

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Rafael Santos Gouveia

Thiago Maia Da Rocha

INFERÊNCIA BASEADA EM REGRAS DE PRODUÇÃO PARA O
DIAGNÓSTICO LABORATORIAL DA ANEMIA

Belém

2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Rafael Santos Gouveia

Thiago Maia Da Rocha

INFERÊNCIA BASEADA EM REGRAS DE PRODUÇÃO PARA O
DIAGNÓSTICO LABORATORIAL DA ANEMIA

Trabalho de Curso na modalidade Monografia, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia de Computação do Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA, sob orientação da Professora M.Sc. Polyana Santos Fonseca Nascimento e coorientação da Bel. Deisiany Santos Bezerra.

Belém

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
Biblioteca do Cesupa, Belém - PA

Gouveia, Rafael Santos.

Interferência baseada em regras de produção para o diagnóstico laboratorial da anemia / Rafael Santos Gouveia, Thiago Maia da Rocha; orientação de Polyana Santos Fonseca Nascimento, coorientação de Deisiany Santos Bezerra, 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia da Computação) – Centro Universitário do Pará, Belém, 2018.

1. Inteligência artificial. 2. Sistemas especialistas. I. Rocha, Thiago Maia da. II. Nascimento, Polyana Santos Fonseca (orient.). III. Bezerra, Deisiany Santos (coorient.) IV. Título.

CDD. 23° ed. 006.3

Rafael Santos Gouveia

Thiago Maia Da Rocha

**INFERÊNCIA BASEADA EM REGRAS DE PRODUÇÃO PARA O
DIAGNÓSTICO LABORATORIAL DA ANEMIA**

Trabalho de Curso na modalidade Monografia apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia de Computação do Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA.

Data da Defesa: 11/06/2018

Banca Examinadora:

Prof. Orientadora M.Sc. Polyana Santos Fonseca Nascimento – CESUPA

Coorientadora Bel. Deisiany Santos Bezerra – UFPA

Prof. M.Sc. Andrea Cristina Marques De Araújo – CESUPA

Belém

2018

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Valéria e Aroldo, por me darem suporte durante o curso e sempre me apoiarem nas minhas decisões, pelo incentivo e compreensão nos momentos difíceis durante toda minha vida.

A minha namorada Karla, que esteve no meu lado nos momentos importantes, por ter paciência no momento que eu ficava estressado por conta do trabalho e por me apoiar no momento que decidi falar sobre anemia.

A minha orientadora, Polyana Fonseca, que me ajudou e esteve sempre disponível para ajudar durante meus momentos de dúvidas e por ter aceitado em me orientar neste trabalho.

A Deisiany, coorientadora, que aceitou nos ajudar no momento que mais precisávamos.

Aos jovens que estiveram em toda minha vida acadêmica e são como irmãos para mim.

Rafael Gouveia

RESUMO

A inteligência artificial é uma tecnologia que se apresenta relevante na aplicação em diversas áreas. Logo após o surgimento desta tecnologia, a sua utilidade no campo da medicina se destacou, culminando em resultados notórios acerca do auxílio em processos clínicos e retorno financeiro a longo prazo. Ao se tratar sobre o procedimento de diagnóstico médico, a grande quantidade de variáveis pode afetar o processo de decisão, causando diferenças nas opiniões dos praticantes. Existem muitos fatores de risco incertos, por isso, às vezes, o diagnóstico de doença pode ser difícil mesmo para especialistas. Com o objetivo de criar uma ferramenta que auxilie o processo de diagnóstico laboratorial de anemia, este trabalho realizou um estudo que combinou conceitos em hematologia e inteligência artificial sob a abordagem de sistemas baseados em conhecimento para desenvolver um protótipo de inferência que dê suporte no processo de decisão diagnóstica, apresentando relatos sobre o processo realizado para o desenvolvimento do sistema. A partir disso, foi possível o estudo da anemia e como aplicar o conhecimento adquirido em uma linguagem computacional para a representação formal do problema. Desta forma, pôde-se verificar o entendimento das etapas de desenvolvimento um sistema baseado em conhecimento aplicado na área médica.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Sistema Baseado em Conhecimento. Diagnóstico. Anemia.

ABSTRACT

Artificial intelligence is a technology that presents relevant applications in several areas. Soon after the emergence of this technology, its usefulness in the field of medicine stood out, culminating in notorious results regarding clinical process aid and long-term financial return. When dealing with the medical diagnostic procedure, the large number of variables can affect the decision process, causing differences in the opinions of the practitioners. There are many uncertainties regarding risk factors, therefore the diagnosis of the disease can be difficult even for specialists. Aiming in creating a tool to support the laboratory diagnosis of anemia, this project carried out a study that combined concepts in hematology with artificial intelligence under the approach of knowledge based systems to develop an inference system prototype that supports the process of diagnosis. This study also presents reports about the system development process. Consequently, it was possible to study anemia diagnosis and how to apply the acquired knowledge to the computational language and formal representation of the problem. As a result, it was possible to understand the stages which are part in a medical area knowledge based system development.

Keywords: Artificial intelligence. Knowledge Based System. Diagnosis. Anemia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de hematopoese.....	18
Figura 2 – Valores de referência para hemogramas em adultos.....	21
Figura 3 – Ilustração dos três componentes fundamentais para um sistema de IA.	27
Figura 4 – Modelo simplificado de aprendizagem.	28
Figura 5 – Estrutura de um sistema baseado em conhecimento.	31
Figura 6 – Definição da palavra <i>plant</i> em uma rede semântica.....	34
Figura 7 – Interseção entre <i>chorar</i> e <i>confortar</i> em uma rede semântica.	35
Figura 8 – Descrição de um quarto de hotel através de frames.	36
Figura 9 – Início da consulta ao sistema de exemplo.	39
Figura 10 – O sistema após a seleção da regra 1.	39
Figura 11 - O sistema após a seleção da regra 4.....	40
Figura 12 – Grafo baseado no exemplo automotivo.....	40
Figura 13 – Ciclo de desenvolvimento de programação de um SBC.....	41
Figura 14 – Processo de desenvolvimento de um SBC.....	42
Figura 15 – Processo de aquisição do conhecimento.	43
Figura 16 – Simplificação do processo de aquisição de conhecimento.	46
Figura 17 – Utilização de modelos conceituais na formalização do conhecimento.....	46
Figura 18 – Fluxograma final.	50
Figura 19 - Código na linguagem <i>Python</i>	53
Figura 20 - Caso de uso do sistema.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da anemia.....	23
Tabela 2 – Valores de referência obtidos em cinco cidades brasileiras (eritograma).	24
Tabela 3 - Valores de referência obtidos em cinco cidades brasileiras (leucograma).....	25

LISTA DE SIGLAS

IA	Inteligência Artificial
USP	Universidade de São Paulo
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
VCM	Volume Corpuscular Médio
HCM	Hemoglobina Corpuscular Média
RDW	<i>Red Cell Distribution Width</i>
SBC	Sistema Baseado em Conhecimento
NSBC	Núcleo do Sistema Baseado em Conhecimento
CHCM	Concentração da Hemoglobina Corpuscular Média

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação morfológica de anemia conforme VCM e RDW.	24
Quadro 2 – Base de conhecimento do exemplo.	38
Quadro 3 - Variáveis de entrada e saída do sistema.	49
Quadro 4 - Lista de regras (primeira versão) contidas no sistema Expert Sinta.	52
Quadro 5 - Perguntas do sistema e suas respectivas variáveis.	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 FUNDAMENTOS EM ANEMIA	17
2.1 HEMATOPOESE	17
2.2 SÉRIE VERMELHA.....	19
2.3 SÉRIE BRANCA	19
2.4 SÉRIE PLAQUETÁRIA.....	20
2.5 ANEMIA.....	20
2.6 ASPECTOS CLÍNICOS DA ANEMIA.....	21
2.6.1 Sintomas	22
2.6.2 Sinais	22
2.7 CLASSIFICAÇÕES DA ANEMIA	22
2.8 VALORES REFERENCIAIS	24
3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	26
3.1 SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO (SBC)	28
3.1.1 Tipos de aplicações de SBC	30
3.1.2 Estrutura geral de um SBC	31
3.1.2.1 Núcleo do sistema baseado em conhecimento (NSBC)	31
3.1.2.2 Base de conhecimento.....	32
3.1.2.3 Memória de trabalho	32
3.1.2.4 Interface.....	33
3.1.3 Representação de conhecimento	33
3.1.3.1 Redes Semânticas.....	34
3.1.3.2 Frames.....	35
3.1.3.3 Regras de Produção.....	37
3.1.4 Processo de desenvolvimento de um SBC	41
3.1.5 Aquisição de conhecimento	43
3.1.5.1 Fase de identificação	43
3.1.5.1.1 Entrevistas não-estruturadas	44
3.1.5.1.2 Entrevistas estruturadas.....	44
3.1.5.2 Fase de conceituação	44

3.1.5.3 Fase de formalização	45
3.1.5.4 Modelos conceituais	45
4 METODOLOGIA.....	48
4.1 IDENTIFICAÇÃO	48
4.2 CONCEITUAÇÃO	49
4.3 FORMALIZAÇÃO	50
4 IMPLEMENTAÇÃO	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
6 REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A – Primeiro fluxograma elaborado (Adultos).	59
APÊNDICE B – Segundo fluxograma elaborado (Adultos).	60
APÊNDICE C – Versão inicial de fluxograma para crianças e adolescentes.	61
APÊNDICE D – Ramo do fluxograma relativo a recém-nascidos (retirado).	62
APÊNDICE E – Ramo do fluxograma relativo à idade de 1 a 11 meses (retirado).	63
APÊNDICE F – Código Completo Na Linguagem <i>Python</i>.	64

1 INTRODUÇÃO

Inteligência artificial (IA) é uma ciência baseada em computador e um de seus objetivos é simular as faculdades do cérebro humano usando um sistema computacional. Esta tecnologia está presente em diversas áreas, e é muitas vezes utilizada mesmo quando nós não nos damos conta. Segurança de dados, negociações financeiras, detecção de fraudes e recomendações de produtos em sites de empresas de vendas são apenas alguns exemplos populares da onipresença desta tecnologia (MARR, 2016). As diferentes abordagens de inteligência artificial possibilitam a construção de sistemas que aprendem e se aperfeiçoam automaticamente com dados, e tudo isso coloca a aprendizagem de máquina na vanguarda de praticamente qualquer campo que se baseia em dados, como saúde, educação, esportes e muitas outras.

