

**FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA REGIONAL DE BLUMENAU**  
**CURSO DE CIÊNCIAS DA**  
**COMPUTAÇÃO**

**TCC - Trabalho de Conclusão Curso**

**Protótipo de um sistema de extração de  
regras de redes neurais artificiais utilizadas  
na tarefa de classificação em *data mining***

**(Alexandre Daniel Dalabrida)**

**Orientador: Prof. Mauro Marcelo Mattos**

**Blumenau, 14 de dezembro de 2007**

# Roteiro

1. Introdução
2. Fundamentação teórica
3. Desenvolvimento
4. Implementação
5. Resultados
6. Conclusões

# Introdução

- Descoberta de conhecimento em bases de dados
- Necessidade de técnicas para transformar informação em conhecimento
- Data mining e a tarefa de classificação utilizando redes neurais artificiais
- O problema da falta de capacidade de explicação das redes neurais artificiais
- Técnicas de extração de regras de redes neurais artificiais para a provisão da capacidade de explicação

# Objetivos

- **Demonstrar a aplicabilidade do emprego dos algoritmos de extração de regras de redes neurais artificiais, com ênfase na tarefa de classificação de dados em *data mining***
- **Objetivos específicos:**
  - Identificar um domínio de problema de classificação de dados
  - Construir e treinar uma rede neural para efetuar a tarefa de classificação sobre o problema
  - Aplicar um algoritmo de extração de regras da abordagem decomposicional e outro da abordagem pedagógica sobre a rede neural treinada
  - Avaliar a acurácia e complexidade das regras extraídas

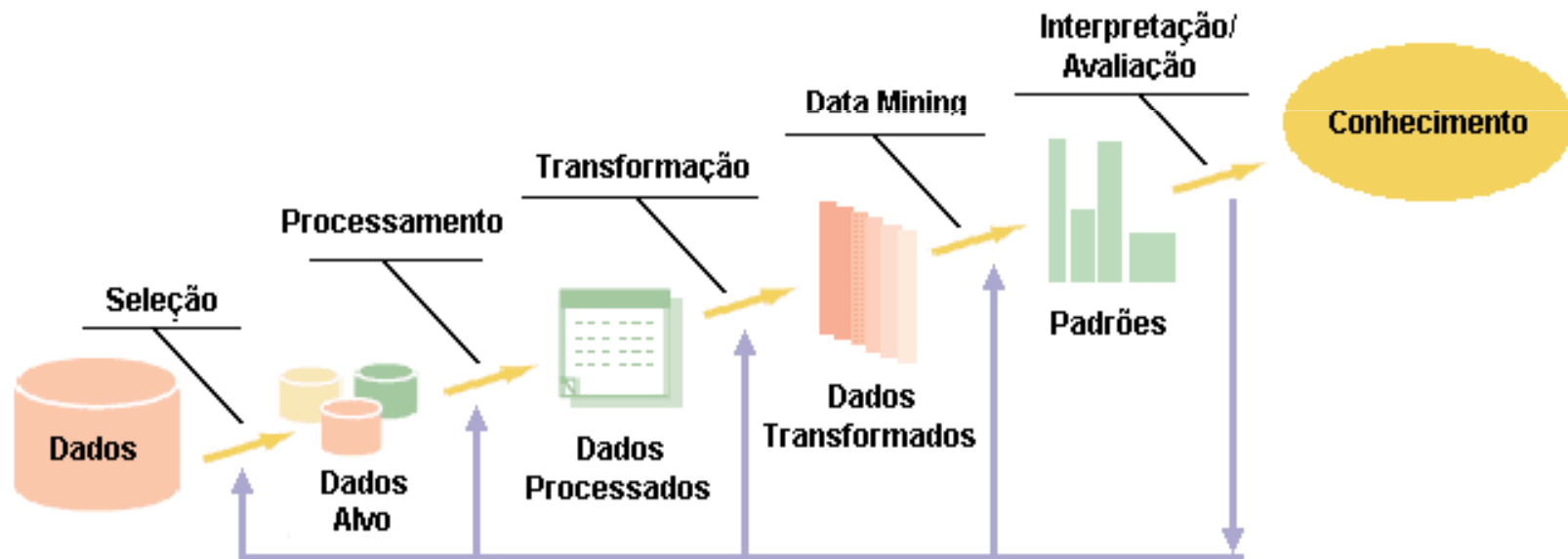
# Fundamentação teórica

## 2.1 *Data Mining*

- *Data mining* é uma etapa do processo de KDD que consiste em um algoritmo particular de mineração de dados, que sob algumas limitações computacionais, gera uma lista dos padrões encontrados nos dados (FAYYAD et al. 1996, p. 9)
- KDD é um processo não trivial para identificar válidos, desconhecidos, potencialmente úteis e necessariamente desconhecidos padrões em dados (FRAWLEY; MATHEUS; PIATETSKY-SHAPIRO, 1991, p. 58)

