root of a tree, that branches at each point in the maze where there is a choice of direction.*



Basicamente o procedimento do *Backtracking* é definido por:

- 1 Inicia-se por um casamento de um predicado *backtrackable*  $p$  com um outro predicado  $p$ .
- 2 Segue-se a execução da regra  $p$ , executando a instância das variáveis da esquerda para direita. **Exemplo** (ilustrativo):  

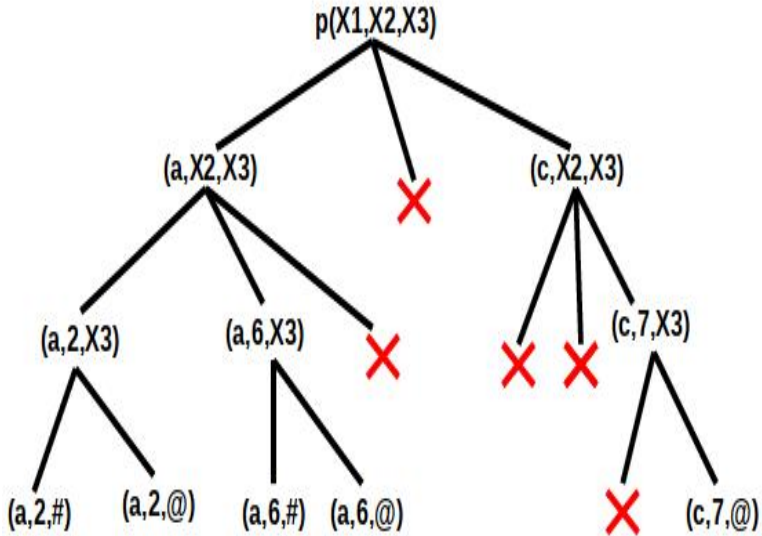
$$p(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \Rightarrow q_1(X_1), q_2(X_2), \dots, q_n(X_n).$$
- 3 Caso ocorra uma falha durante a execução da regra  $p$ , o compilador busca re-instanciar as variáveis do corpo de  $p$  que falharem. Esta tentativa segue uma ordem:  
 $q_1(X_1) \rightarrow q_2(X_2) \rightarrow \dots \rightarrow q_n(X_n)$ , até a variável  $X_n$



- 4 Caso  $X_n$  seja instanciada com sucesso, tem-se uma resposta consistente para  $p$
- 5 No caso de uma falha completa na regra corrente  $p$ , segue-se para uma próxima regra  $p$  ( $p \dots ? \Rightarrow \dots$ ), a qual é avaliada com novas instâncias as suas variáveis.
- 6 Este processo é completo (exaustivo) e se repete até não for mais possível a reinstanciação de variáveis, ou ocorrer uma falha durante a execução.

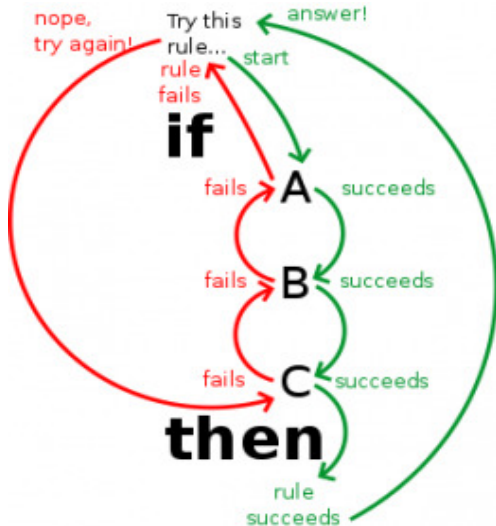


# Ilustra o *Backtracking* – Árvore de Busca



Exercício: descubra os domínios possíveis de  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$ .

# Ilustra a Operacionalidade do *Backtracking*



Tomando como exemplo uma relação de parentesco, como a seguinte:

```
1 index(-,-) (+,-) (-,+)
2 antecedente(ana,maria).
3 antecedente(pedro,maria).
4 antecedente(maria,paula).
5 antecedente(paula,lucas).
6 antecedente(lucas,eduarda).
7
8 index(-)
9 mulher(ana).
10 mulher(maria).
11 mulher(paula).
12 mulher(eduarda).
13 homem(pedro).
14 homem(lucas).
15
16 mae(X,Y) ?=> antecedente(X,Y), mulher(X).
17 pai(X,Y) ?=> antecedente(X,Y), homem(X).
18 avos(X,Y) ?=> antecedente(X,Z), antecedente(Z,Y).
19 sucessor(X,Y) ?=> antecedente(Y,X).
20 sucessor(X,Y) ?=> antecedente(Y,Z), sucessor(X,Z).
21
```





- Uma chamada do tipo  $mae(maria, X)$ , seria como perguntar ao compilador "Maria é mãe de quem ?".
- Nesse caso o compilador iria testar cada possível valor que pudesse ser unificado com  $X$  que pudesse satisfazer a regra  $mae(maria, X)$ .
- Ou seja, seria como se estivéssemos perguntando:
  - "Maria é mãe de Ana ?".
  - "Maria é mãe de Paula ?".
  - "Maria é mãe de Pedro ?".



- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc



- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc
- As regras recursivas são construídas com uma ou mais *regras aterradas*, que **sempre vem antes** das demais regras recursivas, as quais podem ou não terem o *backtracking* habilitados (?=>)



- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc
- As regras recursivas são construídas com uma ou mais *regras aterradas*, que **sempre vem antes** das demais regras recursivas, as quais podem ou não terem o *backtracking* habilitados ( $\Rightarrow$ )
- A avaliação destas regras **são sempre da esquerda para direita**, ocorrendo o *backtracking* em caso de falha ou de uma nova resposta



- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc
- As regras recursivas são construídas com uma ou mais *regras aterradas*, que **sempre vem antes** das demais regras recursivas, as quais podem ou não terem o *backtracking* habilitados ( $?=>$ )
- A avaliação destas regras **são sempre da esquerda para direita**, ocorrendo o *backtracking* em caso de falha ou de uma nova resposta
- As regras recursivas com *backtracking* habilitados (  $?=>$  ), apenas para regras predicativas. As funções não admitem *backtracking*!



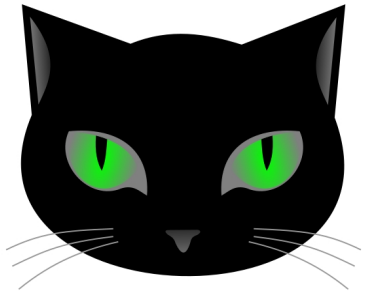
- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc
- As regras recursivas são construídas com uma ou mais *regras aterradas*, que **sempre vem antes** das demais regras recursivas, as quais podem ou não terem o *backtracking* habilitados ( $?=>$ )
- A avaliação destas regras **são sempre da esquerda para direita**, ocorrendo o *backtracking* em caso de falha ou de uma nova resposta
- As regras recursivas com *backtracking* habilitados (  $?=>$  ), apenas para regras predicativas. As funções não admitem *backtracking*!
- A metodologia destas regras e sua construção, seguem esquemas mais avançados da programação declarativa



- A recursão é o paradigma das linguagens declarativas como Haskell, Prolog, Picat, ... etc
- As regras recursivas são construídas com uma ou mais *regras aterradas*, que **sempre vem antes** das demais regras recursivas, as quais podem ou não terem o *backtracking* habilitados ( $?=>$ )
- A avaliação destas regras **são sempre da esquerda para direita**, ocorrendo o *backtracking* em caso de falha ou de uma nova resposta
- As regras recursivas com *backtracking* habilitados (  $?=>$  ), apenas para regras predicativas. As funções não admitem *backtracking*!
- A metodologia destas regras e sua construção, seguem esquemas mais avançados da programação declarativa
- O *main* é uma regra predicativa que pode conter ou não argumentos.



- Definição de listas
- Representação
- Exemplos





- Requisito: conceitos de recursividade e funtores dominados!
- Os conceitos são os próximos os das LPs convencionais
- Essencialmente vamos computar sob uma árvore binária (cada nó tem duas ramificações)
- Lembrando que uma estrutura binária de árvore tem uma equivalência com uma árvore n-ária (ver livro de Estrutura de Dados)
- Logo, listas são estruturas flexíveis e poderosas!



# Ilustrando uma Lista em Formato Binário

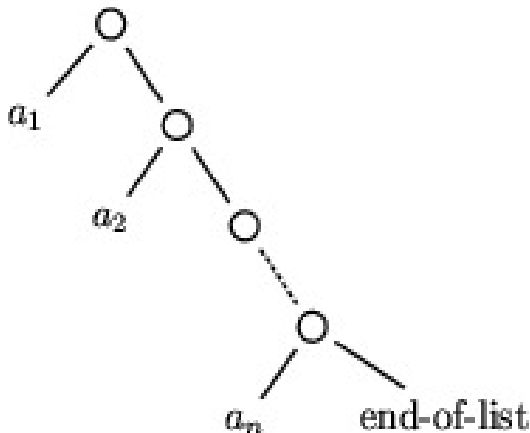


Figura 3: Uma estrutura Lista – Homogênea



# Ilustrando Listas e o Operador '|' (ou ':' da figura)

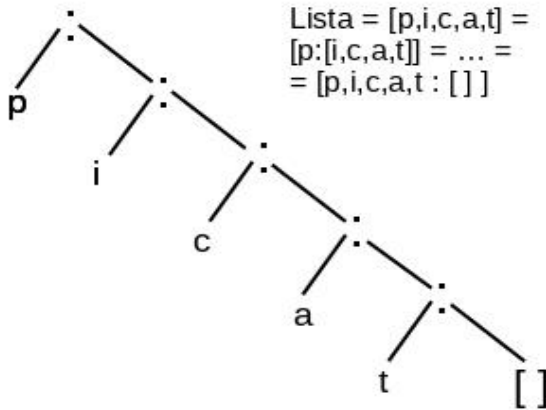


Figura 4: Listas são inerentemente **recursivas**!



lista: [a,b,c,d]

cabeça: a

cauda: [b,c,d]

lista: [[a,b],c,[d,e,f],g]

cabeça: [a,b]

cauda: [c,[d,e,f],g]

lista: [[A11,A12],[A21,A22]]

cabeça: [A11,A12]

cauda: [[A21,A22]]



## Definições iniciais (e recursivas)

- Uma lista é uma sequência de objetos;
- Uma lista é uma estrutura de dados que representa uma coleção de objetos homogêneos;
- Uma lista apresenta uma hierarquia natural, internamente, em *cabeça* de lista e sub-lista, até o fim da lista.



## Notação:

- O símbolo “[” é usado para descrever o início de uma lista, e “]” para o final da mesma;
- Exemplo: seja a lista [a, b, c, d ], logo um predicado cujo argumento seja algumas letras, tem-se uma lista do tipo:
  - letras([a, b, c, d ])
  - Onde ‘a’ é o *cabeça* (primeiro elemento) da lista
  - e [b, c, d ] é uma *sub-lista* que é uma lista!
- Os elementos de uma lista são lidos da esquerda para direita;
- A “*sub-lista*” [b, c, d ] é conhecida como *resto* ou “*cauda*” da lista;
- Esta sub-lista é uma lista, e toda definição segue-se recursivamente.



## Operador “|”:

- “*Como vamos distinguir de onde se encontra a cabeça da cauda da lista?*”
- Com as listas novos símbolos foram introduzidos, isto é, além dos delimitadores [...], há um novo operador que **separa** ou **define** quem é a elemento cabeça da lista e cauda.
- Este operador é conhecido como “*pipe*” (ou *barra vertical*), simbolizado por “|”, que separa o lado esquerdo da direita da lista.
- Esta separação é necessário para se realizar os *casamentos de padrões* nas linguagens lógicas.