No âmbito da medicina, a percepção da usabilidade de tecnologias de inteligência artificial no auxílio de diagnósticos clínicos foi imediata. A dimensão da aplicabilidade de IA na área passa por reconhecimento de padrões a partir de exames de imagem, monitoramento de glaucoma, análise de microscopia de urina, cálculo sobre o risco de Síndrome de Down a partir de dados de triagens bioquímicas de mães, assim como diagnóstico de enfermidades cardiopulmonares (ZINI, 2005).

Ainda na área da saúde, sistemas de aprendizado de máquina são usados para analisar imagens e investigar tumores. Também são usados para fazer diagnósticos com base em laudos anatomopatológicos. Um estudo utilizou o diagnóstico assistido por computador para analisar os exames de mamografia precoce de mulheres que mais tarde desenvolveram câncer de mama e o computador detectou 52% dos cânceres até um ano antes das mulheres serem oficialmente diagnosticadas (MARR, 2016).

Outro exemplo do uso de inteligência artificial na área de saúde ocorre na Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP), onde são criados sistemas de IA com o objetivo de facilitar o diagnóstico de doenças como dengue, zika e chikungunha, ou até mesmo apontar os riscos apresentados por um idoso de desenvolver problemas que ameacem sua vida em até quinze anos. Tais sistemas são criados para reconhecer padrões em enfermidades e oferecer aos médicos sugestões que os ajudem em sua tomada de decisão (NOBESCHI, 2016).

Em 1995 foram instalados três sistemas baseados em conhecimento em cinco hospitais europeus com o objetivo de auxiliar em diagnósticos relacionados à hematologia (ZINI, 2005). Os três sistemas trabalhavam ligados a uma estação de hematologia e interagiam entre si para relatar históricos clínicos e resultados laboratoriais. Em um teste realizado com os

sistemas, foram analisadas cem amostras de pacientes de leucemia, sendo atingido um total de 99 dos 100 exames diagnosticados corretamente com a confirmação de médicos especialistas.

Na reportagem de Ghosh (2018) é ressaltado o potencial de sistemas de IA em reduzir custos de garantir uma economia altamente relevante para sistemas de saúde ao permitir que males sejam detectados precocemente. Segundo Ghosh (2018), pesquisadores de um hospital de Oxford, no Reino Unido, desenvolveram uma inteligência artificial capaz de fazer diagnósticos a partir de exames para doenças cardíacas e câncer de pulmão. Tratando-se da tecnologia sobre problemas no coração, o sistema pode levar o sistema público de saúde britânico a reduzir em 50% os gastos realizados anualmente com serviços de análise de patologias.

Partindo da constatação da aplicabilidade e eficiência de IA no ambiente da medicina este trabalho detalha o desenvolvimento de um protótipo de sistema baseado em conhecimento que dê auxílio à diagnósticos laboratoriais relacionados à anemia e ao fim desse processo relatar os resultados visando sua efetividade.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa são divididos em geral e específicos, de acordo com os tópicos abaixo.

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de inteligência artificial que dê suporte ao diagnóstico laboratorial de anemia.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Compreender as diferentes formas de anemia e identificar seus padrões.
- ✓ Compreender os métodos de aplicação de sistemas baseados em conhecimento.
- ✓ Mapear o processo de diagnóstico laboratorial das formas de anemia junto ao especialista.
- ✓ Aplicar a abordagem de sistemas baseados em conhecimento para o desenvolvimento do sistema.
- ✓ Desenvolver um protótipo da inferência do sistema.

1.2 JUSTIFICATIVA

No domínio do diagnóstico médico, existem inúmeras variáveis que afetam o processo de decisão, causando diferenças nas opiniões dos praticantes. Existem muitos fatores de risco incertos, por isso, às vezes, o diagnóstico de doença pode ser difícil mesmo para especialistas. Ter tantos fatores para analisar e diagnosticar a doença de um paciente dificulta o trabalho do

médico. Portanto, uma ferramenta precisa seria de grande ajuda para um especialista considerar todos esses fatores de risco e mostrar determinados resultados em termos incertos.

Por meio de um estudo realizado na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), foi identificado que a cada cinco minutos, três brasileiros morrem por alguma falha nos hospitais do Brasil. Estes números são provenientes de erro médico, negligências ou algum incidente em hospital, provocando mais de 300 mil mortes no ano de 2016 por falhas médicas (ARAÚJO, 2017).

Considerando este problema e baseando-se nas situações demonstradas anteriormente, observa-se que o uso de inteligência artificial ao processo de diagnósticos na medicina se apresenta com considerável eficiência. Frente à necessidade de haver uma ferramenta de tamanha utilidade, a motivação deste trabalho é automatizar o processo de diagnóstico laboratorial de anemia a partir de dados dispostos em exames laboratoriais rotineiros, como hemogramas, além de aperfeiçoar a análise buscando uma maior confiabilidade em sua resposta.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Contando com o capítulo introdutório já citado anteriormente, o trabalho é organizado da seguinte forma:

- ✓ Capítulo 2 – trata da primeira parte do referencial teórico, onde é apresentado o conceito de anemia, detalhadas suas implicações e demonstrado o processo do diagnóstico a partir da opinião dos especialistas consultados.
- ✓ Capítulo 3 – trata da segunda parte do referencial teórico, onde são apresentados conceitos de inteligência artificial e detalhada a abordagem de sistema baseado em conhecimento.
- ✓ Capítulo 4 – apresenta o procedimento metodológico do trabalho, sendo este o processo de aquisição de conhecimento realizado para o desenvolvimento do protótipo.
- ✓ Capítulo 5 – reserva as conclusões acerca da pesquisa, dificuldades encontradas e propostas de trabalhos futuros.
- ✓ Capítulo 6 – apresenta as referências bibliográficas utilizadas para o estudo técnico dos mais relevantes temas dessa pesquisa.

2 FUNDAMENTOS EM ANEMIA

A anemia é provavelmente o estado patológico humano mais comum em todo o mundo. A condição não é uma doença, mas é uma manifestação de outros processos patológicos. Uma vez reconhecido, no entanto, o sinal pode servir como um marco na busca por um diagnóstico. Embora não seja um processo primário de doença, a anemia pode produzir morbidade grave e, ocasionalmente, até a morte. Conseqüentemente, os passos para corrigir a anemia devem acompanhar a avaliação diagnóstica.

As anemias são analisadas a partir de um padrão de avaliação que requer conceitos introdutórios sobre hematopoese e valores referenciais em hematologia devido as suas relações de causas e efeitos. Neste sentido, as avaliações são feitas através de resultados numéricos de um hemograma sobre as abordagens das três séries celulares do sangue, sendo elas a série vermelha, onde são tratados os eritrócitos, a série branca, onde são tratados os tipos de leucócitos, e a série plaquetária, onde estão determinadas as plaquetas. Também são analisados os componentes do plasma sanguíneo, dados de grande importância para o completo entendimento de um exame por um médico ou profissional laboratorial sobre um quadro patológico (NAOUM, [200-?]).

A seguir são apresentados conceitos em hematopoese com o objetivo de atingir o entendimento necessário para a análise de um hemograma.

2.1 HEMATOPOESE

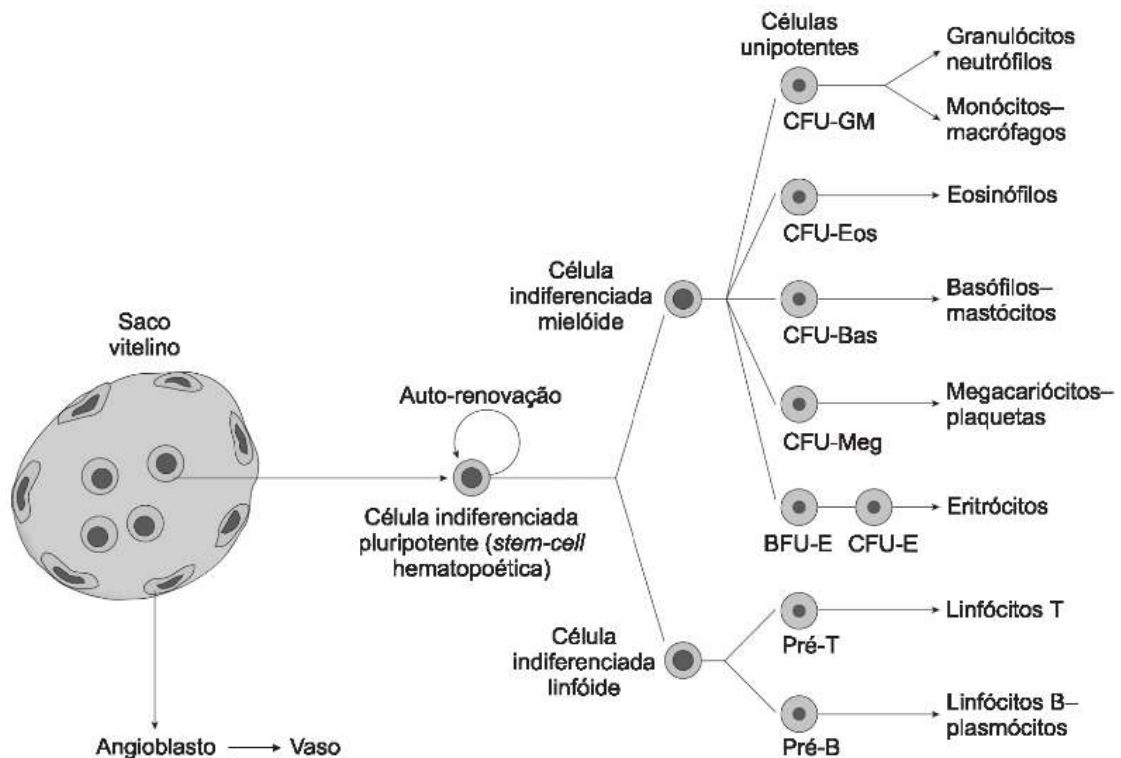
O sangue é composto, no âmbito celular, de eritrócitos, leucócitos e plaquetas. Estas são as três diferentes linhagens de células que se originam de uma célula-mãe única, sobre o nome de célula pluripotente, totipotente, *stem-cell* ou célula-tronco (LORENZI, 2006).