## 2.1 *Data Mining*

### Etapas do Processos do KDD





## 2.1 *Data Mining*

### Modelos em *data mining*

- *Data mining* constrói modelos para uma função específica e usa algum algoritmo que possa representar essa função.
  - Exemplo de função: classificação, agrupamento
  - Exemplo de algoritmo: redes neurais, árvores de decisão
- O mais alto nível das funções ou tarefas de *data mining* foi proposto por Fayyad (1996, p. 12):
  - Predição: predizer valores desconhecidos com base em valores existentes
  - Descrição: procurar padrões que descrevem os dados

## 2.1 *Data Mining*

### Principais tarefas de *data mining*

- Classificação
- Regressão
- Agrupamento (*clustering*)
- Descoberta de regras de associação
- Sumarização
- Modelagem de dependências
- Análise de seqüências

## 2.1 *Data Mining*

### A tarefa de classificação e técnicas utilizadas

- A classificação de dados em *data mining* consiste na aplicação de um conjunto de dados pré-classificados para desenvolver um modelo capaz de classificar uma população muito maior de dados (KREMER, 1999, p. 21)
- Algumas técnicas utilizadas:
  - Árvores de decisão
  - Regressão linear
  - Raciocínio baseado em casos
  - Métodos probabilísticos
  - Redes neurais artificiais

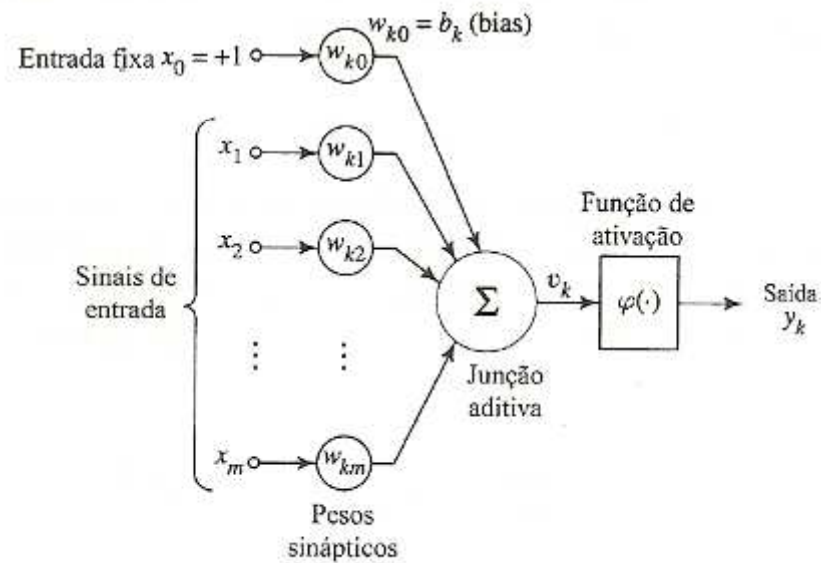
## 2.2 Redes Neurais Artificiais

### Definição

- Sistemas inspirados em neurônios biológicos e na estrutura massivamente paralela do cérebro, com a capacidade de adquirir, armazenar e utilizar conhecimento experimental (ABÉLEM; PACHECO; VELLASCO, 1995, p. 109)

## 2.2 Redes Neurais Artificiais

### Estrutura básica – O neurônio



## 2.2 Redes Neurais Artificiais

### Estrutura geral (configurações possíveis)

- Número de camadas de neurônios
- Número de neurônios por camadas
- Tipos de conexões
- Grau de conectividade

### Estrutura em camadas

- Alimentadas adiante com uma única camada
- Alimentadas adiante com múltiplas camadas (MLP)
- Redes recorrentes

## 2.2 Redes Neurais Artificiais

### Processo de aprendizado

- O conhecimento de uma rede é adquirido pelo processo de ajustes de pesos das conexões sinápticas, de forma interativa, através de um algoritmo de aprendizado
- O processo de aprendizado pode ser dividido em supervisionado e não supervisionado
- O processo mais geralmente aplicado é o algoritmo supervisionado denominado *backpropagation*