## Exemplos de “casamentos”:

```
[ a, b, c, d ] = X
[ X | b, c, d ] = [ a, b, c, d ]
[ a | b, c, d ] = [ a, b, c, d ]
[ a, b | c, d ] = [ a, b, c, d ]
[ a, b, c | d ] = [ a, b, c, d ]
[ a, b, c, d | [] ] = [ a, b, c, d ]
[] = X
[ [ a | b, c, d ] ] = [ [ a, b, c, d ] ]
[ a | b, c, [ d ] ] = [ a, b, c, [ d ] ]
[ _ | b, c, [ d ] ] = [ a, b, c, [ d ] ]
[ a | Y ] = [ a, b, c, d ]
[ a | _ ] = [ a, b, c, d ]
[ a, b | c, d ] = [ X, Y | Z ]
```





Contra-exemplos de “casamentos”:

```
[ a , b | [c, d] ] != [ a, b, c, d ]
[ [ a , b , c , d] ] != [ a, b, c, d ]
[ a , b , [ c ] , d, e ] != [ a, b, c, d, e ]
[ [ [ a ] | b , c , d] ] != [ [ a , b , c , d] ]
```



- Estes casamentos de objetos de uma lista são também conhecidos por “*matching*”
- Devido ao fato de listas modelarem qualquer estrutura de dados, invariavelmente, seu uso é extensivo há problemas em geral (dos simples a complexos)
- Porém, alguns cuidados no uso de predicados com backtracking. Acompanhe os exemplos.



# Exemplo: encontrar o comprimento de uma lista l

- O comprimento de uma lista é o comprimento de sua **sub-lista**, mais **um**
- O comprimento de uma lista vazia (`[]`) é zero.

Em Picat, sob uma visão funcional, este enunciado é escrito por:

```
comprimento_02( [ ] ) = 0.  
comprimento_02([ _ | L ]) = N =>  
    N = 1 + comprimento_02( L ).
```



# Exemplo: encontrar o comprimento de uma lista II

Em Picat, sob uma visão lógica, este predicado pode ser construído como:

```
comprimento_01([],N) ?=> N = 0.  
%%% em PROLOG, apenas comprimento_01([],0). PORQUÊ?  
comprimento_01(_|L,N) =>  
    comprimento_01( L , Parcial ),  
    N = 1 + Parcial.
```



# Exemplo: encontrar o comprimento de uma lista III

Um “*mapa de memória*” é dado por:

|                                  | Regra | X | T                    | N               | $N = N+1$      |
|----------------------------------|-------|---|----------------------|-----------------|----------------|
| <code>compto([a,b,c,d],N)</code> | #2    | a | <code>[b,c,d]</code> | $3 \rightarrow$ | $3+1=4$        |
| <code>compto([b,c,d],N)</code>   | #2    | b | <code>[c,d]</code>   | $2 \rightarrow$ | $\swarrow 2+1$ |
| <code>compto([c,d],N)</code>     | #2    | c | <code>[d]</code>     | $1 \rightarrow$ | $\swarrow 1+1$ |
| <code>compto([d],N)</code>       | #2    | d | <code>[]</code>      | $0 \rightarrow$ | $\swarrow 0+1$ |
| <code>compto([],N)</code>        | #1    | – | –                    | –               | $\swarrow 0$   |



# Exemplo: verificar a pertinência de um objeto na lista I

- Verifica se um dado objeto pertence há uma lista
- Um método clássico – muito usado
- Tem embutido no Picat: o *member*

Em Picat, sob uma visão funcional, esta função é escrita por:

```
pertence_02( _ , [ ] ) = false.  
pertence_02( A, [A|_] ) = true.  
% CUIDAR ... em funcoes nao hah ? em ?=> ...  
% sem backtracking em funcoes  
pertence_02(A, [B|L]) = X =>  
    A != B,  
    X = pertence_02(A,L).
```



## Exemplo: verificar a pertinência de um objeto na lista II

Em Picat, sob uma visão lógica, este predicado pode ser construído como:

```
pertence_01( A, [A|_] ) ?=> true.  
% Again, backtracking CONTROLADO ... diferente do Prolog  
pertence_01(A,[B|L]) =>  
    A != B,  
    pertence_01(A,L).
```



## Exemplo: adicionar um elemento em uma lista I

- Um objeto é adicionado no início da lista (sem repetição) caso este já esteja contido na lista, a lista original é a retornada:

Em Picat, sob uma visão funcional, esta função é escrita por:

```
add_X_lista_02(X, [ ]) = [X].  
add_X_lista_02(X, Y) = Z =>  
    pertence_02(X, Y) = true,  
    Z = Y;  
Z = [ X | Y ].
```





## Exemplo: adicionar um elemento em uma lista II

Em Picat, sob uma visão lógica, este predicado pode ser construído como:

```
add_X_lista_01(X, [ ], Z )  ?=> Z = [X].  
add_X_lista_01(X, Y, Z) ?=>  
    pertence_01(X, Y),  
    Z = Y.  
add_X_lista_01(X, Y, Z) =>  
    Z = [ X | Y ].
```



- O método de união ou concatenação entre duas listas, resultando em uma terceira lista
- Este predicado é conhecido como *append* ou *concatena*. O *append* está pronto na biblioteca default do Picat
- Há uma versão simplificada:  $L3 = L1 ++ L2$

Em Picat, sob uma visão funcional, esta função é escrita por:

```
uniao_02( [], X ) = X.
```

```
uniao_02( [X|L1], L2 ) = L3 =>
```

```
    L3 = [X | uniao_02( L1, L2 )].
```



Em Picat, sob uma visão lógica, este predicado pode ser construído como:

```
uniao_01( [], X, Y ) ?=> Y = X.  
uniao_01( A , L2, R  ) =>  A = [X|L1] ,  
                             R = [X|L3] ,  
                             uniao_01( L1, L2, L3 ).
```



- O conceito de *list comprehension* veio da programação funcional
- Basicamente serve para criarmos ou gerarmos listas
- Bastante útil e pode ser usada em qualquer parte de um código



Um *list comprehension* tem o seguinte formato na criação de listas:

$$[T : E_1 \text{ in } D_1, \text{ Cond}_1, \dots, E_n \text{ in } D_n, \text{ Cond}_n]$$

- $T$  é uma termo (uma expressão num caso genérico)
- $E_i$  é um padrão de iteração
- $D_i$  é uma expressão de um valor composto, em geral um intervalo de domínio
- Opcionalmente, condições  $\text{Cond}_1, \dots, \text{Cond}_n$  são chamados de *termos*
- Esta geração de lista tem a seguinte interpretação: *toda tupla de valores  $E_1 \in D_1, \dots, E_n \in D_n$ , se as condições  $\text{Cond}_i$  forem verdades, então o valor do termo  $T$  é adicionado na lista em construção*



Um vetor ou matrizes também pode ser construídos com um *array comprehension* e tem o seguinte formato:

$$\{T : E_1 \text{ in } D_1, \text{ Cond}_1, \dots, E_n \text{ in } D_n, \text{ Cond}_n\}$$

Isto é o mesmo como

```
to_array([T : E_1 in D_1, Cond_1, ..., E_n in D_n,  
           Cond_n])
```



# Exemplos de *list comprehension* I

```
L1 = [I : I in 1..20]
```

```
L2 = [I : I in 1..20, I>10, I<20]
```

```
L3 = [(A,I) : A in [a,b], I in 1..2]
```

```
V1 = {I : I in 1 .. 7}
```

```
V2 = {(I,J) : I in 1 .. 2, J in 11 .. 12}
```



- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat





- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat
- Se aprende sobre listas, fazendo muitos métodos



- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat
- Se aprende sobre listas, fazendo muitos métodos
- A recursividade em sua modelagem, define a metodologia de se *programar em lógica*



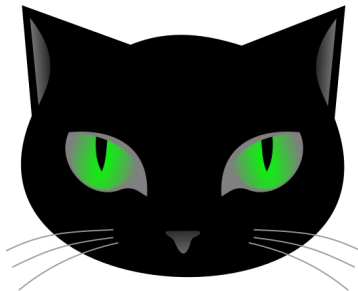
- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat
- Se aprende sobre listas, fazendo muitos métodos
- A recursividade em sua modelagem, define a metodologia de se *programar em lógica*
- Exercitar-se para aprender os detalhes!



- Há muitos predicados e funções prontas sobre listas nos módulos do Picat
- Se aprende sobre listas, fazendo muitos métodos
- A recursividade em sua modelagem, define a metodologia de se *programar em lógica*
- Exercitar-se para aprender os detalhes!
- Usar as listas em problemas complexos, como na aula de aplicações de buscas.



- Conceituar buscas
- Núcleo das buscas
- Exemplo



- Requisito: conceitos de listas e recursividade dominados!



- Requisito: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc



- Requisito: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc
- Pois, problemas em geral se apresentam como uma conexão complexa tipo um *grafo*, e a varredura sob este grafo é sistemática sob uma *árvore de busca*





- Requisito: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc
- Pois, problemas em geral se apresentam como uma conexão complexa tipo um *grafo*, e a varredura sob este grafo é sistemática sob uma *árvore de busca*
- Então, computar listas em Picat, é a nossa estratégia de resolver problemas!



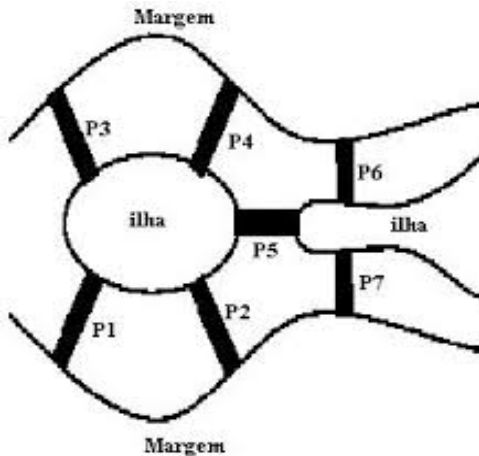


Figura 5: Ciclo Euleriano – Problema das Pontes de Königsberg



- No século 18 havia na cidade de Königsberg (antiga Prússia) um conjunto de sete pontes (identificadas pelas letras de P1 até P7 na figura ao lado ) que cruzavam o rio Prególia. Elas conectavam duas ilhas entre si e as ilhas com as margens esquerda e direita.
- Os habitantes daquela cidade perguntavam-se se era possível cruzar as sete pontes numa caminhada contínua sem que se passasse duas vezes por qualquer uma das pontes.
- Embora intrigante, este problema foi atacado por Leonard Euler (1736) e demonstrou que isto não era possível para um grafo qualquer
- Curiosamente, este problema, computacionalmente é fácil de resolver!



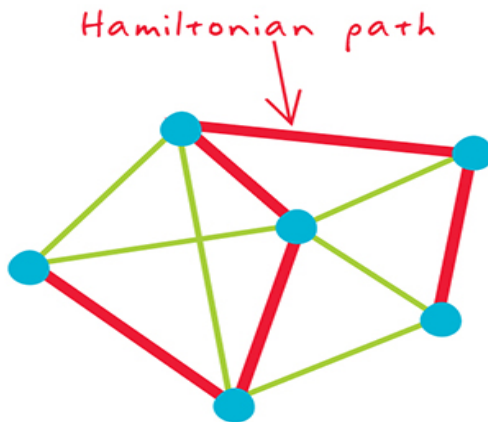


Figura 6: Caminho Hamiltoniano – Há um caminho que passe por todas cidades uma única vez?



- Diferente do ciclo Euleriano, o caminho Hamiltoniano, origem e destino são diferentes
- Todos os nós precisam ser visitados uma única vez sem repetição
- Num grafo pode haver muitos caminhos Hamiltonianos, mas, pode não existir nenhum!
- Ao contrário do ciclo Euleriano, este problema, computacionalmente é difícil de resolver!
- Mas é este que vamos usar como exemplo, com um algoritmo ingênuo.



Contextualizando estes termos:

- Em geral, problemas podem ser vistos como *fotografias instantâneas* de uma situação, isto é, **um estado discreto**
- Uma *sucessão* destes estados, compõem *um caminho* de um estado  $i$  ao estado  $j$
- Assim, estes *estados* são representados pelos *nós dos grafos*, e a ligação entre estes, são resultados de *uma ação*, mudança ou evolução do problema
- Há um estado particular chamado *inicial*, vários outros de estados *intermediários*, e outros estados  *finais*
- Se o problema tiver várias soluções, o mesmo apresenta vários caminhos do estado inicial ao final.