Segundo Lorenzi (2006) a hematopoese é o processo de formação das células do sangue. Trata-se dos fenômenos relacionados à origem, multiplicação e crescimento das células precursoras das células sanguíneas, ao nível da medula óssea. A formação de tais células é garantida devido às células-tronco sempre estarem em alta atividade de multiplicação e maturação.

O surgimento de células sanguíneas no homem se dá no período embrionário, entre a sétima e oitava semana prolongando-se até o quarto mês de vida, a partir de agrupamentos de células localizadas no saco vitelino, determinado como período embrionário da hematopoese. Entre o quarto e sexto mês de vida, a formação de células passa a acontecer no baço e no fígado, sendo este o período hepatoesplênico. A partir de então, o processo passa a ser feito na região esponjosa dos ossos, dando início ao período medular (LORENZI, 2006).

A Figura 1 apresenta o processo da hematopoese de forma geral a partir da célula-tronco. Sendo responsável pela formação de todos os tipos de células sanguíneas, esta célula se expande e se divide mantendo a sua característica de pluripotencialidade, ou seja, mantendo a capacidade de dar origem a diferentes tipos de células de acordo com a necessidade.

Figura 1 – Processo de hematopoese.



Fonte: Lorenzi (2006, p. 10)

Ao fim do processo, podem ser formadas as seguintes categorias células e suas funções:

- **Eritrócitos ou hemácias:** possuem a função de realizar trocas gasosas (O₂ e CO₂) entre os tecidos e o meio ambiente através das hemoglobinas.
- **Células granulocíticas:** são agentes de defesa contra organismos externos.
- **Monócitos ou macrófagos:** também são encarregados pela defesa do organismo por meio da fagocitose e fazem parte das reações imunológicas.
- **Linfócitos e plasmócitos:** são envolvidos no reconhecimento de agentes externos, podendo agir de forma direta (linfócitos T), ou por meio da liberação de anticorpos (linfócitos B e plasmócitos).
- **Plaquetas:** são responsáveis pelos fenômenos da hemostasia, ou seja, coagulação do sangue.

É dada a denominação genérica de glóbulos brancos aos granulócitos, monócitos, linfócitos e plasmócitos.

A seguir são apresentadas algumas características morfológicas dos tipos de células mais relevantes à análise de hemogramas, levando em consideração a série sanguínea a qual pertence.

2.2 SÉRIE VERMELHA

As características morfológicas dos dois principais componentes da série vermelha do sangue para a análise de um hemograma são (LORENZI, 2006):

- **Hemácia (eritrócito):** Mede 7 μ de diâmetro e apresenta a forma de um disco bicôncavo, borda corada e centro mais claro. Possui um excesso de membrana citoplasmática para o conteúdo hemoglobínico que transporta.
- **Hemoglobina:** Substância pigmentada e formada por duas partes: o *heme*, parte que contém ferro, e a *globina*, porção que contém proteína. Sua principal função é a de absorver, transportar e liberar oxigênio aos tecidos.

2.3 SÉRIE BRANCA

Os leucócitos, ou glóbulos brancos, podem ser divididos em dois grupos: fagócitos e imunócitos. Granulócitos, que incluem três tipos de células, os neutrófilos, eosinófilos e basófilos, juntamente com os monócitos, constituem os fagócitos. Por sua vez os imunócitos são constituídos pelos linfócitos e os plasmócitos. A seguir são apresentadas algumas características de células pertencentes a série branca do sangue, levando em consideração as que são constatadas em um hemograma (LORENZI, 2006).

- **Leucócito:** Seu nome significa célula branca. Apresenta vários tipos celulares que podem ser representados em dois grupos: os granulócitos, leucócitos que possuem granulações abundantes no seu citoplasma, e os linfócitos, leucócitos que são desprovidos de granulações citoplasmáticas.
- **Mielócito:** Apresenta tamanho de cerca de 18 μ . Formato redondo, com núcleos podendo variar entre formato também redondo, ou oval. Possui citoplasma com características ácidas e granulações específicas.
- **Metamielócito:** Possui tamanho por volta de 15 μ . Com formato redondo e citoplasma acidófilo, possui exclusivamente granulações específicas.
- **Bastonete:** Célula completamente madura, com tamanho de 12 μ . Pode apresentar seu núcleo em formato de bastão ou ferradura, com citoplasma

acidófilo, e contendo exclusivamente granulações específicas. É também caracterizado por ser encontrado no sangue em pequenas proporções.

- **Segmentado:** Seu nome é derivado do fato de seu núcleo apresentar um aspecto segmentado ou irregular. Possui citoplasma similar ao bastonete, contendo granulações específicas.
- **Eosinófilos:** Apresentam granulações específicas bastantes características que possuem proteínas básicas, sendo maiores, mas menos numerosas em relação a outros tipos de células. São bem corados por causa de ácidos como a eosina, substância cujo é derivado seu nome.
- **Basófilos:** Possuem grandes granulações, porém pouco numerosas. Tal nome é derivado da afinidade que a célula apresenta com corantes básicos.
- **Linfócito:** São encontradas em grandes proporções no sangue. Existem três tipos de células linfoides: o linfoblasto, prolinfócito e linfócito maduro, com características em comum de possuírem núcleos redondos, citoplasma levemente basófilo, e um número de granulações pequeno ou até mesmo inexistente.
- **Monócito:** Células que apresentam a característica de transitar no fluxo sanguíneo durante poucos dias até que se fixem nos tecidos, adquirindo aspectos específicos.

2.4 SÉRIE PLAQUETÁRIA

As plaquetas atuam diretamente nos efeitos de coagulação sanguínea e hemostasia, ou seja, o efeito de estancar uma hemorragia, e com isso, nelas estão presentes importantes proteínas da coagulação do sangue (LORENZI, 2006).

- **Plaquetas:** Pequenas células incompletas devido à carência de material nuclear. Possuem tamanho entre 3 e 4 μ . Apresenta coloração homogênea e contem pequenas granulações.

2.5 ANEMIA

Segundo Hoffbrand e Moss (2013, p. 24) anemia “é definida como a diminuição da concentração de hemoglobina do sangue abaixo dos valores de referência para idade e sexo”. Tais valores de referência podem variar de acordo com os laboratórios, porém a taxa de valores para a definição da anemia mais comumente utilizada é apresentada na Figura 2.

De acordo com Hoffbrand e Moss (2013), valores normais de hemoglobina no sangue para definição de anemia ficariam abaixo de 13,5 g/dL em homens adultos e abaixo de 11,5

g/dL para mulheres adultas. Taxas de hemoglobina abaixo de 11 g/dL em crianças de 2 anos até a puberdade já indicaria estado de anemia. Devido a recém-nascidos possuírem um nível de hemoglobina mais alto, uma taxa de hemoglobina no sangue abaixo dos 14 g/dL apontaria anemia.

Figura 2 – Valores de referência para hemogramas em adultos.

	Homens	Mulheres
Hemoglobina (g/dL)	13,5-17,5	11,5-15,5
Hematócrito (Hct) (%)	40-52	36-48
Contagem de eritrócitos ($\times 10^{12}/L$)	4,5-6,5	3,9-5,6
Hemoglobina corpuscular média (HCM) (pg)	27-34	
Volume corpuscular médio (VCM) (fL)	80-95	
Concentração hemoglobínica corpuscular média (CHCM) (g/dL ou %)	30-35	
Contagem de reticulócitos ($\times 10^9/L$)	50-150	

Fonte: Hoffbrand e Moss (2013, p. 25)

Normalmente, a taxa de hemoglobina está ligada a contagem de eritrócitos e hematócitos (Hct), ou seja, comumente, se uma taxa apresenta baixa, as outras costumam acompanhar este resultado em sua contagem. Porém, existe a possibilidade de alguns pacientes apresentarem valores normais de contagem de eritrócitos e hematócitos, e mesmo assim uma baixa em hemoglobina, desta forma, apresentando o estado de anemia. Fatores como alterações no nível de plasma no volume total do sangue influenciam nos resultados de um hemograma quanto a hemoglobina. Situações como a desidratação e período de gestação causam, respectivamente, diminuição e aumento do nível de plasma no sangue, podendo mascarar o estado de anemia ou dar alarmes falsos quanto ao diagnóstico dessa condição (HOFFBRAND; MOSS, 2013).

2.6 ASPECTOS CLÍNICOS DA ANEMIA

Existe a possibilidade de pessoas com casos intensos de anemia não apresentarem quaisquer sinais ou sintomas, enquanto outras com anemia leve podem apresentar indícios

claros relativos à condição. Hoffbrand e Moss (2013) destacam os quatro principais fatores relacionados à presença de sinais clínicos, são eles:

- I. Velocidade de instalação da anemia:** quanto mais progressiva é a instalação da anemia, mais sintomas tornam-se aparentes. Tal efeito ocorre devido ao curto tempo disponível para a adaptação do sistema cardiovascular e da curva de dissociação de oxigênio da hemoglobina.
- II. Intensidade da anemia:** anemias leves comumente não apresentam sintomas, contudo permanecem presentes quando o nível de hemoglobina está abaixo de 10g/dL de sangue. Os sinais podem ser ainda mais discretos quando o indivíduo é jovem e não apresentam outra doença.
- III. Idade:** um indivíduo idoso é menos tolerável a anemia, devido ao fato de apresentar uma falta de oxigênio nos órgãos, por questões cardiovasculares, quando comparados com jovens.
- IV. Curva de dissociação de oxigênio na hemoglobina:** efeito que, devido a uma adaptação do sistema vascular, resulta na liberação de oxigênio de forma imediata para os tecidos, sem que haja a participação da hemoglobina nesse transporte.