## 2.2 Redes Neurais Artificiais

### Algoritmo de aprendizado backpropagation

Entradas: exemplos de treinamento, taxa de aprendizado; rede alimentada adiante

Método:

- 1 inicializar os pesos da rede
- 2 enquanto o critério de parada não está satisfeito
- 3   para cada exemplo de treinamento  $X$  em exemplos
- 4     // propagar o sinal de entrada para frente
- 5     para cada neurônio oculto ou neurônio de saída  $k$
- 6        computar a entrada do neurônio  $k$
- 7     para cada neurônio oculto ou neurônio de saída  $k$
- 8        computar a saída do neurônio  $k$
- 9     // retropropagar o sinal de erro
- 10    para cada neurônio  $k$  na camada de saída
- 11     computar o erro para o neurônio  $k$
- 12    para cada neurônio  $k$  nas camadas ocultas
- 13     computar o erro para o neurônio  $k$
- 14    para cada peso na rede
- 15     incremento do peso
- 16     atualização do peso

Saída: rede treinada para classificar novos exemplos.



## 2.3 Redes Neurais Artificiais: a Compreensibilidade

- Redes neurais são consideradas ótimas técnicas no aprendizado de máquina
- A maior restrição é a que a rede se comporta como uma “caixa preta”, o que torna difícil determinar como a rede chega a uma decisão
- Tal restrição torna difícil aceitar as decisões tomadas pela rede
- A necessidade então é que além do desempenho propiciado pela rede, seja possível compreender como a rede chega a determinadas decisões

## 2.4 Extração de regras de Redes Neurais Artificiais

### Definição

- Uma definição básica é a de que, dada uma rede neural artificial treinada e os exemplos usados para seu treinamento, produza-se uma descrição simbólica da hipótese gerada pela rede e que seja próxima do comportamento da mesma (CRAVEN, 1996, p. 9)

## 2.4 Extração de regras de Redes Neurais Artificiais

### Vantagens

- Provisão da capacidade de explicação
- Utilização em domínios de missão crítica onde a capacidade de explicação é determinante
- Permite depuração e análise do comportamento da rede em interação com outros sistemas que necessitam depuração para verificação
- Própria melhoria da rede neural
- Exploração dos dados com reconhecimento de padrões desconhecidos
- Aquisição de conhecimento para sistemas de IA simbólico

## 2.4 Extração de regras de Redes Neurais Artificiais

### Classificação das técnicas

- As técnicas podem ser classificadas quanto a:
  - Formato das regras
  - Transparência da técnica (pedagógica ou decomposicional)
  - Portabilidade
  - Qualidade das regras
  - Complexidade do algoritmo

## 2.4 Extração de regras de Redes Neurais Artificiais

### Algoritmo RX

- Decomposicional
- Regras proposicionais
- Utilizável em redes neurais MLP com treinamento supervisionado
- Boa qualidade das regras
- Complexidade mediana

## 2.4 Extração de regras de Redes Neurais Artificiais

### Algoritmo RX - Passos

- Agrupar os valores de ativação dos neurônios das camadas ocultas
- Encontrar as classes para cada valor de ativação agrupado
- Gerar regras tendo como antecedentes os valores de ativação agrupados e como conseqüente as classes
- Encontrar os valores de entrada que levam aos valores de ativação agrupados
- Gerar regras com os valores de entrada cujo conseqüente é o valor de ativação agrupado
- Combinar as regras do terceiro e segundo passo gerando as regras finais

**Desenvolvimento**

## 3.1 Visão geral do protótipo

- Em forma de ambiente (*framework*)
  - Permite extensão de componentes base pré-definidos
  - Manipulação dos componentes estendidos em forma de experimento
- Componentes (operadores) base
  - Componentes base de carga de dados
  - Componentes base de redes neurais e extração de regras
- Componentes (operadores) estendidos
  - Componente de carga de dados de bancos de dados
  - Componente de rede neural artificial MLP e extração e regras com o algoritmo RX