- Assim uma sucessão ou transição válida entre estados, é conhecido como uma *solução* ou *prova* do problema
- Essencialmente vamos varrer uma estrutura entre estados ou nós, de modo sistemático até encontrarmos uma solução aceitável/desejável.
- Logo, vamos empregar alguns conceitos da teoria dos grafos, em modelar problemas e resolvê-los por um esquema de busca computacional



# Problemas de Grafos se Transformam em Árvores de Buscas

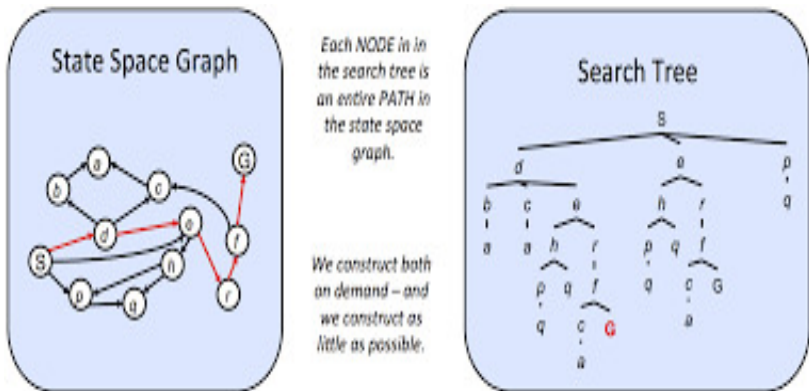


Figura 7: Google ...



Resumindo, os problemas são modelados em estruturas complexas, tais como grafos, mas o processo de solução se mantém: realizar uma busca, tal como uma estrutura de uma árvore



## Pseudo-código já em Picat

```
resolve(P) =>  
    inicio(Start),  
    busca(Start,[Start],Qsol),  
    imprime_saida(Qsol,P).
```

```
busca(S,P,P) ?=> objetivo(S).      % objetivo alcançado : FIM  
busca(S,Visited,P) =>  
    proximo_estado(S,Nxt),          % gera um proximo estado  
    estado_seguro(Nxt),             % verifica se este estado  
    sem_loop(Nxt,Visited),          % verifica se está em loop  
    busca(Nxt,[Nxt|Visited],P).     % continue a busca recursiva
```



```
sem_loop(Nxt,Visited) :-  
    \+member(Nxt,Visited).
```

```
proximo_estado(S,Nxt) =>    < fill in here >.  
estado_seguro(Nxt) =>      < fill in here >.  
sem_loop(Nxt,Visited) =>    < fill in here >.
```

```
inicio(...).  
objetivo(...).
```

Vamos reescrever este pseudo-código em um problema!



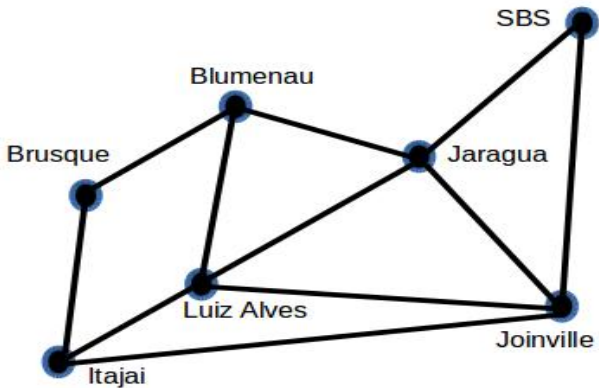
# Caminho Hamiltoniano Aplicado



Seja um viajante que sai cedo de Joinville, e chegar a noite em Blumenau, passando por algumas destas cidades uma única vez!



# Cidades Escolhidas pelo Viajante



- Em nosso problema temos 7 cidades pré-escolhidas

- A lista de cidades são:

```
index(-) %% lista de todas cidade do mapa  
as_cidades( [ brusque, blumenau, itajai, luiz_alves,  
             jaragua, sao_bento, joinville ] ).
```

- Duas cidades em particular

```
index(-)  
destino( blumenau ).
```

```
index(-)  
origem( joinville ).
```

- As estradas transitáveis entre as cidades definem o nosso mapa, conseqüentemente um grafo entre cidades:



```
%% MAPA da região
index(-,-)
arco(joinville, sao_bento) .
arco(joinville, itajai) .
arco(joinville, jaragua) .
arco(joinville, luiz_alves) .
arco(jaragua, sao_bento) .
arco(jaragua, blumenau) .
arco(jaragua, luiz_alves) .
arco(itajai, luiz_alves) .
arco(blumenau, luiz_alves) .
arco(blumenau, itajai) .
arco(brusque, itajai) .
arco(brusque, blumenau) .
```



- Claro, este problema é pequeno e construindo o grafo dá para perceber que existe algumas soluções
- Para resolver este problema vamos utilizar uma *busca em profundidade*
- Esta *busca em profundidade*, encontra-se inserida no contexto buscas em geral, visto anteriormente



```
busca_DFS ( [ No_corrente | Caminho] , L_sol) ?=>
    destino(No_final),          %%% condicao de parada 1
    No_corrente == No_final,
    L_sol = [ No_corrente | Caminho ],
    as_cidades(L_Todas_Cidades), %%% condicao de parada 2
    %% TODAS CIDADES FORAM VISITADAS
    length (L_sol) == length(L_Todas_Cidades),
    write(L_sol),
    printf(" \n UMA SOLUCAO ....: OK\n ==>").
```

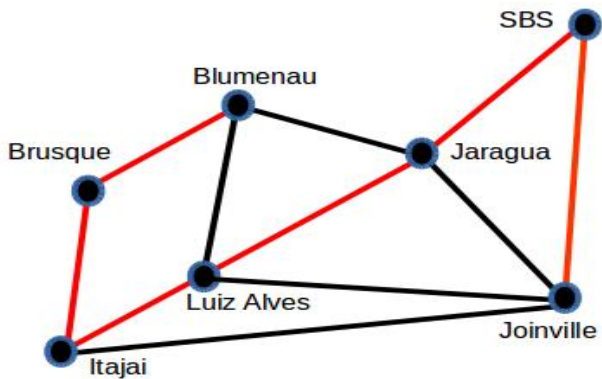
```
busca_DFS ( [NoH | Caminho], Solucao) =>
    %%% explorar um novo movimento ou um novo noh
    move_no(NoH , Novo_NoH),
    %% testar se este novo noh nao foi visitado ainda
    %% ou novo_NOH eh permitido
    not( member(Novo_NoH, [NoH|Caminho]) ),
    busca_DFS( [Novo_NoH , NoH | Caminho ] , Solucao).
```





- Acompanhar as explicações do código de:  
`https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/hamiltoniano\_DFS.pi`
- Confira a execução





- A recursividade na modelagem das buscas, define uma metodologia de se *programar em lógica* e resolver problemas



- A recursividade na modelagem das buscas, define uma metodologia de se *programar em lógica* e resolver problemas
- Exercitar-se para aprender os detalhes!



- A recursividade na modelagem das buscas, define uma metodologia de se *programar em lógica* e resolver problemas
- Exercitar-se para aprender os detalhes!
- Há o uso extensivo de listas em problemas complexos



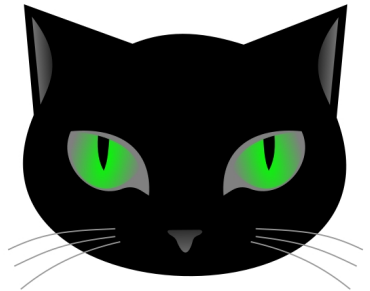
- A recursividade na modelagem das buscas, define uma metodologia de se *programar em lógica* e resolver problemas
- Exercitar-se para aprender os detalhes!
- Há o uso extensivo de listas em problemas complexos
- Aos problemas complexos, há outras técnicas de programação para resolvê-los.



- A recursividade na modelagem das buscas, define uma metodologia de se *programar em lógica* e resolver problemas
- Exercitar-se para aprender os detalhes!
- Há o uso extensivo de listas em problemas complexos
- Aos problemas complexos, há outras técnicas de programação para resolvê-los.
- Assunto das próximas seções!



- O que é PD?
- Importância
- Exemplo





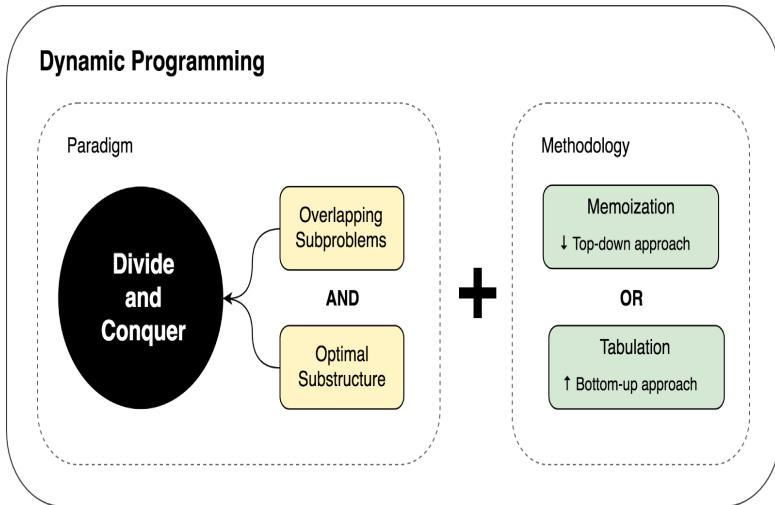


Figura 8: Conceitos da Programação Dinâmica – (PD)



- Uma poderosa técnica de programação que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais



- Uma poderosa técnica de programação que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais
- O problema **deve** apresentar uma regra de recorrência



- Uma poderosa técnica de programação que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais
- O problema **deve** apresentar uma regra de recorrência
- A idéia é que todos os cálculos feitos a partir desta *regra de recorrência*, são consultados e armazenados numa *tabela dinâmica*



- Uma poderosa técnica de programação que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais
- O problema **deve** apresentar uma regra de recorrência
- A idéia é que todos os cálculos feitos a partir desta *regra de recorrência*, são consultados e armazenados numa *tabela dinâmica*
- Esta técnica de utilizar uma *tabela dinâmica* nos cálculos intermediários, evitando a repetição do que já foi calculado anteriormente, é conhecida como: Programação Dinâmica, ou simplesmente: PD



- Como Picat usa a recursão, na programação em lógica, nada mais natural do que esta ter a PD disponível



- Como Picat usa a recursão, na programação em lógica, nada mais natural do que esta ter a PD disponível
- O comando que cria uma tabela para um determinado predicado é o *tabling*



- Como Picat usa a recursão, na programação em lógica, nada mais natural do que esta ter a PD disponível
- O comando que cria uma tabela para um determinado predicado é o *tabling*
- O *tabling* é um dos elementos fortes do planejador do Picat (módulo *planner*)





- Como Picat usa a recursão, na programação em lógica, nada mais natural do que esta ter a PD disponível
- O comando que cria uma tabela para um determinado predicado é o *tabling*
- O *tabling* é um dos elementos fortes do planejador do Picat (módulo *planner*)
- O exemplo escolhido para ilustrar a PD em Picat, veio do texto *Modeling and Solving AI Problems in Picat*, de Roman Barták e Neng-Fa



# Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

- Seja o binômio  $(x + y)^n$ , conhecido *Binômio de Newton*



# Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

- Seja o binômio  $(x + y)^n$ , conhecido *Binômio de Newton*
- Casos particulares são:
- $(x + y)^0 = 1$
- $(x + y)^1 = x + y$
- $(x + y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$



# Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

- Seja o binômio  $(x + y)^n$ , conhecido *Binômio de Newton*
- Casos particulares são:
- $(x + y)^0 = 1$
- $(x + y)^1 = x + y$
- $(x + y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$
- $(x + y)^2 = x^2y^0 + 2x^1y^1 + x^0y^2$
- $(x + y)^3 = x^3y^0 + 3x^2y^1 + 3x^1y^2 + x^0y^3$
- $(x + y)^4 = x^4y^0 + 4x^3y^1 + 6x^2y^2 + 4x^1y^3 + x^0y^4.$
- .....



# Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

- Seja o binômio  $(x + y)^n$ , conhecido *Binômio de Newton*
- Casos particulares são:
- $(x + y)^0 = 1$
- $(x + y)^1 = x + y$
- $(x + y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$
- $(x + y)^2 = x^2y^0 + 2x^1y^1 + x^0y^2$
- $(x + y)^3 = x^3y^0 + 3x^2y^1 + 3x^1y^2 + x^0y^3$
- $(x + y)^4 = x^4y^0 + 4x^3y^1 + 6x^2y^2 + 4x^1y^3 + x^0y^4.$
- .....
- Como obter estes coeficientes polinômios?



# Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

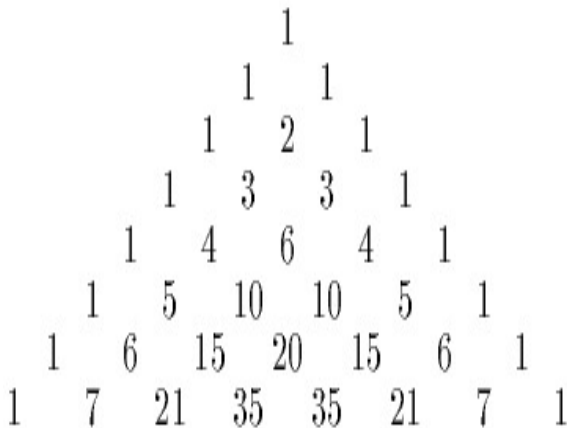


Figura 9: O triângulo de Pascal



# Exemplo de Uso da Programação Dinâmica – (PD)

A Triângulo de Pascal

|   | p_0                                    | 1                                      | 2                                      | 3                                      | 4                                      | 5                                      | 6                                      |
|---|--|--|--|--|--|--|--|
| N |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ |  |  |  |  |  | 1                                      |
| 1 | $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ |  |  |  |  | 1 <u>1</u>                             |
| 2 | $\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}$ |  |  |  | 1 <u>2</u> 1                           |
| 3 | $\begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 3 \\ 3 \end{pmatrix}$ |  |  | 1 <u>3</u> <u>3</u> 1                  |
| 4 | $\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 4 \\ 1 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 4 \\ 2 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 4 \\ 3 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 4 \\ 4 \end{pmatrix}$ |  | 1 <u>4</u> 6 4 1                       |
| 5 | $\begin{pmatrix} 5 \\ 0 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 5 \\ 1 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 5 \\ 2 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 5 \\ 3 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 5 \\ 4 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 5 \\ 5 \end{pmatrix}$ | 1 <u>5</u> 10 <u>10</u> 5 1            |
| 6 | $\begin{pmatrix} 6 \\ 0 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 6 \\ 1 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 6 \\ 2 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 6 \\ 3 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 6 \\ 4 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 6 \\ 5 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 6 \\ 6 \end{pmatrix}$ |
|   |  |  |  |  |  |  | 1 6 15 20 15 6 1                       |

Figura 10: O triângulo de Pascal – Coeficientes Binomiais



- O *coeficiente binomial*, também chamado de *número binomial*, de um número  $n$ , na classe  $k$ , consiste no número de combinações de  $n$  termos,  $k$  a  $k$ .





- O *coeficiente binomial*, também chamado de *número binomial*, de um número  $n$ , na classe  $k$ , consiste no número de combinações de  $n$  termos,  $k$  a  $k$ .
- O número binomial de um número  $n$ , na classe  $k$ , pode ser escrito como:

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} = \frac{n(n-1)(n-2)\cdots(n-k+1)}{k!}$$



- Alternativa ao cálculo do fatorial, tem-se a relação de Stiffel:

$$\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k-1} + \binom{n-1}{k}$$



- Alternativa ao cálculo do fatorial, tem-se a relação de Stiffel:

$$\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k-1} + \binom{n-1}{k}$$

- O coeficiente binomial é muito utilizado no Triângulo de Pascal, onde o termo na linha  $n$  e coluna  $k$  é dado por:  $\binom{n-1}{k-1}$



- Alternativa ao cálculo do fatorial, tem-se a relação de Stiffel:

$$\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k-1} + \binom{n-1}{k}$$

- O coeficiente binomial é muito utilizado no Triângulo de Pascal, onde o termo na linha  $n$  e coluna  $k$  é dado por:  $\binom{n-1}{k-1}$
- A fórmula de Stiffel é recorrente, e diretamente escrita em Picat.  
Veja os códigos.



```
import datetime.    %%% para o statistics
import util.
```

```
table
c(_, 0) = 1.
c(N, N) = 1.
c(N,K) = c(N-1, K-1) + c(N-1, K).
```



```

main ?=>
    statistics(runtime,_), % faz uma marca do 1o. statistics
    N = 10, %% ateh uns 30 ... são números grandes ... fatorial
    foreach(I in 0 .. N)
        foreach(J in 0 .. I)
            printf("  %d", c(I,J))
            end,
            printf(" \n"),
        end,
    statistics(runtime, [T_Picat_ON, T_final]),
    T = (T_final) / 1000.0, %%% está em milisegundos
    printf("\n CPU time %f em SEGUNDOS ", T),
    printf("\n OVERALL PICAT CPU time %f em SEGUNDOS ", T_Picat_ON/1000
    printf(" \n =====\n ")
    %%% , fail descomente para multiplas solucoes
.
main => printf("\n Para uma solução .... !!!!!" ) .

```



- Acompanhar as explicações do código de:  
`https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/coeficiente\_binomial\_PD.pi`
- Confira a execução



```
[ccs@gerzat picat]$ picat coeficiente_binomial_PD.pi
```

```
1
1 1
1 2 1
1 3 3 1
1 4 6 4 1
1 5 10 10 5 1
1 6 15 20 15 6 1
1 7 21 35 35 21 7 1
1 8 28 56 70 56 28 8 1
1 9 36 84 126 126 84 36 9 1
1 10 45 120 210 252 210 120 45 10 1
```

```
CPU time 0.000000 em SEGUNDOS
```

```
OVERALL PICAT CPU time 0.009000 em SEGUNDOS
```

```
=====
```





- Há outros métodos para se resolver estes problemas



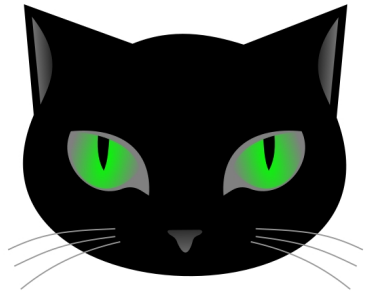
- Há outros métodos para se resolver estes problemas
- O comando *tabling* é a base do módulo *planner*



- Há outros métodos para se resolver estes problemas
- O comando *tabling* é a base do módulo *planner*
- Uma estratégia de programação bem poderosa



- O que é Planejamento?
- Importância da área
- Muitas definições
- Exemplo



- Requisitos: conceitos de listas e recursividade dominados!



- Requisitos: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc



- Requisitos: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc
- *Planejamento* é um termo amplo e em vários domínios



- Requisitos: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc
- *Planejamento* é um termo amplo e em vários domínios
- O que **não** é o nosso contexto de *planejamento* ?  
Exemplo: planejamento estratégico das empresas, planejar como distribuir os dividendos da empresa, orçamento familiar, etc





- Requisitos: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc
- *Planejamento* é um termo amplo e em vários domínios
- O que **não** é o nosso contexto de *planejamento* ?  
Exemplo: planejamento estratégico das empresas, planejar como distribuir os dividendos da empresa, orçamento familiar, etc
- O que é o nosso contexto de *planejamento* ?



- Requisitos: conceitos de listas e recursividade dominados!
- Além destes: conceitos grafos, árvores de busca, nós, etc
- *Planejamento* é um termo amplo e em vários domínios
- O que **não** é o nosso contexto de *planejamento* ?  
Exemplo: planejamento estratégico das empresas, planejar como distribuir os dividendos da empresa, orçamento familiar, etc
- O que é o nosso contexto de *planejamento* ? Questões que envolvam um ambiente, um agente (um programa, um robô, etc), sensores, e ações que modifiquem estados.  
Exemplo clássico: robótica em geral



- Problemas em geral necessitam de um **plano** para serem solucionados, assim, há uma visão que encontrar um plano para um problema, é ter uma solução!



- Problemas em geral necessitam de um **plano** para serem solucionados, assim, há uma visão que encontrar um plano para um problema, é ter uma solução!
- Em resumo, a área de planejamento é bem complexa, antiga na área da IA e robótica (1970 – STRIPS), efervescente, e de muito interesse na indústria.



- Problemas em geral necessitam de um **plano** para serem solucionados, assim, há uma visão que encontrar um plano para um problema, é ter uma solução!
- Em resumo, a área de planejamento é bem complexa, antiga na área da IA e robótica (1970 – STRIPS), efervescente, e de muito interesse na indústria.
- Várias abordagens sobre a visão clássica da IA. Mas temos evoluções significativas ...



- Problemas em geral necessitam de um **plano** para serem solucionados, assim, há uma visão que encontrar um plano para um problema, é ter uma solução!
- Em resumo, a área de planejamento é bem complexa, antiga na área da IA e robótica (1970 – STRIPS), efervescente, e de muito interesse na indústria.
- Várias abordagens sobre a visão clássica da IA. Mas temos evoluções significativas ...
- PDDL (*Planning Domain Definition Language*): unanimidade (ou próxima a esta) entre os pesquisadores de planejamento, como linguagem descritora de problemas de planejamento.



- Problemas em geral necessitam de um **plano** para serem solucionados, assim, há uma visão que encontrar um plano para um problema, é ter uma solução!
- Em resumo, a área de planejamento é bem complexa, antiga na área da IA e robótica (1970 – STRIPS), efervescente, e de muito interesse na indústria.
- Várias abordagens sobre a visão clássica da IA. Mas temos evoluções significativas ...
- PDDL (*Planning Domain Definition Language*): unanimidade (ou próxima a esta) entre os pesquisadores de planejamento, como linguagem descritora de problemas de planejamento.
- Vários problemas ainda sem solução, pois a complexidade é exponencial



- Plano: seqüência ordenada de ações





- Plano: seqüência ordenada de ações
  - problema: obter banana, leite e uma furadeira (nesta ordem)



- Plano: seqüência ordenada de ações
  - problema: obter banana, leite e uma furadeira (nesta ordem)
  - plano: ir ao supermercado, ir à seção de frutas, pegar as bananas, ir à seção de leite, pegar uma caixa de leite, ir ao caixa, pagar tudo, ir a uma loja de ferramentas, ..., voltar para casa.



- Plano: seqüência ordenada de ações
  - problema: obter banana, leite e uma furadeira (nesta ordem)
  - plano: ir ao supermercado, ir à seção de frutas, pegar as bananas, ir à seção de leite, pegar uma caixa de leite, ir ao caixa, pagar tudo, ir a uma loja de ferramentas, ..., voltar para casa.
- Um Planejador: Combina conhecimento de um ambiente, um agente e suas ações possíveis, entradas (luz, cor, cheiro, sensor, etc), um estado corrente e/ou inicial, e com isto resolve de problemas planejar seqüência de ações, que mudam de estados a cada ação, até atingir um estado final.



# Exemplos do que é planejamento ...

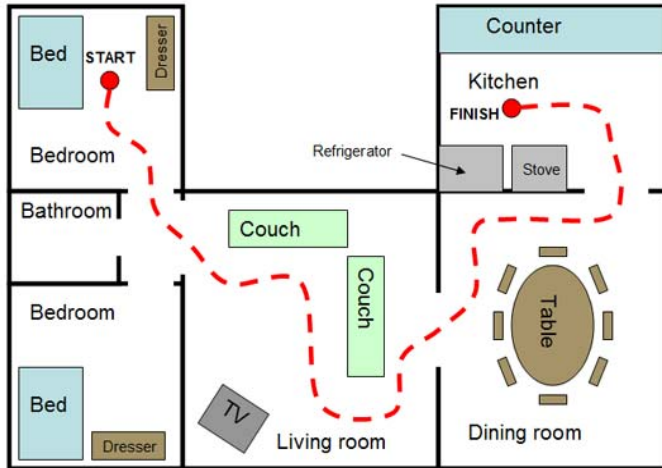


Figura 11: A fome no meio da noite!