2.6.1 Sintomas

Os principais sintomas causados pela anemia são: dispneia de esforço, fraqueza, letargia, palpitações e cefaleia. Existem sintomas que são apresentados de forma específica em idosos, como insuficiência cardíaca, angina de peito, claudicação intermitente e confusão mental. Em casos severos, a anemia pode causar até mesmo distúrbios visuais (HOFFBRAND; MOSS, 2013).

2.6.2 Sinais

Os sinais da anemia estão classificados como sendo gerais ou específicos. No aspecto geral os sinais podem ser palidez nas mucosas, hipercinese circulatória com taquicardia, pulso amplo, cardiomegalia e sopro sistólico. Tratando-se de sinais específicos, estes estão relacionados diretamente aos diferentes tipos particulares de anemia, e podem ser coiloníquia (uma deformidade na unha), icterícia (coloração amarela em tecidos e secreções orgânicas), úlceras de perna, assim como deformidades ósseas (HOFFBRAND; MOSS, 2013).

2.7 CLASSIFICAÇÕES DA ANEMIA

A classificação de anemia, para a prática laboratorial, é baseada nos índices hematimétricos. Desta forma, esta é dividida em três tipos, dadas como microcíticas,

normocíticas e macrocíticas (HOFFBRAND; MOSS, 2013). A partir desse critério, os tais tipos possuem as seguintes características:

- **Macrocíticas:** caracterizadas pela presença de hemácias de grande volume. Algumas dessas anemias macrocíticas podem ser megaloblásticas.
- **Microcíticas (Hipocrômica):** tem predomínio de hemácias de pequeno volume e pobres em hemoglobinas.
- **Normocíticas (Normocrômica):** apresentam hemácias adultas, com a quantidade adequada de hemoglobina.

Este tipo de classificação é suportado em dois índices: o volume corpuscular médio (VCM) e a hemoglobina corpuscular média (HCM), conforme a Tabela 1. É importante ressaltar que ao se considerar o estado anêmico de uma pessoa é necessário que, além de avaliar a concentração do teor da hemoglobina, é preciso a avaliação completa do hemograma, observando com detalhe os resultados do hemograma e, com especificidade, os valores dos índices hematimétricos.

Tabela 1 – Classificação da anemia.

Microcítica/Hipocrômica	Normocítica/normocrômica	Macroscítica
VCM < 80 fL	VCM = 80-95 fL	VCM > 95fL
HCM < 27 pg	HCM ≥ 27 pg	

Fonte: Hoffbrand e Moss (2013, p 27)

A abordagem hematimétrica também serve de grande ajuda ao poder sugerir uma situação patológica subjacente antes que a mesma se desenvolva. Hoffbrand e Moss (2013) expõem as principais anomalias relacionadas com cada tipo de anemia prevista na análise hematimétrica:

- Situações patológicas mais comuns nas anemias normocíticas/normocrômicas:** deficiência de ferro, talassemias, anemias de doença crônica, intoxicação por chumbo, anemia sideroblástica.
- Situações patológicas mais comuns nas anemias microcíticas/hipocrômicas:** anemias hemolíticas, anemias de doença crônica, anemia pós-hemorrágica aguda, nefropatias, deficiências mistas, insuficiência da medula óssea.
- Situações patológicas mais comuns nas anemias macrocíticas:** deficiências de vitamina b12 e folato, abuso de álcool, hepatopatias, mielodisplasias, anemia aplástica.

O valor de *red cell distribution width* (RDW), uma avaliação da superfície eritrocitária, quando associado ao VCM facilita a configuração da morfologia eritrocitária que poderá ser encontrada na análise morfológica, conforme a Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação morfológica de anemia conforme VCM e RDW.

	VCM Baixo	VCM Normal	VCM Alto
RDW Normal	Anemia Microcítica Homogênea	Anemia Normocítica Homogênea	Anemia Macroscítica Homogênea
RDW Alto	Anemia Microcítica Heterogênea	Anemia Normocítica Heterogênea	Anemia Macroscítica Heterogênea

Fonte: Walter, Silveira e Morales ([2000], online)

2.8 VALORES REFERENCIAIS

Valores de referência em hematologia são baseados em de cálculos de função de densidade e probabilidade obtida conhecida como distribuição de Gauss. Feito a partir de análises de populações sadias, classificadas por idade e gênero, estabelecendo assim, valores de mínimo e máximo sobre os índices hematológicos (NAOUM, [200-?]).

Os valores utilizados em análises hematológicas obedecem esse modelo de estrutura estatística. Obtidos através de apreciações físico-químicas de forma manual desde a década de 1930 no Brasil, foram também adquiridos conhecimentos quantitativos e sobre escalas de medições, e com isso estabelecidos unidades como *mm³* (milímetro cúbico), *g/dL* (gramas por decilitro), *pg* (picograma) e *fL* (femtograma).

Naoum ([200-?]) apresenta, conforme as Tabelas 2 e 3, os valores referenciais alcançados de uma larga população cujos participantes residiam em cinco cidades dos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Tabela 2 – Valores de referência obtidos em cinco cidades brasileiras (eritograma).

Eritograma	RN*	1 a 11 meses	1 a 2 anos	3 a 10 anos	10 a 15 anos	Adulto** masc.	Adulto** fem.
Eritrócitos	5.2	4.0 – 4.9	4.0 – 5.1	4.0 – 5.1	4.0 – 5.1	4.5 – 6.1	4.0 – 5.4
Hemoglobina	17.0	10.6 – 13.0	11.5 – 14.5	11.5 – 14.5	11.5 – 14.5	12.5 – 16.5	11.5 - 15.5
Hematócrito	52.0	33 – 41	34 – 42	34 – 42	34 – 42	40 – 54	36 – 48
HCM	27 – 31	25 – 29	26 – 29	26 – 29	26 – 29	27 – 29	27 – 29
VCM	80 – 100	75 – 90	77 – 90	77 – 90	77 – 90	77 – 92	77 – 92
CHCM	30 – 35	30 – 35	30 – 35	30 – 35	30 – 35	30 – 35	30 – 35
RDW	10 - 15	10 - 15	10 – 15	10 - 15	10 - 15	10 - 15	10 - 15

Fonte: Naoum ([200-?], online)

Tabela 3 - Valores de referência obtidos em cinco cidades brasileiras (leucograma).

Leucócitos	1 a 3 anos		4 a 14 anos		Acima de 14 anos	
	%	absoluta**	%	absoluta**	%	absoluta**
Leucócitos Totais	----	5.0 – 15.0	----	4.5 – 13.5	----	4.0 – 10.0
N. Bastonete *	2 - 8	0.1 – 0.6	2 - 4	0.1 – 0,4	2 - 4	0.1 – 0.4
N. Segmentado *	20 - 40	2.0 – 6.0	35 - 55	2.0 – 6.0	36 - 66	2.0 – 7.5
Eosinófilo	4 - 10	0.2 – 1.5	4 – 8	0.3 – 1.0	2 – 4	0.1 – 0.4
Basófilo	0 – 1	0.0 – 0.1	0 – 1	0.0 – 0.1	0 – 1	0.0 – 0.1
Linfócito	40 – 60	2.0 – 8.0	30 – 55	1.5 – 6.5	25 – 45	1.5 – 4.0
Monócito	4 – 10	0.2 – 1.5	4 – 10	0.2 – 1.0	2 – 10	0.2 – 0.8

Fonte: Naoum ([200-?], online)

É importante ressaltar que, dependendo de certos fatores laboratoriais, geográficos e sociais, valores referenciais sofrem interferências em sua configuração. Naoum ([200-?]) destaca os principais fatores ligados a essas interferências:

- Costumes socioculturais das populações analisadas.
- Estrutura social, ambiental e condição de saneamento básico relativas aos hospitais, bairros ou cidades que o laboratório atua.
- Tipos de técnicas dos procedimentos analíticos, podendo ser manuais, automatizadas ou automatizadas-informatizadas, levando em consideração a qualidade com que são executadas.

Devido a essas circunstâncias, é preferível que os valores referenciais utilizados por um laboratório sejam extraídos da própria comunidade em que atua, sendo retirados diretamente da população sadia da região, contudo, esta é uma questão de difícil aplicabilidade (NAOUM, [200-?]).

Considerando os conceitos apresentados sobre anemia, suas classificações e valores referenciais, o Capítulo 3 trata de conceitos e definições em inteligência artificial e sistemas baseados em conhecimento com o objetivo de aliar estas disciplinas para o desenvolvimento de um sistema que dê suporte à diagnósticos laboratoriais de anemia.

3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A inteligência artificial surgiu como o desafio de criar máquinas que pudessem pensar e, talvez, superar o pensamento humano. Com o passar do tempo, enquanto explorava os mecanismos do pensamento, a IA tornou-se mais pragmática. Diversas teorias caracterizam o tema a partir de diferentes percepções. As redes neurais, os algoritmos genéticos e outras formas de computação, por exemplo, ajudam o entendimento da adaptação, percepção, corporificação e interação com o mundo físico. Projetistas de sistemas especialistas, de agentes inteligentes e de modelos estocásticos, por outro lado, refletem o papel do conhecimento e dos processos sociais na criação, transmissão e sustentação do conhecimento. Os lógicos propõem ainda dedução, abdução, indução, manutenção da verdade e outros modelos e modos para raciocínio (LUGER, 2004).

A inteligência artificial abrange algumas definições distintas, dentre elas está contida a ideia de, segundo Haykin (2001, p. 59), existir como uma ciência que tem como objetivo “o desenvolvimento de paradigmas ou algoritmos que requeiram máquinas para realizar tarefas cognitivas, para as quais os humanos são atualmente melhores”.

Russell e Norvig (2004, p. 5) apresentam definições para inteligência artificial sob a perspectiva do conceito ideal de inteligência, que denominam como racionalidade, e desta forma afirmam que a IA é o “estudo das faculdades mentais pelo uso de modelos computacionais”, ou ainda o “estudo das computações que tornam possível perceber, raciocinar e agir”.