## 3.2 Requisitos funcionais

- RF01: Disponibilizar classes básicas de operadores de carga de dados e de redes neurais e extração de regras
- RF02: Permitir configurar e manipular um operador de redes neurais e extração de regras com o algoritmo RX
- RF03: Permitir configurar e manipular um operador de carga de dados em bancos de dados
- RF04: Permitir registrar os operadores que sofreram extensão a partir das classes base
- RF05: Criar, persistir, recuperar e manipular um experimento adicionando ou removendo operadores registrados
- RF06: Permitir configurar os operadores registrados e utilizados em um experimento
- RF07: Executar um experimento e seus operadores

## 3.2 Requisitos não funcionais

- RNF01: Implementação do ambiente e operadores base em Delphi 7
- RNF02: Implementação dos operadores a sofrerem extensão em Delphi 7 como bibliotecas de ligação dinâmica (DLL)
- RNF03: Utilização do padrão XML para a persistência do experimento e registro dos operadores
- RNF04: Utilização do banco MSSqlServer Express para armazenamento e recuperados dos dados em XML de registro dos operadores e dos experimentos

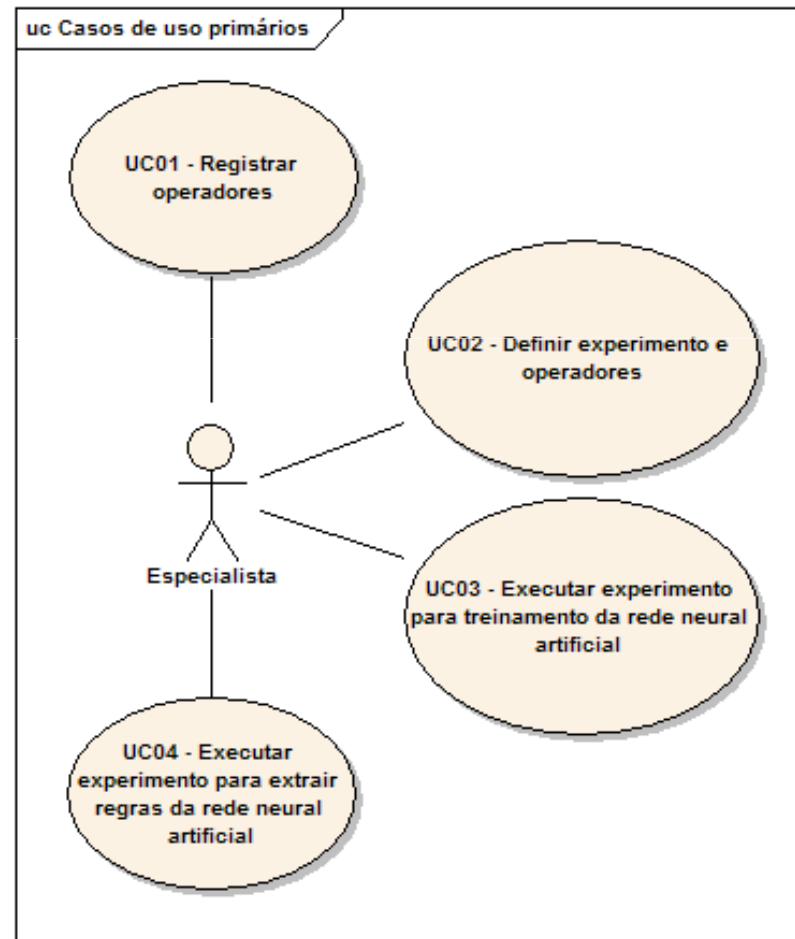
## 3.3 Especificação

### Técnicas e ferramentas utilizadas

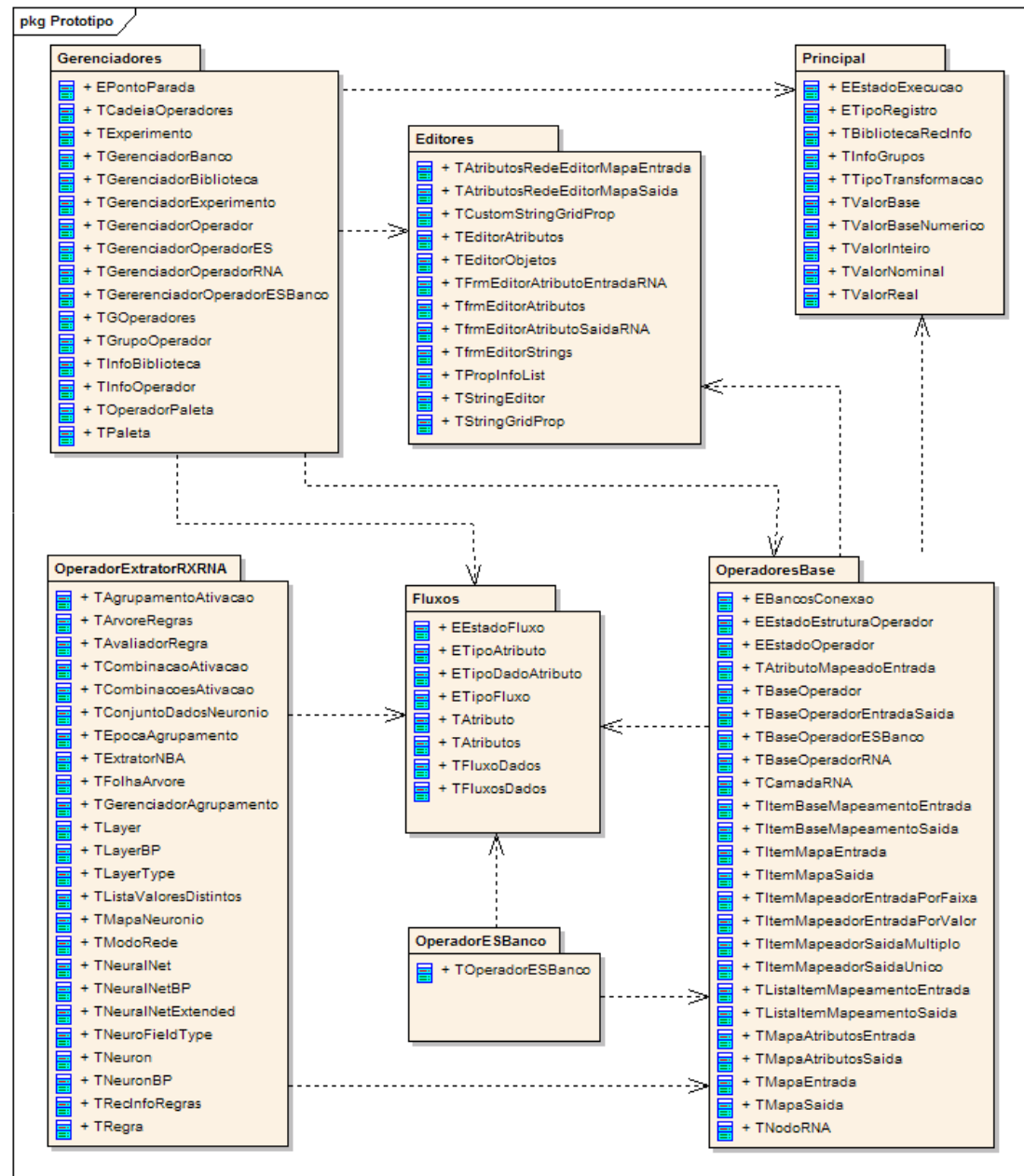
- Ferramenta Enterprise Architect
- Linguagem de especificação UML