# Exemplos do que é planejamento ...

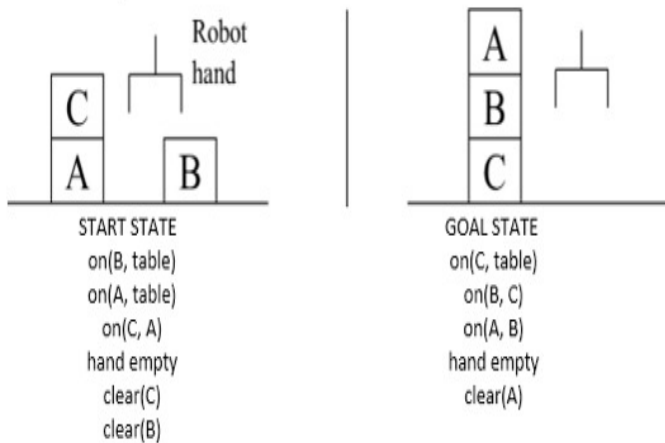


Figura 12: O mundo dos blocos



## Graph of state space

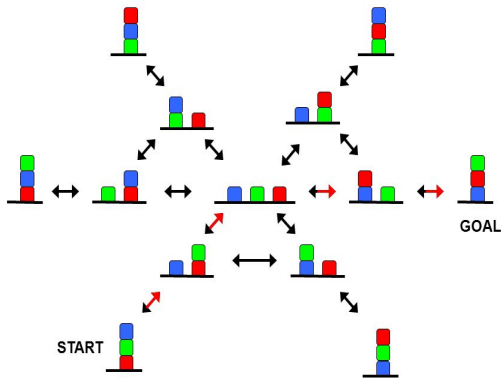


Figura 13: O espaço de estados do *mundo dos blocos*  $\times$  ações



- Plano: uma sequência ordenada de ações, criada incrementalmente a partir do estado inicial  
Ex. posições das peças de um jogo

$$S_1 < S_2 < \dots < S_n$$

- Ambiente: onde um programa–agente vai receber entradas em um determinado estado e atuar com uma ação apropriada
- Estados: descrição completa de possíveis estados atingíveis  
Problema: quanto aos estados não-previstos, inacessíveis?
- Estado inicial: um estado particular onde nosso programa–agente inicia a sua busca
- Objetivos: estados desejados que o programa–agente precisa alcançar, isto é, um dos *estados finais* desejados



- Percepções: cheiro, brisa, luz, choque, som, posições ou coordenadas, vizinhanças, etc
- Ações: provocam modificações entre os estados corrente e sucessor  
Exemplos: avançar para próxima célula, girar 90 graus à direita ou à esquerda pegar um objeto, atirar na direção do alvo, etc
- Operadores: vocabulário ou repertório de atuações atômicas do que o agente pode fazer.  
Exemplos: *pegar*( $X$ ), *mover\_de*( $X, Y$ ), *levantar*( $X$ ), *livre*( $X$ ), etc
- Uma eventual confusão para iniciantes: um ação é um conjunto de um ou mais operadores, e ainda, **a ação é condicional**. A ação só é disparada se as condições de pré-requisitos forem satisfeitas.





- Heurística: alguma função que indica o progresso sobre os estados não visitados e sua convergência para uma finalização do plano





Figura 14: Um quebra-cabeça ( $2 \times 3$  ou  $3 \times 2$ ) *simplificado* do conhecido  $3 \times 3$



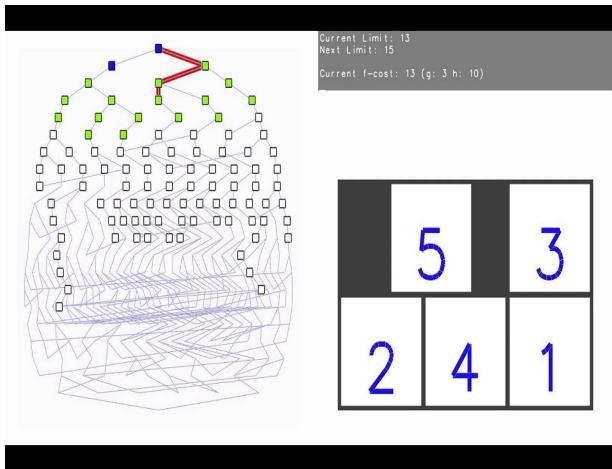


Figura 15: Sim, *simplificado* mas não muito!



```
/*
```

```
A  B  C
```

```
D  E  F
```

```
*/
```

```
%%%%%%%%%
```

```
%  1 5 %
```

```
% 4 3 2 %
```

```
%%%%%%%%%
```

```
import datetime.
```

```
import planner.
```



```
index(-)  
estado_inicial( [0,1,5,4,3,2] ).
```

```
%% funcao final do planner  
final( [1,2,3,4,5,0] ) => true .
```



```
% Up <-> Down
/* Descrevendo as possiveis acoes para o planner */
action([A,B,C, D,E,F], S1, Acao, Custo_Acao ) ?=>
    Custo_Acao = 1,
    ( A == 0 ), %% conj. condicoes
    S1 = [D,B,C, 0,E,F],
    Acao = ($up(D),S1). %%a acao + estado modificado

action([A,B,C, D,E,F], S1, Acao, Custo_Acao ) ?=>
    Custo_Acao = 1,
    (A == 0 ), %% conj. condicoes
    S1 = [0,B,C, A,E,F],
    Acao = ($dow(A),S1). %%a acao + estado modificado
```

.....



```
% Left <-> Right
action([A,B,C, D,E,F], S1, Acao, Custo_Acao ) ?=>
    Custo_Acao = 1,
    (A == 0), %% conj. condicoes
    S1 = [B,0,C, D,E,F],
    Acao = ($left(B), S1). %%a acao + estado modificado

action([A,B,C, D,E,F], S1, Acao, Custo_Acao ) ?=>
    Custo_Acao = 1,
    (B == 0), %% conj. condicoes
    S1 = [0,A,C, D,E,F],
    Acao = ($right(A), S1). %%a acao + estado modificado
.....
```



```
main ?=>
    estado_inicial( Q ),

    best_plan_unbounded( Q , Sol_Acoes),
    println(sol=Sol_Acoes),

    printf("\n Estado Inicial: "),
    w_Quadro( Q ),
    w_L_Estado( Sol_Acoes ),

    Total := length(Sol_Acoes) ,
    Num_Movts := (Total -1) ,
    printf("\n Inicial (estado): %w ", Q),
    printf("\n Total de acoes: %d", Total),
    printf(" \n =====\n ")
    %%% , fail descomente para multiplas solucoes
    .
```





```
main => printf("\n Para uma solução .... !!!!" ) .
```

```
.....
```



- Acompanhar as explicações do código de:  
`https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/puzzle\_2x3\_planner.pi`
- Confira a execução



```
[ccs@gerzat picat]$ picat puzzle_2x3_planner.pi
sol = [(left(1),[1,0,5,4,3,2]),(left(5),[1,5,0,4,3,2]),
(up(2),[1,5,2,4,3,0]),(right(3),[1,5,2,4,0,3]),(dow(5),[1,0,2,4,5,3]),
(left(2),[1,2,0,4,5,3]),(up(3),[1,2,3,4,5,0])]
```

Estado Inicial:

```
0 1 5
4 3 2
```

Acao: left(1)

```
1 0 5
4 3 2
```

Acao: left(5)

```
1 5 0
4 3 2
```



```
.....  
Acao: left(2)  
  1 2 0  
  4 5 3  
  
Acao: up(3)  
  1 2 3  
  4 5 0  
  
Inicial  (estado): [0,1,5,4,3,2]  
Total de acoes: 7  
=====
```



- O que efetivamente voce precisa saber



- O que efetivamente voce precisa saber
- Importar um módulo  
`import planner.`



- O que efetivamente voce precisa saber
- Importar um módulo  
`import planner.`
- O predicado: *final*  
`final(S,Plan,Cost) => Plan=[], Cost=0, final(S).`



- O que efetivamente voce precisa saber
- Importar um módulo  
`import planner.`
- O predicado: *final*  
`final(S,Plan,Cost) => Plan=[], Cost=0, final(S).`
- O predicado *action*  
`action(S,NextS,Action,ActionCost)`





- A eficiência do planner do Picat se dá devido a sua combinação de técnicas: busca em profundidade (e variações) e Programação Dinâmica (PD), com o *tabling*



- A eficiência do planner do Picat se dá devido a sua combinação de técnicas: busca em profundidade (e variações) e Programação Dinâmica (PD), com o *tabling*
- O núcleo de busca dos planejadores disponíveis no Picat são de 2 tipos:
  - ① Usam um busca em profundidade com limites (*Depth-Bounded Search*)
  - ② Usam um busca em profundidade ilimitada de recursos (*Depth-Unbounded Search*)
- Contudo, estes 2 tipos apresentam muitas variações e opções:



- A eficiência do planner do Picat se dá devido a sua combinação de técnicas: busca em profundidade (e variações) e Programação Dinâmica (PD), com o *tabling*
- O núcleo de busca dos planejadores disponíveis no Picat são de 2 tipos:
  - ① Usam um busca em profundidade com limites (*Depth-Bounded Search*)
  - ② Usam um busca em profundidade ilimitada de recursos (*Depth-Unbounded Search*)
- Contudo, estes 2 tipos apresentam muitas variações e opções: Sem escapatória  $\Rightarrow$  consultar o manual do Picat (*User Guide to Picat*)
- No exemplo aqui apresentado:  
`best_plan_unbounded(S,Plan)`



- Outros métodos para se resolver estes problemas



- Outros métodos para se resolver estes problemas
- Mas perdemos na portabilidade de usar em outros planejadores



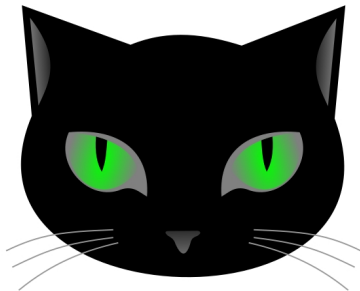
- Outros métodos para se resolver estes problemas
- Mas perdemos na portabilidade de usar em outros planejadores
- Os modelos escritos em PDDL (*Planning Domain Definition Language*) facilmente portáveis para Picat



- Outros métodos para se resolver estes problemas
- Mas perdemos na portabilidade de usar em outros planejadores
- Os modelos escritos em PDDL (*Planning Domain Definition Language*) facilmente portáveis para Picat
- Sob um uso mais restrito, um modelo em PDDL é executado diretamente em Picat



- Conceituar a PR
- Princípios
- 03 exemplos
- 03 técnicas





- A Programação por Restrições (PR) é conhecida por *Constraint Programming* ou simplesmente **CP**



- A Programação por Restrições (PR) é conhecida por *Constraint Programming* ou simplesmente **CP**
- Uma poderosa teoria (e técnica) que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais



- A Programação por Restrições (PR) é conhecida por *Constraint Programming* ou simplesmente **CP**
- Uma poderosa teoria (e técnica) que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais
- A PR encontrava-se inicialmente dentro da IA e PO, mas como várias outras, tornaram-se fortes e autônomas. Atualmente uma área de pesquisa bem forte em alguns países.