Para um sistema ser considerado inteligente, Russell e Norvig (2004) sintetizam que tal sistema deve ter capacidades como: representar o conhecimento para armazenar o que se sabe, possuir raciocínio automatizado para aplicar o conhecimento armazenado para responder perguntas e tirar novas conclusões, e ter um sistema de aprendizado para se adaptar a novas circunstâncias e detectar padrões.

Desta forma, Haykin (2001) define que um sistema de inteligência artificial deve ser composto fundamentalmente de três itens: representação, raciocínio e aprendizagem, como são ilustrados na Figura 3.

O componente da representação é a característica mais distintiva da inteligência artificial, e tem como princípio o uso de uma linguagem de estruturas simbólicas para representar o conhecimento genérico sobre um problema, assim como apresentar o conhecimento específico para sua solução. Tais símbolos são definidos de forma a serem de fácil assimilação cognitiva por usuário humano com o objetivo de tornar mais apropriada a comunicação entre homens e máquinas (HAYKIN, 2001).

Figura 3 – Ilustração dos três componentes fundamentais para um sistema de IA.



Fonte: Haykin (2001, p. 60)

O termo conhecimento, no âmbito da inteligência artificial, é apenas uma forma alternativa para se referir a dados, e estes podem ser classificados em dois tipos: declarativos e procedimentais. Para a representação declarativa, os dados são apresentados em uma forma estática de fatos, e possuem a característica de aparentar, para o usuário humano, conter um significado próprio que independe do seu verdadeiro uso dentro do sistema. Já para a representação procedimental, os dados estão literalmente incorporados a um código executável, este por sua vez representa o significado do dado contido. Apesar do contraste destes tipos de dados, ambos os tipos de conhecimento são necessários em uma resolução de um domínio de um problema (HAYKIN, 2001).

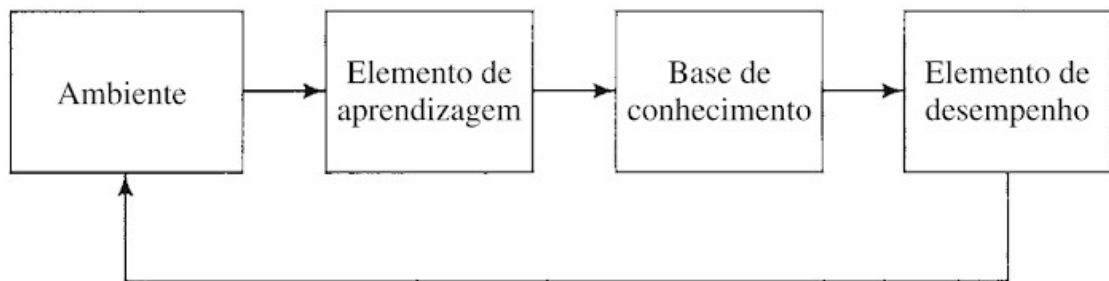
O item de raciocínio consiste na habilidade do sistema de resolver problemas. Haykin (2001) define as condições necessárias para um sistema ser considerado como um sistema de raciocínio:

- Ter a capacidade de expressar e resolver diversos problemas dos mais variados tipos.
- Ser capaz de reconhecer tanto a informação explícita como a informação implícita.
- Possuir um mecanismo de controle que determine quais operações devem ser aplicadas para um problema particular, quando uma solução for obtida, ou quando deve ser encerrado o tratamento de tal problema.

A resolução de problemas pode ser vista como um problema de busca, um processo de procura pela melhor sequência de ações possíveis para a solução de problemas a partir da comparação de sequências diferentes (RUSSELL; NORVIG, 2004). Uma maneira comum de lidar com problemas de busca é utilizar regras, dados e controle. As regras operam sobre os dados, e o controle opera sobre as regras. Desta forma as regras definem a maneira de agir a partir dos dados, e o controle decide quais regras devem ser aplicadas e quando devem ser aplicadas (HAYKIN, 2001).

Por sua vez, como representado na Figura 4, o componente de aprendizagem age a partir o fornecimento de informações pelo ambiente para um elemento de aprendizagem.

Figura 4 – Modelo simplificado de aprendizagem.



Fonte: Haykin (2001, p. 61)

Desta forma, o elemento de aprendizagem usa dessa informação para aperfeiçoar a base de conhecimento, e a partir de então o elemento de desempenho utiliza da base para executar sua tarefa. Porém, devido a possibilidade de os dados retirados do ambiente em situações práticas serem incompletos ou inexatos, os sistemas podem ser levados a trabalhar com incertezas e deduções (HAYKIN, 2001).

A importância das bases de conhecimento afetadas por certas dificuldades encontradas com a aprendizagem levou a criação de vários métodos para apurar as bases de conhecimento. Especificamente, se existirem especialistas em uma área, é normalmente mais fácil obter a experiência diretamente dos especialistas do que tentar chegar às mesmas conclusões a partir da aprendizagem. Este então é o principal fator de idealização dos sistemas baseados em conhecimento, sendo estes descritos nos tópicos a seguir.

3.1 SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO (SBC)

Um dos mais importantes princípios existentes ao se tratar de solução de problemas é a importância do conhecimento específico do domínio. Um médico, por exemplo, não é efetivo em diagnosticar uma doença apenas porque ele possui alguma habilidade inata em resolver problemas genéricos; ele é eficaz devido ao vasto conhecimento sobre medicina. Desta forma, os sistemas especialistas são construídos através da extração deste conhecimento de um

especialista humano, codificando-o de uma forma que um computador possa aplicar a problemas similares (LUGER, 2004).

Russell e Norvig (2004, p. 189) afirmam que um SBC pode “combinar o conhecimento geral com percepções correntes para deduzir aspectos ocultos do estado atual antes de selecionar ações”, ou seja, assim como um médico, por exemplo, é deduzido um diagnóstico sobre um paciente antes de escolher qual tratamento será realizado, desta forma identificando um estado de doença não observável diretamente.

Rezende (2003, p. 15) define sistemas baseados em conhecimento como “programas de computador que usam o conhecimento representado explicitamente para resolver problemas”. Assim como Barreto (1999, p. 191) afirma que sistemas baseados em conhecimento “são sistemas computacionais que devem apresentar um comportamento semelhante a um especialista em um determinado domínio”. Por sua vez, Luger (2004, p. 241) comenta que um SBC “usa conhecimento específico de um domínio de problema para conseguir um desempenho com ‘qualidade de perícia’ naquela área de aplicação”.

Para a criação de um SBC, é sugerido que seu desenvolvimento deve ser concebido sob duas perspectivas: a do conhecimento, e a simbólica. Sob o olhar do conhecimento, parte processável pelo homem, deve estar descrito o que o sistema deve fazer, enquanto que através da perspectiva simbólica, parte processável pelo computador, devem estar determinados os termos simbólicos com os quais o sistema irá atuar. É enfatizado também a importância de se realizar a análise e modelagem do método de resolução do problema de forma separada a representação deste método na forma computacional (REZENDE, 2003).

Ainda sobre o processo de resolução de problemas, existem dois tipos de operações usadas nesse processo. A primeira operação é a capacidade de raciocínio, ou seja, a interpretação do conhecimento para chegar a conclusão, porém o uso restrito desta capacidade é ineficaz quanto a resolução adequada de problemas (REZENDE, 2003). Com essa finalidade então é feito uso da segunda operação, que é utilizada para guiar o processo de raciocínio.

Trata-se do método para resolução de problemas, que constitui por si só uma classe do conhecimento: o conhecimento sobre como resolver o problema. Dentro desta operação, a capacidade de raciocínio passa a ser denominada como estratégia de raciocínio ou estratégia de inferência (REZENDE, 2003).

A categoria de métodos faz uso de heurísticas, que é, de acordo com Russell e Norvig (2004, p. 94), “uma estratégia que utiliza o conhecimento específico do problema, além da

definição do próprio problema, para encontrar soluções de forma mais eficiente que uma estratégia sem informação”.

A eficiência de heurísticas é dependente da experiência das pessoas na resolução de problemas. Desta forma, o uso conjunto do conhecimento sobre como resolver problemas, o conhecimento em si sobre esses problemas, aliado com a estratégia de raciocínio constituem o conceito usado para um SBC atuar de maneira inteligente (REZENDE, 2003).

Rezende (2003) resume as características específicas de um sistema baseado em conhecimento:

- Fazer perguntas ao usuário visando reunir as informações necessárias.
- Criar linhas de raciocínio para encontrar soluções, usando do conhecimento nele contido para tal.
- Esclarecer seu raciocínio de forma compreensível para o usuário, dando explicações, caso requeridas, de porquê e como chegou em suas conclusões.
- Aceitar a possibilidade de errar em suas conclusões. Porém, o sistema deve alcançar um desempenho satisfatório que compense seus erros.

Existe a possibilidade, embora incomum, de sistemas convencionais apresentarem as propriedades acima citadas. Rezende (2003) ressalta ainda as características fundamentais que difere os SBC dos outros tipos de sistemas. São estas:

- Todas as informações sobre o problema devem estar explicitamente representadas na base de conhecimento do sistema.
- A base de conhecimento deve ser utilizada por um agente capaz de interpretá-la de forma correta, para que desta forma, a representação tenha sentido, tal agente é conhecido como mecanismo de inferência.
- Os problemas a serem resolvidos por um SBC são aqueles que não podem ser feitos por procedimento determinísticos em relação à efetividade quanto a limitações de tempo e recurso.

A partir das características apresentadas, é possível sintetizar que os SBC se distinguem de outros sistemas quanto a forma que são organizados, a incorporação de conhecimento, a execução de processos e a interação com seus usuários.

3.1.1 Tipos de aplicações de SBC

Os SBC podem ser aplicados nos mais diversos ramos, desde a engenharia, medicina e até área comercial. Com isso, os métodos de resolução de problemas aplicados pelos SBC

variam de uma área de aplicação para outra. Rezende (2003) apresenta algumas classes de tarefas nos quais esses sistemas têm sido aplicados.