## 3.3 Especificação

Diagrama de casos de uso:



### 3.3 Especificação – Diagrama de Pacotes



## 3.3 Especificação

### Funções dos pacotes

- Pacote `Principal`: classes comuns para os demais pacotes
- Pacote `Gerenciadores`: gerenciadores de operadores, de experimento e de registro de operadores
- Pacote `Editores`: edição de parâmetros, atributos e mapeamentos de entrada e saída de rede neural
- Pacote `Fluxos`: fluxos de dados
- Pacote `OperadoresBase`: operadores base para extensão
- Pacote `OperadorESBanco`: operador de entrada e saída de dados com conexão a banco de dados
- Pacote `OperadorExtractorRXRNA`: operador de rede neural artificial MLP e extrator de regras com algoritmo RX

## 3.4 Implementação

### Técnicas e ferramentas utilizadas

- Linguagem de programação Object Pascal
- Ambiente de programação Delphi 7
- Gerenciador de Banco de dados SQL Server Express com a ferramenta SQL Server Management Studio
- Ferramenta de *data mining* Yale para normalização de dados

## 3.4 Implementação

### Operacionalidade da implementação

- Estudo de caso Lentes de Contato

Informação dos atributos do paciente

- idade: jovem, meia-idade ou sênior
- prescrição do problema: miopia ou hipermetropia
- possui astigmatismo: positivo ou negativo
- taxa de produção de lágrimas: reduzida ou normal