- A Programação por Restrições (PR) é conhecida por *Constraint Programming* ou simplesmente **CP**
- Uma poderosa teoria (e técnica) que contorna a complexidade de certos problemas exponenciais
- A PR encontrava-se inicialmente dentro da IA e PO, mas como várias outras, tornaram-se fortes e autônomas. Atualmente uma área de pesquisa bem forte em alguns países.
- Nesta seção, temos 3 exemplos ilustrar conceitos da PR



- Aproximadamente o algoritmo da PR é dado:



- Aproximadamente o algoritmo da PR é dado:
  - ① Avaliar algebricamente os domínios das variáveis com suas restrições
  - ② Intercala iterativamente a propagação de restrições com um algoritmo de busca
  - ③ A cada variável instanciada, o processo é repetido sobre as demais variáveis, reduzindo progressivamente o espaço de busca
  - ④ Volte ao passo inicial até que os domínios permaneçam estáticos e que as variáveis apresentem instâncias consistentes



- Aproximadamente o algoritmo da PR é dado:
  - ① Avaliar algebricamente os domínios das variáveis com suas restrições
  - ② Intercala iterativamente a propagação de restrições com um algoritmo de busca
  - ③ A cada variável instanciada, o processo é repetido sobre as demais variáveis, reduzindo progressivamente o espaço de busca
  - ④ Volte ao passo inicial até que os domínios permaneçam estáticos e que as variáveis apresentem instâncias consistentes
- Este núcleo é uma busca por constantes otimizações



- Aproximadamente o algoritmo da PR é dado:
  - ① Avaliar algebricamente os domínios das variáveis com suas restrições
  - ② Intercala iterativamente a propagação de restrições com um algoritmo de busca
  - ③ A cada variável instanciada, o processo é repetido sobre as demais variáveis, reduzindo progressivamente o espaço de busca
  - ④ Volte ao passo inicial até que os domínios permaneçam estáticos e que as variáveis apresentem instâncias consistentes
- Este núcleo é uma busca por constantes otimizações
- Uma das virtudes da PR: a legibilidade e clareza de suas soluções





- Problemas combinatoriais com domínio nos inteiros são bons candidatos a serem resolvidos por PR



- Problemas combinatoriais com domínio nos inteiros são bons candidatos a serem resolvidos por PR
- Quando temos problemas que precisamos conhecer **todas** as respostas, não apenas a melhor resposta



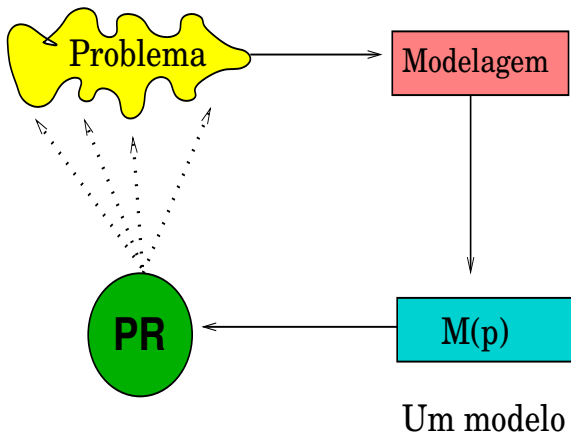
- Problemas combinatoriais com domínio nos inteiros são bons candidatos a serem resolvidos por PR
- Quando temos problemas que precisamos conhecer **todas** as respostas, não apenas a melhor resposta
- Quando necessitamos de respostas *precisas* e não apenas as aproximadas. Há um custo computacional a ser pago aqui!

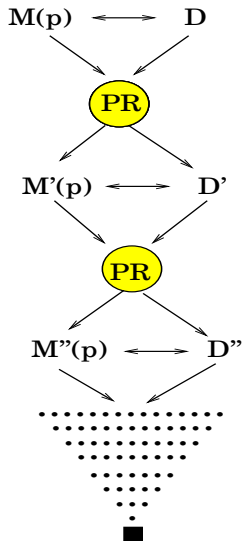


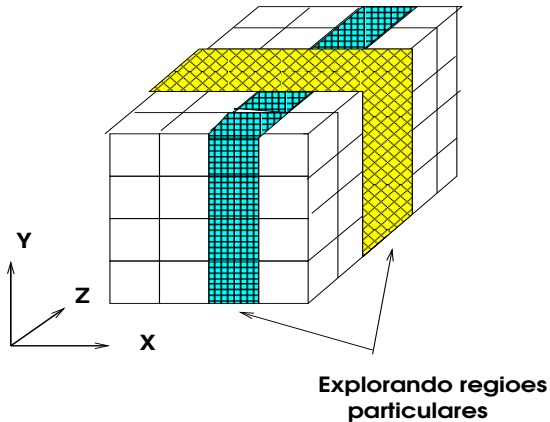
- Problemas combinatoriais com domínio nos inteiros são bons candidatos a serem resolvidos por PR
- Quando temos problemas que precisamos conhecer **todas** as respostas, não apenas a melhor resposta
- Quando necessitamos de respostas *precisas* e não apenas as aproximadas. Há um custo computacional a ser pago aqui!
- 



# Metodologia da Construção de Modelos







**Figura 16:** Realizar buscas com regiões reduzidas – promissoras (regiões factíveis de soluções)



# Redução Iterativa em Sub-problemas

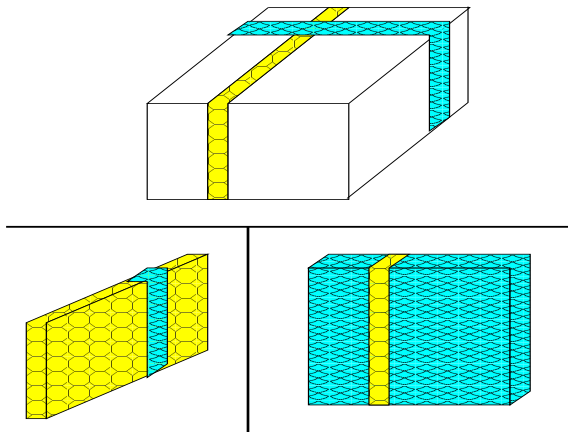


Figura 17: Redução de um CP em outros sub-problemas CPs equivalentes





A PR tem os seguintes elementos:



A PR tem os seguintes elementos:

- Um conjunto de **variáveis**:  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$



A PR tem os seguintes elementos:

- Um conjunto de **variáveis**:  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$
- Um conjunto de **domínios** dessas variáveis:  $D_{X_1}, D_{X_2}, D_{X_3}, \dots, D_{X_n}$



A PR tem os seguintes elementos:

- Um conjunto de **variáveis**:  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$
- Um conjunto de **domínios** dessas variáveis:  $D_{X_1}, D_{X_2}, D_{X_3}, \dots, D_{X_n}$
- Finalmente, as **restrições**, que são relações n-árias entre estas variáveis



A PR tem os seguintes elementos:

- Um conjunto de **variáveis**:  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$
- Um conjunto de **domínios** dessas variáveis:  $D_{X_1}, D_{X_2}, D_{X_3}, \dots, D_{X_n}$
- Finalmente, as **restrições**, que são relações n-árias entre estas variáveis
- Exemplo:  $D_{X_1} = D_{X_2} = \{3, 4\}$  e  $X_1 \neq X_2$



- Para o exemplo anterior um código em Picat é dado por:



- Para o exemplo anterior um código em Picat é dado por:
  - `[X1, X2] :: 3..4`
  - `X1 #!= X2`



- Para o exemplo anterior um código em Picat é dado por:
  - `[X1, X2] :: 3..4`
  - `X1 #!= X2`
- Em resumo, as relações da PR tem o símbolo '#'





- Para o exemplo anterior um código em Picat é dado por:
  - `[X1, X2] :: 3..4`
  - `X1 #!= X2`
- Em resumo, as relações da PR tem o símbolo '#'
- Para tornar toda esta sintaxe da PR disponível, Picat tem um módulo para suporte da PR: `import cp`



# Exemplo – 01 – Soma de Números Primos

- Dado um número par qualquer, encontre dois de números primos,  $N_1$  e  $N_2$ , diferentes entre si, que somados dêem este número par.



# Exemplo – 01 – Soma de Números Primos

- Dado um número par qualquer, encontre dois de números primos,  $N_1$  e  $N_2$ , diferentes entre si, que somados dêem este número par.

- Exemplo:

Seja o PAR = 18

Uma solução:

$$N_1 = 7 \text{ e } N_2 = 11$$

pois

$$N_1 + N_2 = 18$$



- $N_1$  e  $N_2$  assumem valores no domínio dos números primos. Logo, é importante ter os números primos prontos!



- $N_1$  e  $N_2$  assumem valores no domínio dos números primos. Logo, é importante ter os números primos prontos!
- A soma destes números é o par fornecido como entrada,  $N_{PAR}$ :  
$$N_1 + N_2 = N_{PAR}$$



- $N_1$  e  $N_2$  assumem valores no domínio dos números primos. Logo, é importante ter os números primos prontos!
- A soma destes números é o par fornecido como entrada,  $N_{PAR}$ :  
$$N_1 + N_2 = N_{PAR}$$
- $N_1$  e  $N_2$  são diferentes entre si  
$$N_1 \neq N_2$$



- $N_1$  e  $N_2$  assumem valores no domínio dos números primos.  
Logo, é importante ter os números primos prontos!
- A soma destes números é o par fornecido como entrada,  $N_{PAR}$ :  
$$N_1 + N_2 = N_{PAR}$$
- $N_1$  e  $N_2$  são diferentes entre si  
$$N_1 \neq N_2$$
- Como são inteiros:  $N_1 < N_{PAR}$  e  $N_2 < N_{PAR}$   
Sim, é óbvio, mas isto faz uma redução significativa de domínio!



- Acompanhar as explicações do código de:  
`https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/soma\_N1\_N2\_primos\_CP.pi`
- Confira a execução e testes





```
modelo =>  
  PAR = 382,  
  Variaveis = [N1,N2],  
  % Gerando um domino soh de primos  
  % L_dom = [I : I in 1..1000, eh_primo(I) == true],    %0U  
  L_dom = [I : I in 1..1000, prime(I)],  
  Variaveis :: L_dom,
```

Uma ótima estratégia: sair com um domínio de números candidatos!



```
% RESTRICOES
N1 #!= N2,
N1 #< PAR,
N2 #< PAR,
N1 + N2 #= PAR,

% A BUSCA
solve([ff], Variaveis),
    % UMA SAIDA
printf("\n  N1: %d\t N2: %d", N1,N2),
printf("\n.....")
.
```



```
import cp.  
  
% main => modelo .  
% main ?=> modelo, fail.  
% main => true.  
  
main =>  
    L = findall(_, $modelo),  
    writef("\n Total de solucoes:  %d \n", length(L)) .
```



```
Picat> cl('soma_N1_N2_primos_CP').  
Compiling:: soma_N1_N2_primos_CP.pi  
** Warning   : redefine_preimported_symbol(math): prime / 1  
soma_N1_N2_primos_CP.pi compiled in 7 milliseconds  
loading...
```

yes

```
Picat> main.
```

```
    N1: 3   N2: 379
```

```
.....
```

```
    N1: 23  N2: 359
```

```
.....
```

```
    N1: 29  N2: 353
```

```
.....
```



```
.....  
N1: 353  N2: 29  
.....  
N1: 359  N2: 23  
.....  
N1: 379  N2: 3  
.....  
Total de solucoes:  18  
  
yes  
  
Picat>
```



- Seja um Posto Atendimento Médico, um PA, com 4 consultórios e 7 especialidades médicas



- Seja um Posto Atendimento Médico, um PA, com 4 consultórios e 7 especialidades médicas
- O problema é distribuir estes médicos nestes 4 consultórios tal que alguns requisitos sejam atendidos (restrições satisfeitas)



- Seja um Posto Atendimento Médico, um PA, com 4 consultórios e 7 especialidades médicas
- O problema é distribuir estes médicos nestes 4 consultórios tal que alguns requisitos sejam atendidos (restrições satisfeitas)
- A abordagem aqui é ingênua e sem muitos critérios





- Vamos usar uma matriz bi-dimensional para representar o problema. Linhas  $\leftrightarrow$  consultórios (1 a 4), e as colunas  $\leftrightarrow$  dias da semana (1 a 5)



- Vamos usar uma matriz bi-dimensional para representar o problema. Linhas  $\leftrightarrow$  consultórios (1 a 4), e as colunas  $\leftrightarrow$  dias da semana (1 a 5)
- Esta matriz será preenchida com valores/códigos de 1 a 7, de acordo com a especialidade médica.