- **Interpretação:** consiste na análise de dados para determinação de seu significado.
- **Classificação:** consiste no processo de determinação de falhas em um sistema, dado um sistema de sintomas.
- **Monitoramento:** consiste no processo de observação contínua de comportamento de um sistema a fim de realizar ações quando alguma situação específica acontece.
- **Planejamento:** consiste no processo de determinação da sequência de ações que devem ser realizadas para atingir uma dada meta.
- **Projeto:** consiste no desenvolvimento das especificações de um objeto, de maneira a satisfazer um dado conjunto de requisitos.

Dois exemplos de aplicação da classe de classificação, tipo de sistema a ser desenvolvido neste trabalho, são: diagnóstico de doenças em seres vivos em aplicações médicas e detecção de falhas em máquinas.

3.1.2 Estrutura geral de um SBC

Não necessariamente todos os SBC devem ter a mesma estrutura, porém todos apresentam componentes comuns de forma geral, dentre eles estão os módulos principais responsáveis pelo armazenamento da base de conhecimento assim como o mecanismo de inferência. A Figura 5 apresenta a estrutura de um SBC, e seus principais componentes são conceituados em seguida, conforme as definições de Rezende (2003).

Figura 5 – Estrutura de um sistema baseado em conhecimento.



Fonte: Adaptado de Rezende (2003, p. 23)

3.1.2.1 Núcleo do sistema baseado em conhecimento (NSBC)

Responsável por desempenhar as principais funções do SBC, dentre elas estão o controle da interação com o usuário ou, em certos casos, equipamentos externos, processamento do conhecimento conforme uma linha de raciocínio, assim como a justificativa

ou explicação sobre as conclusões obtidas. O NSBC é formado por três submódulos principais e independentes, que podem trabalhar de forma conjunta ou individualmente.

O módulo coletor de dados tem como objetivo a interação com o usuário ou equipamento externo com a tarefa de extrair informações por meio de perguntas de modo sucessivo. A partir da ativação deste módulo pelo motor de inferência, o motor coletor de dados realiza questionamentos ao mesmo tempo que valida as respostas obtidas baseando-se parâmetros estabelecidos.

O motor de inferência possui a função de realizar o raciocínio a partir das informações adquiridas pelo módulo coletor de dados e do conhecimento representado na base de conhecimento. O motor de inferência opera sobre a linguagem de representação da base de conhecimento executando buscas sempre que necessário.

O módulo de explicações é responsável pelas justificativas e esclarecimentos sobre as conclusões alcançadas assim como os motivos sobre os quais o sistema fez perguntas específicas. As perspectivas das explicações dadas por este módulo passam por: *por que, como, o que acontece se, e porque não* a respeito das conclusões alcançadas.

3.1.2.2 Base de conhecimento

Neste módulo está representado todo o conhecimento sobre um domínio específico, descrito explicitamente através de uma linguagem processável pelo computador. Esta representação deve ser feita de forma compatível ao modo de operação do NSBC. Devem aqui estar contidas afirmações sobre o domínio de conhecimento, as regras e relações nesse domínio, além de heurísticas e métodos de resolução de problemas.

Russell e Norvig (2004) afirmam que o componente principal de um sistema baseado em conhecimento é a sua base de conhecimento, que é formada um conjunto de sentenças (“sentenças”, neste caso, possui um sentido técnico) expressas em uma linguagem específica, denominada linguagem de representação de conhecimento, na forma de afirmações sobre o domínio do problema.

A linguagem de representação de conhecimento pode ser baseada em técnicas como: regras de produção, redes semânticas, *frames* e lógica. Existe também a possibilidade de se realizar uma representação híbrida a partir da combinação de técnicas (REZENDE, 2003).

3.1.2.3 Memória de trabalho

A memória de trabalho registra todas as respostas fornecidas pelo usuário durante a toda interação realizada com o mesmo, desta forma o sistema evita que a mesma pergunta seja respondida mais de uma vez. A memória de trabalho também guarda toda a sequência de

passos de raciocínio e conclusões já atingidas até dado momento (REZENDE, 2003). Devido a essas características, o uso da memória de trabalho abrange as seguintes vantagens:

- Fornece ao usuário toda a linha de raciocínio usada para obter as conclusões alcançadas.
- Evita a realização de perguntas redundantes.
- Evita também a repetição de linhas de raciocínio.

A memória de trabalho registra todo o tipo de operação executada pelo sistema, como condições, conclusões, decisões e soluções.

3.1.2.4 Interface

A interface é responsável por realizar a comunicação entre o sistema e o usuário, realizando assim, a intermediação entre a representação interna do SBC e a representação cognitiva do usuário humano. É interessante que a linguagem apresentada pela interface seja a mais próxima possível da linguagem usada pelo usuário, visando a facilidade de se usar o SBC, assim como atingir a maior eficiência possível.

A combinação de linguagens podem ser um facilitador do uso e do entendimento do sistema pelo usuário. Tipos de mídia como áudio, vídeo, texto, imagem e gráficos quando usados de forma conjunta levam ao usuário um ambiente mais amigável e apropriado para a interação com o sistema (REZENDE, 2003).

3.1.3 Representação de conhecimento

Luger (2004, p. 199) comenta que as inferências na base de conhecimento precisam ser compatíveis com os resultados das ações no mundo real, e afirma que “os objetos, as relações e as inferências computacionais disponíveis para os programadores são mediados pela linguagem de representação de conhecimento”.

De acordo com Rezende (2003, p. 29), “uma representação do conhecimento pode ser entendida como uma de forma sistemática de estruturar e codificar o que se sabe sobre uma determinada aplicação”. A representação de conhecimento deve apresentar as seguintes características:

- Ser compreensível pelo ser humano, já que em casos de avaliação do sistema, a representação deve poder ser interpretada.
- Abstrair-se dos detalhes de como o conhecimento será processado internamente.
- Permitir sua utilização mesmo que não estejam determinadas todas as possibilidades relativas ao domínio.

- Ser generalizável, de modo que exista vários pontos de vista sobre o conhecimento para que possa ser atribuída diferentes situações e interpretações.

Apesar de não existir uma teoria geral sobre representação de conhecimento, diversas técnicas foram desenvolvidas com o intuito de tornar a representação coesa de forma lógica, além de conveniência notacional. Os conceitos de algumas das técnicas mais frequentemente usadas neste âmbito são apresentados a seguir.

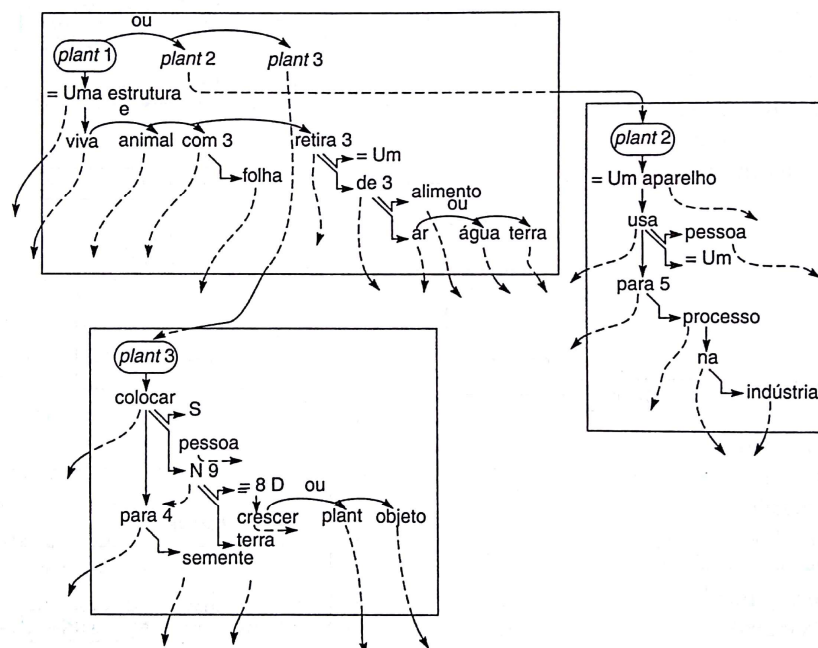
3.1.3.1 Redes Semânticas

Luger (2004) comenta que os primeiros trabalhos envolvendo redes semânticas como forma de representação de conhecimento foram feitos nos anos 60. Um dos programas mais influentes foi feito com a ideia similar a de um dicionário, ou seja, apresentar o significado de palavras as relacionando com outras palavras. Porém, ao contrário de dicionários comuns, as definições não são feitas a partir de axiomas básicos, e sim conforme a conduções desestruturadas através de uma rede de palavras que possuem relação semântica.

Neste programa, a base de conhecimento é organizada em planos contendo grafos individuais que definem cada palavra. A Figura 6 é uma adaptação feita por Luger (2004) que apresenta a organização da rede semântica descrita neste programa demonstrando as três diferentes definições da palavra em inglês *plant*.

Figura 6 – Definição da palavra *plant* em uma rede semântica.