Informação das prescrições das lentes recomendadas (classes)

- lentes fortes
- lentes fracas
- não há necessidade de uso de lentes

Distribuição das classes

- lentes fortes : 4
- lentes fracas : 5
- não há necessidade de uso de lentes : 15

Número de registros : 24



## 3.4 Implementação

### Resultados e Discussão

- Objetivos atendidos
  - Construir redes neurais para a tarefa de classificação de dados
  - Aplicar o algoritmo de extração de regras RX
  - Avaliar a acurácia das regras
  
- Objetivos não atendidos:
  - Aplicar o algoritmo de extração de regras TREPAN

## 4 Conclusões

- Verificação das vantagens na extração de regras de redes neurais e a capacidade de explicação
- Desacoplamento dos operadores do ambiente facilita a extensão
- Deficiências do algoritmo RX:
  - Literatura incompleta quanto à técnica de formação das regras
  - Tamanho das regras e quantidade de antecedentes dependente da dimensionalidade do espaço de entrada e dos valores dos atributos
  - Melhorias obtidas no tamanho das regras com o formato hierárquico
    - Necessidade de muito processamento e recursos
- Complexidade do algoritmo TREPAN inviabilizou seu desenvolvimento

## 4.1 Extensões

- Criação do operador de extração de regras TREPAN
- Aplicação de métodos de poda da rede
- Aplicação de métodos mais sofisticados de mapeamentos de entrada e saída de dados das redes neurais
- Melhorias no método de geração das regras oriundas do conjunto de dados de entrada
- Melhorias nos operadores de entrada de dados, como capacidade de transformação, métodos de estratificação e separação automática de conjuntos de treinamento e teste para a rede

**Protótipo**

## 3.4 Implementação - Operacionalidade

Extração de regras: regras em formato hierárquico:

```
Regra: 1
  SE astigmatismo = negativo
    SE taxa_producao_lagrimas = normal
      SE prescricao = hipermetropia
        SE idade = jovem
        SE idade = meia-idade
        SE idade = senior
      SE prescricao = miopia
        SE idade = jovem
        SE idade = meia-idade
    ENTÃO lentes_recomendadas = fraca
Regra: 2
  SE astigmatismo = positivo
    SE taxa_producao_lagrimas = normal
      SE prescricao = miopia
        SE idade = jovem
        SE idade = meia-idade
        SE idade = senior
      SE idade = jovem
        SE prescricao = hipermetropia
    ENTÃO lentes_recomendadas = forte
Regra: 3
  SE prescricao = miopia
    SE astigmatismo = negativo
      SE idade = senior
        SE taxa_producao_lagrimas =
normal
      SE idade = jovem
        SE taxa_producao_lagrimas =
reduzida
    ENTÃO lentes_recomendadas = nenhuma
Regra: 4
  SE idade = meia-idade
    SE prescricao = miopia
      SE astigmatismo = negativo
        SE taxa_producao_lagrimas =
reduzida
    ENTÃO lentes_recomendadas = nenhuma
```

```
Regra: 5
  SE prescricao = hipermetropia
    SE astigmatismo = positivo
      SE taxa_producao_lagrimas = normal
        SE idade = meia-idade
        SE idade = senior
      SE idade = jovem
        SE taxa_producao_lagrimas =
reduzida
    ENTÃO lentes_recomendadas = nenhuma
Regra: 6
  SE prescricao = hipermetropia
    SE astigmatismo = negativo
      SE taxa_producao_lagrimas = reduzida
        SE idade = jovem
        SE idade = meia-idade
        SE idade = senior
    ENTÃO lentes_recomendadas = nenhuma
Regra: 7
  SE taxa_producao_lagrimas = reduzida
    SE astigmatismo = positivo
      SE prescricao = miopia
        SE idade = jovem
        SE idade = meia-idade
        SE idade = senior
      SE prescricao = hipermetropia
        SE idade = meia-idade
        SE idade = senior
    SE idade = senior
      SE prescricao = miopia
        SE astigmatismo = negativo
    ENTÃO lentes_recomendadas = nenhuma
```