- Vamos usar uma matriz bi-dimensional para representar o problema. Linhas  $\leftrightarrow$  consultórios (1 a 4), e as colunas  $\leftrightarrow$  dias da semana (1 a 5)
- Esta matriz será preenchida com valores/códigos de 1 a 7, de acordo com a especialidade médica.
- Assim o domínio da matriz Quadro ( $4 \times 5$ ) será preenchida com um destes códigos.



- Vamos usar uma matriz bi-dimensional para representar o problema. Linhas  $\leftrightarrow$  consultórios (1 a 4), e as colunas  $\leftrightarrow$  dias da semana (1 a 5)
- Esta matriz será preenchida com valores/códigos de 1 a 7, de acordo com a especialidade médica.
- Assim o domínio da matriz Quadro ( $4 \times 5$ ) será preenchida com um destes códigos.
- Vamos utilizar restrições globais: `member` e `all_different`



- Vamos usar uma matriz bi-dimensional para representar o problema. Linhas  $\leftrightarrow$  consultórios (1 a 4), e as colunas  $\leftrightarrow$  dias da semana (1 a 5)
- Esta matriz será preenchida com valores/códigos de 1 a 7, de acordo com a especialidade médica.
- Assim o domínio da matriz Quadro ( $4 \times 5$ ) será preenchida com um destes códigos.
- Vamos utilizar restrições globais: `member` e `all_different`
- As restrições globais se aplicam sobre um conjunto de variáveis.



- A fase de busca e propagação do comando `solve(Critérios, Variáveis)`, há dezenas de combinações possíveis: consultar o guia do usuário



- A fase de busca e propagação do comando `solve(Critérios, Variáveis)`, há dezenas de combinações possíveis: consultar o guia do usuário
- Tem-se os predicados extras ... são muitos, todos os da CP



- A fase de busca e propagação do comando `solve(Critérios, Variáveis)`, há dezenas de combinações possíveis: consultar o guia do usuário
- Tem-se os predicados extras ... são muitos, todos os da CP
- Finalmente, exemplos sofisticados– de PR com PICAT:  
<http://www.hakank.org/picat/> – ***My Picat page*** – por Hakan Kjellerstrand





- Acompanhar as explicações do código de:  
`https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/horario\_medico\_CP.pi`
- Confira a execução e testes



```
modelo =>
    Dias = 5, % segunda= 1, ...., sexta-feira = 5
    Consultorio = 4,
    L_dom = [ oftalmo, otorrino, pediatria,  gineco,
%           1         2         3         4
             cardio, dermato, clin_geral ],
%           5         6         7
    Quadro = new_array(Consultorio, Dias ), %% Lin x Col
    Quadro :: 1 .. L_dom.len , %% operador len . "eh colado"
    ...
```



```
% 0 medico 2 NUNCA trabalha no consultorio 1
foreach ( J in 1 .. Dias )
    Quadro[1,J] #!= 2
end,
```

```
% 0 medico 5 NUNCA trabalha no consultorio 4
foreach ( J in 1 .. Dias )
    Quadro[4,J] #!= 5
end,
```

...



```
%% O Clin Geral deve vir o maior numero de dias ...
%% Esta restricao eh matematicamente é HARD
foreach ( I in 1 .. Consultorio )
    member(7,[Quadro[I,J] : J in 1..Dias])
end,

%% Ninguém trabalha no mesmo consultorio em dias seguidos
foreach ( J in 1 .. Dias )
    all_different( [Quadro[I,J] : I in 1..Consultorio] )
end,

%% Ninguém trabalha no mesmo dia em mais de um consultorio
foreach ( I in 1 .. Consultorio )
    all_different( [Quadro[I,J] : J in 1..Dias] )
end,
```



```
% A BUSCA
solve([ff], Quadro),
    % UMA SAIDA

    printf("\n Uma escolha:"),
    print_matrix( Quadro ),
    print_matrix_NAMES( Quadro , L_dom ),
    printf(".....\n") .
```



```

print_matrix_NAMES( M, Lista ) =>
  L = M.length,
  C = M[1].length,
  nl,
  foreach(I in 1 .. L)
    foreach(J in 1 .. C)
      printf(":%w \t" , print_n_lista( M[I,J], Lista) )
      % printf("( %d,%d): %w " , I, J, M[I,J] ) -- FINE
    end,
    nl
  end.

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
print_n_lista( _, [] ) = [].
print_n_lista( 1, [A|_] ) = A.
print_n_lista( N, [_|B] ) = print_n_lista( (N-1), B ) .
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```



```
Picat> cl('horario_medico_CP.pi').  
Compiling:: horario_medico_CP.pi  
horario_medico_CP.pi compiled in 10 milliseconds  
loading...
```

yes

```
Picat> main
```

Uma escolha:

```
7 1 3 4 5  
4 7 2 3 1  
1 3 7 5 2  
3 2 1 7 4
```



```
:clin_geral :oftalmo :pediatria :gineco :cardio  
:gineco :clin_geral :otorrino :pediatria :oftalmo  
:oftalmo :pediatria :clin_geral :cardio :otorrino  
:pediatria :otorrino :oftalmo :clin_geral :gineco  
.....  
yes
```





```
$ time(picat horario_medico_CP.pi )
```

```
Uma escolha:
```

```
7 1 3 4 5
```

```
4 7 2 3 1
```

```
1 3 7 5 2
```

```
3 2 1 7 4
```

```
:clin_geral :oftalmo :pediatria :gineco :cardio
```

```
:gineco :clin_geral :otorrino :pediatria :oftalmo
```

```
:oftalmo :pediatria :clin_geral :cardio :otorrino
```

```
:pediatria :otorrino :oftalmo :clin_geral :gineco
```

```
.....
```

```
real 0m0,023s
```

```
user 0m0,007s
```

```
sys 0m0,013s
```

```
[ccs@gerzat picat]$
```



- Este é um exemplo clássico  $\Rightarrow$  um NP-Completo  $\Rightarrow$  boas soluções apenas com Colônia de Formigas (técnica da Computação Evolucionária)

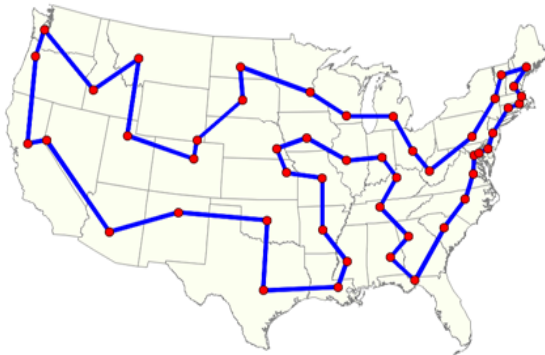


- Este é um exemplo clássico  $\Rightarrow$  um NP-Completo  $\Rightarrow$  boas soluções apenas com Colônia de Formigas (técnica da Computação Evolucionária)
- Neste exemplo o Problema do Caixeiro-Viajante (do inglês: TSP – *Travelling Salesman Problem*) é discutido com **dois modelos da PR** destacando dois pontos desta técnica:
  - Uso de outras restrições globais: `element` e `circuit`
  - Uso de variáveis de decisão binária. No exemplo: uma matriz binária.



- Este é um exemplo clássico  $\Rightarrow$  um NP-Completo  $\Rightarrow$  boas soluções apenas com Colônia de Formigas (técnica da Computação Evolucionária)
- Neste exemplo o Problema do Caixeiro-Viajante (do inglês: TSP – *Travelling Salesman Problem*) é discutido com **dois modelos da PR** destacando dois pontos desta técnica:
  - Uso de outras restrições globais: `element` e `circuit`
  - Uso de variáveis de decisão binária. No exemplo: uma matriz binária.
- Tecnicamente um problema com muitas aplicações similares!





**Figura 18:** Passar por algumas cidades uma única vez e retornar a cidade de origem



- Usaremos a modelagem matemática de uma matriz binária de decisão



- Usaremos a modelagem matemática de uma matriz binária de decisão
- Esta abordagem é bem conhecida, porém, é eficiente para alguns tipos de problemas semelhantes



- Usaremos a modelagem matemática de uma matriz binária de decisão
- Esta abordagem é bem conhecida, porém, é eficiente para alguns tipos de problemas semelhantes
- Idéia da matriz binária de decisão:  $N$  cidades, logo, há possíveis conexões entre elas.





- Usaremos a modelagem matemática de uma matriz binária de decisão
- Esta abordagem é bem conhecida, porém, é eficiente para alguns tipos de problemas semelhantes
- Idéia da matriz binária de decisão:  $N$  cidades, logo, há possíveis conexões entre elas.
- Comentários desta modelagem ao longo do código e detalhes do formalismo matemático em qualquer livro da área de combinatória, PO, e modelagem matemática



- Usaremos a modelagem matemática de uma matriz binária de decisão
- Esta abordagem é bem conhecida, porém, é eficiente para alguns tipos de problemas semelhantes
- Idéia da matriz binária de decisão:  $N$  cidades, logo, há possíveis conexões entre elas.
- Comentários desta modelagem ao longo do código e detalhes do formalismo matemático em qualquer livro da área de combinatória, PO, e modelagem matemática
- Contudo, duas novas restrições globais são usadas e precisam ser entendidas: `element` e `circuit`



```
element_ex(Vars) =>  
    X :: 1..4, %% NUM de indices da lista  
    element(X , [22, 33, 44, 55], Index),  
    Vars = [X , Index],  
    solve(Vars).
```



```
exe04 =>
  Todas_Sol = findall(Uma_Sol , $element_ex(Uma_Sol)),
  foreach( X in Todas_Sol )
    printf("\n Sol %w", X)
  end,
  printf("\n Total de SOL: %d", Todas_Sol.len).
```



```
exe04 =>
  Todas_Sol = findall(Uma_Sol , $element_ex(Uma_Sol)),
  foreach( X in Todas_Sol )
    printf("\n Sol %w", X)
  end,
  printf("\n Total de SOL: %d", Todas_Sol.len).
```

Saída:

```
Sol [1,22]
Sol [2,33]
Sol [3,44]
Sol [4,55]
Total de SOL: 4
```



```
circ_ex(L) =>  
    L = [X1,X2,X3,X4],  
    L :: 1..4, %% NUM de indices da lista  
    circuit(L),  
    solve(L).
```



```
exe02 =>  
  Todas_Sol = findall( Uma_Sol , $circ_ex(Uma_Sol)),  
  foreach( X in Todas_Sol )  
    printf("\n Sol %w", X)  
  end,  
  printf("\n Total de SOL: %d", Todas_Sol.len).
```



```
exe02 =>
  Todas_Sol = findall( Uma_Sol , $circ_ex(Uma_Sol)),
  foreach( X in Todas_Sol )
    printf("\n Sol %w", X)
  end,
  printf("\n Total de SOL: %d", Todas_Sol.len).
```

Saída:

```
Sol [2,3,4,1]
Sol [2,4,1,3]
Sol [3,1,4,2]
Sol [3,4,2,1]
Sol [4,1,2,3]
Sol [4,3,1,2]
Total de SOL: 6
```





- Acompanhar as explicações do 1º modelo:  
[https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/tsp\\_ESTUDO\\_hakan.pi](https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/tsp_ESTUDO_hakan.pi)
- Acompanhar as explicações do 2º modelo:  
[https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/tsp\\_CP.pi](https://github.com/claudiosa/CCS/blob/master/picat/tsp_CP.pi)
- Confira a execução e testes



# 1º. Modelo para o TSP – Nilsson e Hakan