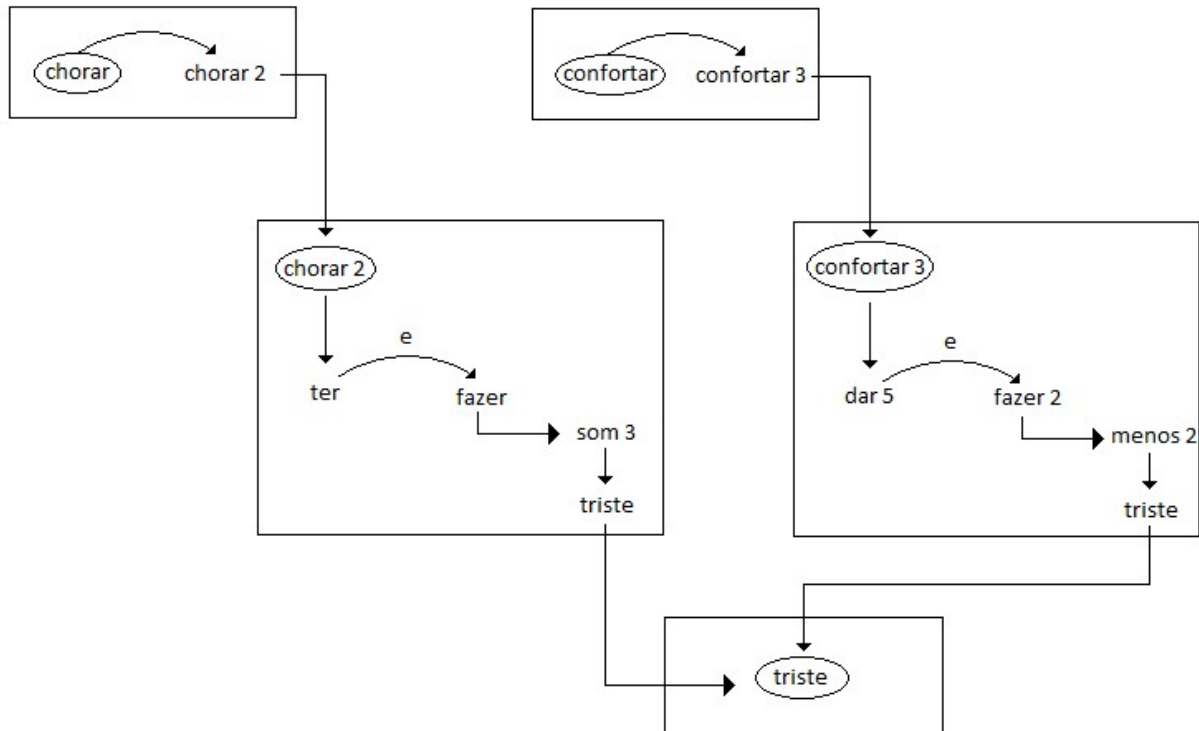
- Plant*: 1) Estrutura viva que não é um animal, freqüentemente com folhas, retira seu alimento do ar, da água ou da terra.
2) Aparelho usado em qualquer processo industrial.
3) Colocar (semente, planta, etc.) na terra para crescer.



Fonte: Luger (2004, p. 204)

Desta forma, o programa é capaz de encontrar relacionamentos entre duas palavras através da execução de uma busca, a partir do grafo individual de cada uma, por um conceito em comum que pode ser denominado de nó de interseção (LUGER, 2004). Ao final da busca, os caminhos que interligam as duas palavras demonstram a relação entre elas. Na Figura 7, é demonstrado o caminho encontrado da relação entre as palavras *chorar* e *confortar*.

Figura 7 – Interseção entre *chorar* e *confortar* em uma rede semântica.



Fonte: Adaptado de Luger (2004, p. 205)

De acordo com Luger (2004, p. 204), a partir deste caminho de interseção, o programa conclui que “*chorar 2 é, entre outras coisas, fazer um som triste. Confortar 3 pode ser fazer 2 um pouco menos triste*”. É possível notar que o nó de interseção encontrado para as duas palavras foi a palavra *triste*.

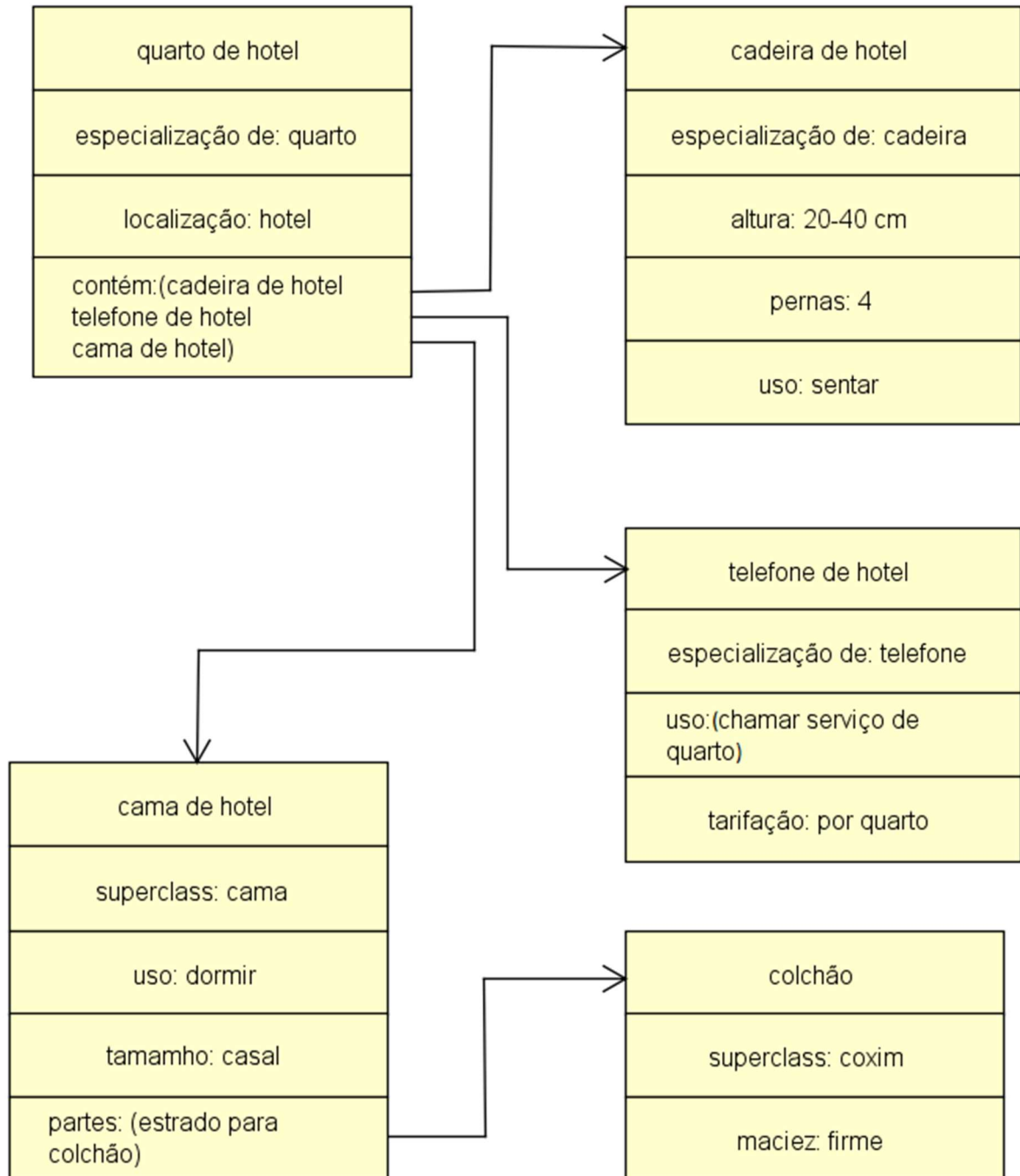
3.1.3.2 Frames

Frames são esquemas relacionais com a função de conter as conexões implícitas da informação sobre um problema em uma estrutura de dados organizadas, possibilitando a organização do conhecimento de maneira a refletir objetos do domínio (LUGER, 2004).

Luger (2004, p. 213) determina que “um frame pode ser visto como uma estrutura de dados estática usada para representar situações estereotipadas bem compreendidas”. Um exemplo da aplicação de frames para a representação de conhecimento pode ser tido da descrição de um quarto de hotel, onde sua representação é feita a partir de vários frames

individuais, como apresentado na Figura 8, que contém informações específicas que cada objeto relacionado ao ambiente de forma estereotipada.

Figura 8 – Descrição de um quarto de hotel através de frames.



Fonte: Adaptado de Luger (2004, p. 214)

Cada componente desta relação é um frame individual, que contém informações importantes, ao mesmo tempo que relativamente básicas na maioria das vezes, a serem consideradas sobre o objeto descrito, e segundo Luger (2004), podem ser:

- Identificação do frame.
- Relação entre frames distintos.

- Descrição de requisitos para um frame.
- Informação procedimental sobre o uso da estrutura descrita.
- Informações de tipo *default* (valores padrão) sobre um objeto.
- Nova informação de casos.

É notável a semelhança da organização de frames em relação a redes semânticas, porém em uma representação por frame é muito mais clara a descrição de atributos de um objeto em específico, uma característica importante na organização de uma base de conhecimento (LUGER, 2004).

3.1.3.3 Regras de Produção

Segundo Rezende (2003), o processo de tomada de decisão humano pode ser modelado por meio de regras do tipo *se condições então conclusões e ações*. Desta forma as regras podem ser usadas para expressar relações lógicas e equivalência de definições que simulam o raciocínio humano.

Na programação baseada em regras, o motor de inferência manipula regras e fatos para produzir novos fatos, e assim, utilizar novas regras para alcançar conclusões finais. Para isso, as regras de produção são estruturadas da seguinte forma:

SE <condições> ENTÃO <conclusões> FAÇA <ações>

A partir disso, é feita uma lista de condições, conclusões e ações para serem analisadas de acordo com seu sentido lógico. Todas as condições são verificadas, e conforme forem satisfeitas, as conclusões são consideradas verdadeiras, e a partir delas, ações são executadas.

Luger (2004, p. 175) apresenta a definição de sistemas de produção, que segundo ele é um sistema de computação que “fornece controle guiado por padrão de um processo de solução de problemas e consiste de um conjunto de regras de produção, uma memória de trabalho e um ciclo de controle do tipo reconhece-atua”.

Na composição de um sistema de produção, as regras de produção definem uma porção de conhecimento para a solução de um problema, a memória de trabalho guarda uma descrição do estado atual do processo de raciocínio e essa descrição é comparada com as condições das regras para executar as ações apropriadas para a resolução do problema, e o ciclo reconhece-atua trabalha como a estrutura de controle do sistema de produção que funciona comparando as soluções encontradas nas regras disponíveis de acordo com as descrições contidas na memória de trabalho e executa as soluções finais conforme às determina (LUGER, 2004).

Luger (2004) apresenta um exemplo de sistema de produção que faz uso de uma técnica de solução de problemas guiada por objetivo. Tal técnica consiste em fazer com que o sistema trabalhe retroativamente partindo do objetivo inicial, decompondo esse objetivo do problema em subproblemas mais simples, verificando as premissas e soluções relacionadas aos problemas até que todos sejam provados verdadeiros.