## 3.4 Implementação - Operacionalidade

### Extração de regras: regras em formato plano (1 de 2):

[Informação]: Regras extraídas. Número de regras: 24. Regras:

```
Regra 1: SE idade = jovem E prescricao = miopia E astigmatismo = negativo E
        taxa_producao_lagrimas = normal ENTÃO lentes_recomendadas = fraca
Regra 2: SE idade = meia-idade E prescricao = miopia E astigmatismo = negativo E
        taxa_producao_lagrimas = normal ENTÃO lentes_recomendadas = fraca
Regra 3: SE idade = jovem E prescricao = miopia E astigmatismo = positivo E
        taxa_producao_lagrimas = normal ENTÃO lentes_recomendadas = forte
Regra 4: SE idade = meia-idade E prescricao = miopia E astigmatismo = positivo E
        taxa_producao_lagrimas = normal ENTÃO lentes_recomendadas = forte
Regra 5: SE idade = senior E prescricao = miopia E astigmatismo = positivo E
        taxa_producao_lagrimas = normal ENTÃO lentes_recomendadas = forte
Regra 6: SE idade = jovem E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = positivo E
        taxa_producao_lagrimas = normal ENTÃO lentes_recomendadas = forte
Regra 7: SE idade = jovem E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = negativo E
        taxa_producao_lagrimas = normal ENTÃO lentes_recomendadas = fraca
Regra 8: SE idade = meia-idade E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = negativo E
        taxa_producao_lagrimas = normal ENTÃO lentes_recomendadas = fraca
Regra 9: SE idade = senior E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = negativo E
        taxa_producao_lagrimas = normal ENTÃO lentes_recomendadas = fraca
Regra 10: SE idade = jovem E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = negativo E
        taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTÃO lentes_recomendadas = nenhuma
Regra 11: SE idade = meia-idade E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = negativo E
        taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTÃO lentes_recomendadas = nenhuma
Regra 12: SE idade = senior E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = negativo E
        taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTÃO lentes_recomendadas = nenhuma
```

## 3.4 Implementação - Operacionalidade

### Extração de regras: regras em formato plano (2 de 2):

```
Regra 13: SE idade = jovem E prescricao = miopia E astigmatismo = negativo E
          taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 14: SE idade = meia-idade E prescricao = miopia E astigmatismo = negativo E
          taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 15: SE idade = senior E prescricao = miopia E astigmatismo = negativo E
          taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 16: SE idade = senior E prescricao = miopia E astigmatismo = negativo E
          taxa_producao_lagrimas = normal ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 17: SE idade = meia-idade E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = positivo E
          taxa_producao_lagrimas = normal ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 18: SE idade = senior E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = positivo E
          taxa_producao_lagrimas = normal ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 19: SE idade = jovem E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = positivo E
          taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 20: SE idade = jovem E prescricao = miopia E astigmatismo = positivo E
          taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 21: SE idade = meia-idade E prescricao = miopia E astigmatismo = positivo E
          taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 22: SE idade = senior E prescricao = miopia E astigmatismo = positivo E
          taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 23: SE idade = meia-idade E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = positivo E
          taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma

Regra 24: SE idade = senior E prescricao = hipermetropia E astigmatismo = positivo E
          taxa_producao_lagrimas = reduzida ENTAO lentes_recomendadas = nenhuma
```

## 3.4 Implementação - Operacionalidade

### Extração de regras: acurácia das regras

Estatísticas globais das regras:							
Número de execuções.....:	24						
Número de acertos.....:	24						
Número de execuções sem disparo:	0						
Número de disparos inválidos...:	0						
Acurácia total (%):.....:	100.00						
Estatísticas por regra:							
Regra .....	1	2	3	4	5	6	7
Número de execuções.....:	1	1	1	1	1	1	1
Número de acertos.....:	1	1	1	1	1	1	1
Número de disparos inválidos..:	0	0	0	0	0	0	0
Percentual de Acurácia .....	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Regra .....	8	9	10	11	12	13	14
Número de execuções.....:	1	1	1	1	1	1	1
Número de acertos.....:	1	1	1	1	1	1	1
Número de disparos inválidos..:	0	0	0	0	0	0	0
Percentual de Acurácia .....	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Regra .....	15	16	17	18	19	20	21
Número de execuções.....:	1	1	1	1	1	1	1
Número de acertos.....:	1	1	1	1	1	1	1
Número de disparos inválidos..:	0	0	0	0	0	0	0
Percentual de Acurácia .....	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Regra .....	22	23	24				
Número de execuções.....:	1	1	1				
Número de acertos.....:	1	1	1				
Número de disparos inválidos..:	0	0	0				
Percentual de Acurácia .....	100.00	100.00	100.00				