```
% Original formulation from Nilsson cited above.
% Codificado por HAKAN e CCS
tsp_test(nilsson, Cidades, Custo) =>
    Cidades    = [X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7],
    %% a matriz adjacencia - do mapa - 7 cidades
    element(X1,[ 0, 4, 8,10, 7,14,15],C1),
    element(X2,[ 4, 0, 7, 7,10,12, 5],C2),
    element(X3,[ 8, 7, 0, 4, 6, 8,10],C3),
    element(X4,[10, 7, 4, 0, 2, 5, 8],C4),
    element(X5,[ 7,10, 6, 2, 0, 6, 7],C5),
    element(X6,[14,12, 8, 5, 6, 0, 5],C6),
    element(X7,[15, 5,10, 8, 7, 5, 0],C7),
    Custo #= C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7 ,
    circuit( Cidades ) ,
    solve([$min(Custo)], Cidades).
```



```
$ picat tsp_ESTUDO_hakan.pi
Cidades: [2,7,1,3,4,5,6] Custo: 34
  A viagem:
Da cidade 1 --> 2 custa: 4   Acumulado: 4
Da cidade 2 --> 7 custa: 5   Acumulado: 9
Da cidade 7 --> 6 custa: 5   Acumulado: 14
Da cidade 6 --> 5 custa: 6   Acumulado: 20
Da cidade 5 --> 4 custa: 2   Acumulado: 22
Da cidade 4 --> 3 custa: 4   Acumulado: 26
Da cidade 3 --> 1 custa: 8   Acumulado: 34
```



```
$ picat tsp_ESTUDO_hakan.pi
Cidades: [2,7,1,3,4,5,6] Custo: 34
  A viagem:
Da cidade 1 --> 2 custa: 4  Acumulado: 4
Da cidade 2 --> 7 custa: 5  Acumulado: 9
Da cidade 7 --> 6 custa: 5  Acumulado: 14
Da cidade 6 --> 5 custa: 6  Acumulado: 20
Da cidade 5 --> 4 custa: 2  Acumulado: 22
Da cidade 4 --> 3 custa: 4  Acumulado: 26
Da cidade 3 --> 1 custa: 8  Acumulado: 34
```

- A importância deste modelo: facilmente se entende o TSP



```
$ picat tsp_ESTUDO_hakan.pi
Cidades: [2,7,1,3,4,5,6] Custo: 34
A viagem:
Da cidade 1 --> 2 custa: 4   Acumulado: 4
Da cidade 2 --> 7 custa: 5   Acumulado: 9
Da cidade 7 --> 6 custa: 5   Acumulado: 14
Da cidade 6 --> 5 custa: 6   Acumulado: 20
Da cidade 5 --> 4 custa: 2   Acumulado: 22
Da cidade 4 --> 3 custa: 4   Acumulado: 26
Da cidade 3 --> 1 custa: 8   Acumulado: 34
```

- A importância deste modelo: facilmente se entende o TSP
- Hakan fez uma versão genérica para este modelo, de bom desempenho!



```
$ picat tsp_ESTUDO_hakan.pi
Cidades: [2,7,1,3,4,5,6] Custo: 34
A viagem:
Da cidade 1 --> 2 custa: 4   Acumulado: 4
Da cidade 2 --> 7 custa: 5   Acumulado: 9
Da cidade 7 --> 6 custa: 5   Acumulado: 14
Da cidade 6 --> 5 custa: 6   Acumulado: 20
Da cidade 5 --> 4 custa: 2   Acumulado: 22
Da cidade 4 --> 3 custa: 4   Acumulado: 26
Da cidade 3 --> 1 custa: 8   Acumulado: 34
```

- A importância deste modelo: facilmente se entende o TSP
- Hakan fez uma versão genérica para este modelo, de bom desempenho!
- O 2º modelo tem importância como técnica para PR!



## 2º Modelo para o TSP – Usando Matriz de Decisão

```
import cp,util.  
matriz_adj(Matrix) =>  
    Matrix =  
        [[ 0, 4, 8,10, 7,14,15],  
         [ 4, 0, 7, 7,10,12, 5],  
         [ 8, 7, 0, 4, 6, 8,10],  
         [10, 7, 4, 0, 2, 5, 8],  
         [ 7,10, 6, 2, 0, 6, 7],  
         [14,12, 8, 5, 6, 0, 5],  
         [15, 5,10, 8, 7, 5, 0]].
```

- Os dados são os mesmos do exemplo anterior
- Poderia ser feita leitura via arquivos: ver exemplos de entrada e saída no github
- Comentários no código e áudio



```
tsp_D(Matriz, Cidades, M_Decisao, Custo) =>  
  Len = Matriz.length, %% N x N cidades  
  Cidades = new_list(Len), %%% 1a. dimensao  
  Cidades :: 1..Len,  
  % grafo de DECISAO que representa o resultado dos nos escolhidos  
  M_Decisao = new_array (Len, Len),  
  M_Decisao :: 0..1 ,
```





```
tsp_D(Matriz, Cidades, M_Decisao, Custo) =>  
  Len = Matriz.length, %% N x N cidades  
  Cidades = new_list(Len), %%% 1a. dimensao  
  Cidades :: 1..Len,  
  % grafo de DECISAO que representa o resultado dos nos escolhidos  
  M_Decisao = new_array (Len, Len),  
  M_Decisao :: 0..1 ,  
  
% calculate upper and lower bounds of the Costs list -- HAKAN  
% repensar MELHORAR .....  
SOMA_Dists = sum([Matriz[I,J] : I in 1..Len,  
                  J in 1..Len, Matriz[I,J] > 0]),  
MinDist = 0,  
MaxDist = SOMA_Dists,  
Custo :: 0..MaxDist,
```



```
% Se NAO HOUVER CONEXAO ou ARCO = 0 entao não há conexão  
foreach(I in 1..Len , J in 1..Len)  
    (Matriz[I,J] != 0) ==> (M_Decisao[I,J] != 0)  
end,
```



```
% Se NAO HOUVER CONEXAO ou ARCO = 0 entao não há conexão
foreach(I in 1..Len , J in 1..Len)
    (Matriz[I,J] != 0) ==> (M_Decisao[I,J] != 0)
end,

% Para todas linhas, a soma das colunas é igual a 1
% UMA: uma saída como caminho a ser traçado e somente UMA
foreach(I in 1..Len)
    sum([M_Decisao[I,J] : J in 1..Len, I != J]) != 1
end,

% Para todas colunas, a soma das linhas é igual a 1
% UMA: uma chegada ao nó de destino e somente UMA chegada
foreach(J in 1..Len)
    sum([M_Decisao[I,J] : I in 1..Len, I != J]) != 1
end,
```



```
%% Relacionar as escolhas da M_Decisao com a
%% ... sequencia das Cidades.
foreach(I in 1..Len , J in 1..Len)
    ( M_Decisao[I,J] #= 1 ) #<=> ( Cidades[I] #= J )
end,

%% garante o circuito entre os nós selecionados
circuit(Cidades),
```



```
%% Relacionar as escolhas da M_Decisao com a
%% ... sequencia das Cidades.
foreach(I in 1..Len , J in 1..Len)
    ( M_Decisao[I,J] #= 1 ) #<=> ( Cidades[I] #= J )
end,

%% garante o circuito entre os nós seleccionados
circuit(Cidades),

%% Função custo a ser minimizada
Custo #= sum([M_Decisao[I,J] * Matriz[I,J] :
             I in 1..Len , J in 1..Len]),

%% Vars para BUSCA
Vars = [Cidades, M_Decisao], %% OU Cidades ++ M_Decisao
solve([$min(Custo)], Vars ).
```



```
$ picat tsp_CP.pi
M_Decisao: {{0,1,0,0,0,0,0},{0,0,0,0,0,0,1},{1,0,0,0,0,0,0},{0,0,1,0,0,0,0},
DESTINOS:
```

```
      1 2 3 4 5 6 7
1 -> 0 1 0 0 0 0 0
2 -> 0 0 0 0 0 0 1
3 -> 1 0 0 0 0 0 0
4 -> 0 0 1 0 0 0 0
5 -> 0 0 0 1 0 0 0
6 -> 0 0 0 0 1 0 0
7 -> 0 0 0 0 0 1 0
```

```
Sequência das Cidades: [2,7,1,3,4,5,6]
```

```
Custo: 34
```

```
A viagem:
```

```
Da cidade 1 --> 2 custa: 4   Acumulado: 4
```

```
.....
```

```
Da cidade 3 --> 1 custa: 8   Acumulado: 34
```



As funções/regras de saída não foram apresentadas!

- Há outros métodos para se resolver estes problemas.  
Exemplo: Programação Linear, Buscas Heurísticas, etc



- Há outros métodos para se resolver estes problemas.  
Exemplo: Programação Linear, Buscas Heurísticas, etc
- As restrições globais se aplicam sobre um conjunto de variáveis e há muitas outras importantes disponíveis no Picat





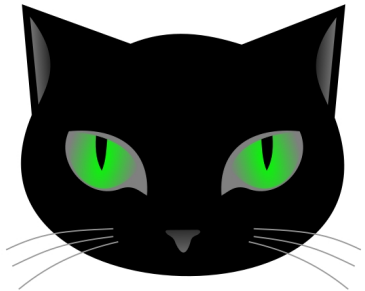
- Há outros métodos para se resolver estes problemas.  
Exemplo: Programação Linear, Buscas Heurísticas, etc
- As restrições globais se aplicam sobre um conjunto de variáveis e há muitas outras importantes disponíveis no Picat
- A área é extensa, contudo, Picat adere há todos requisitos da PR



- Há outros métodos para se resolver estes problemas.  
Exemplo: Programação Linear, Buscas Heurísticas, etc
- As restrições globais se aplicam sobre um conjunto de variáveis e há muitas outras importantes disponíveis no Picat
- A área é extensa, contudo, Picat adere há todos requisitos da PR
- Resumo da PR: segue por uma notação/manipulação algébrica restrita, simplificar e bissecionar as restrições, instanciar variáveis, verificar inconsistências, avançar sobre as demais variáveis, até que todas estejam instanciadas.



- O que foi visto
- O que tem a ser feito
- Oportunidades



- Picat é jovem (nascida em 2013);



- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!



- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;



- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;
- Código aberto, multi-plataforma, e repleta de possibilidades;



- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;
- Código aberto, multi-plataforma, e repleta de possibilidades;
- Uso para fins diversos;





- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;
- Código aberto, multi-plataforma, e repleta de possibilidades;
- Uso para fins diversos;
- Muitas bibliotecas específicas prontas: CP, SAT, Planner, etc;



- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;
- Código aberto, multi-plataforma, e repleta de possibilidades;
- Uso para fins diversos;
- Muitas bibliotecas específicas prontas: CP, SAT, Planner, etc;
- A sintaxe de PR exige um pouco mais do programador



- Picat é jovem (nascida em 2013);
- Uma evolução ao Prolog após seus mais de 40 anos de existência e sucesso!
- Sua sintaxe é moderna e intuitiva;
- Código aberto, multi-plataforma, e repleta de possibilidades;
- Uso para fins diversos;
- Muitas bibliotecas específicas prontas: CP, SAT, Planner, etc;
- A sintaxe de PR exige um pouco mais do programador
- Dúvidas: o guia do usuário, livro do Hakan e o Fórum de discussão do Picat



- Uso do debug e trace (cansativo – uma oportunidade)



- Uso do debug e trace (cansativo – uma oportunidade)
- Explorar uso dos solvers de PO (fácil)



- Uso do debug e trace (cansativo – uma oportunidade)
- Explorar uso dos solvers de PO (fácil)
- Explorar a criação e uso de módulos (mais fácil ainda)



- Uso do debug e trace (cansativo – uma oportunidade)
- Explorar uso dos solvers de PO (fácil)
- Explorar a criação e uso de módulos (mais fácil ainda)
- Inscreva-se no fórum e consulte o Guia do Usuário (tudo em inglês)



- Muito obrigado a voce!





- Muito obrigado a voce!
- Algumas pessoas que deram opiniões e me incentivaram a fazer este material



- Muito obrigado a voce!
- Algumas pessoas que deram opiniões e me incentivaram a fazer este material
- Claudio Cesar de Sá
- Contacto: `claudio.sa@udesc.br` e `claudio@colmeia.udesc.br`