Podem existir casos em que o sistema não possui informação suficiente para determinar que uma premissa é verdadeira, neste caso é possível programar o sistema para que a confirmação seja feita por meio de perguntas diretas ao usuário com o objetivo de resolver subproblemas específicos (LUGER, 2004).

O exemplo apresentado por Luger (2004) trata-se de um pequeno sistema que faz a análise de problemas automotivos que realiza consultas ao usuário. Ressalta-se que é um exemplo apenas para demonstração do método guiado por objetivo, por isso sua característica simplória. A base de conhecimento deste exemplo é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Base de conhecimento do exemplo.

<p>Regra 1: se O motor está recebendo combustível e O motor tenta pegar Então O problema é vela.</p>
<p>Regra 2: se O motor não tenta pegar e As luzes não acendem Então O problema é bateria ou cabo.</p>
<p>Regra 3: se O motor não tenta pegar e As luzes acendem Então O problema é motor de partida.</p>
<p>Regra 4: se Houver combustível no tanque de combustível e Houver combustível no carburador Então O motor está recebendo combustível.</p>

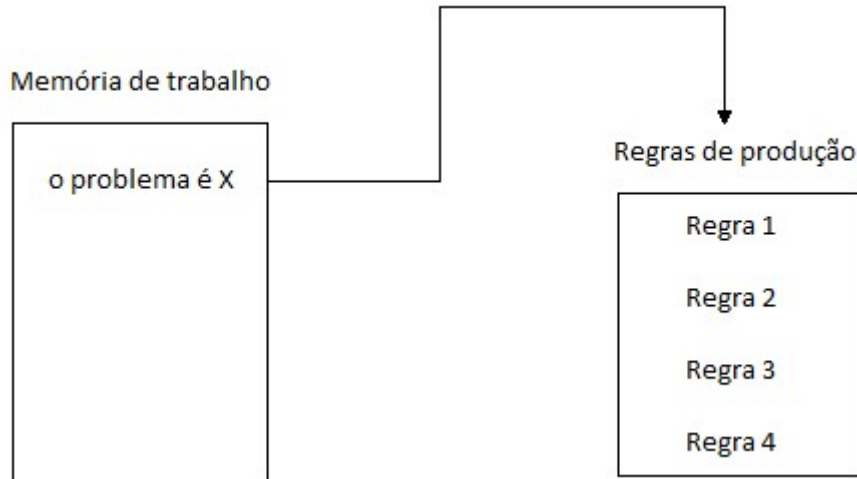
Fonte: Adaptado de Luger (2004, p. 251)

Primeiramente coloca-se o objetivo de mais alto nível na memória de trabalho, sendo ele “o problema é X”. Como demonstrado na Figura 9.

Desta forma, esta expressão é compatível com as três regras da base, neste caso, o sistema foi programado para selecionar a regra de melhor número em caso de conflitos devido à várias regras serem compatíveis, logo, a regra 1 é selecionada. Assim, as premissas e conclusões da regra 1 são colocadas na memória de trabalho, ou seja, o sistema escolheu

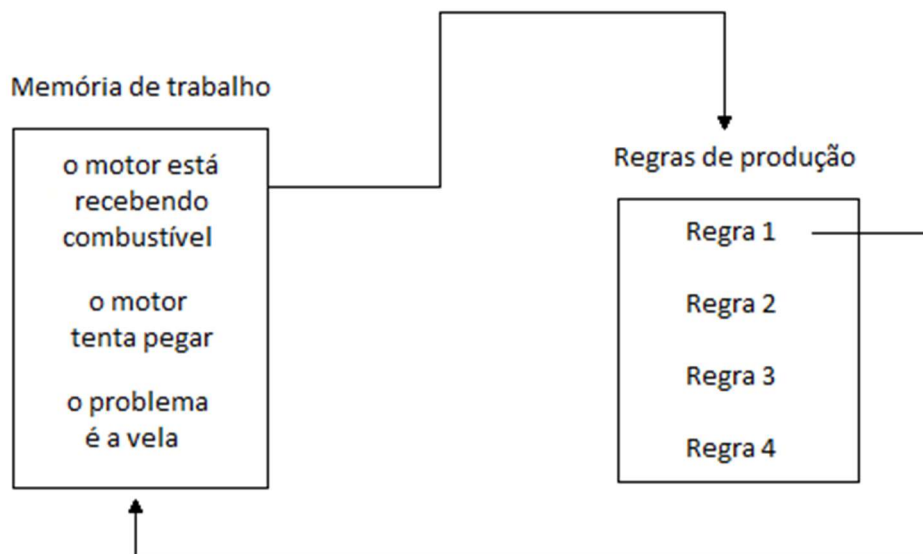
verificar a hipótese de que as velas estejam apresentando falhas, assim como demonstrado na Figura 10.

Figura 9 – Início da consulta ao sistema de exemplo.



Fonte: Adaptado de Luger (2004, p. 251)

Figura 10 – O sistema após a seleção da regra 1.



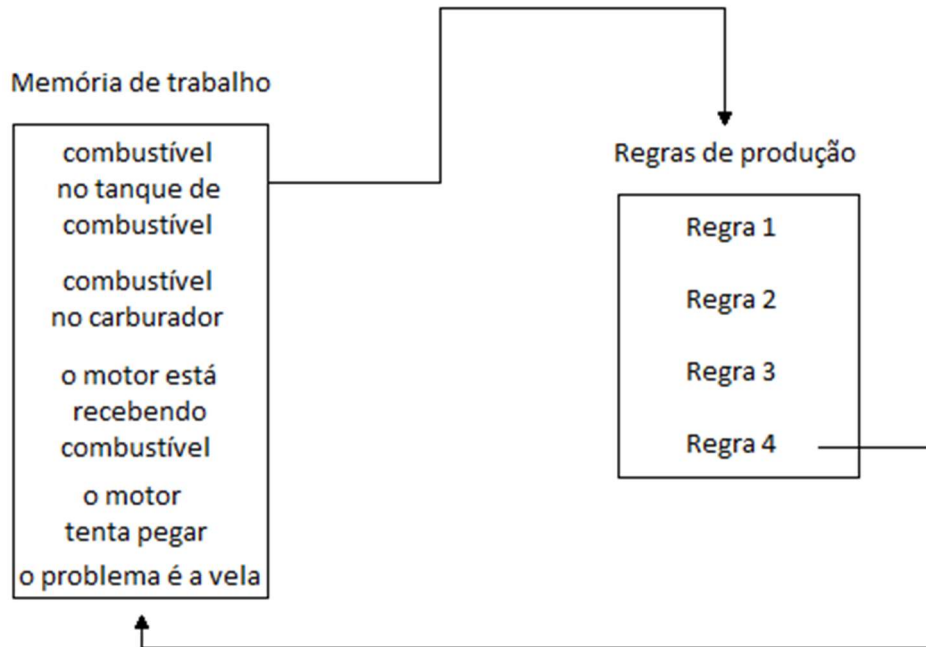
Fonte: Adaptado de Luger (2004, p. 252)

Assim, para que a conclusão da regra seja considerada verdadeira, duas premissas devem ser satisfeitas, ou seja, houve uma decomposição do problema em dois subproblemas. É possível notar que a premissa “o motor está recebendo combustível” é compatível com a conclusão da regra 4, e a partir disso este subproblema é então decomposto em dois outros subproblemas, sendo eles as premissas da regra 4. Logo, a regra 4 é colocada na memória de trabalho, como apresentado na Figura 11.

Neste estágio, nota-se que nenhuma das premissas contidas na memória de trabalho é compatível com as conclusões das outras regras. Neste caso é então acionado a consulta direta ao usuário para a confirmação da veracidade dos subproblemas existentes. Se as condições

forem confirmadas, o sistema determina que a conclusão da regra 1, “o problema é a vela”, é verdadeira.

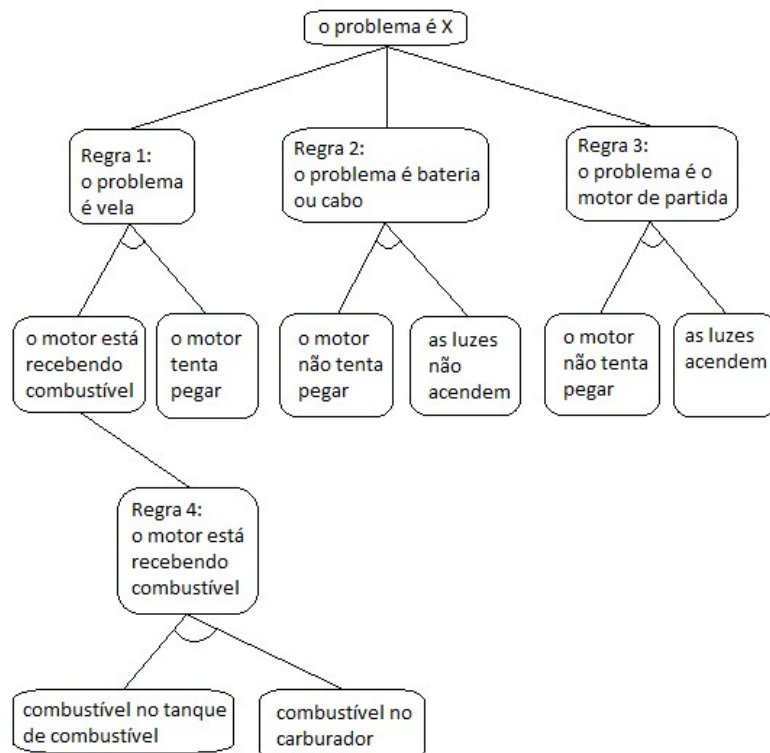
Figura 11 - O sistema após a seleção da regra 4.



Fonte: Adaptado de Luger (2004, p. 252)

Luger (2004) apresenta o grafo da solução, conforme a Figura 12, e determina que o sistema buscou o seu ramo mais à esquerda.

Figura 12 – Grafo baseado no exemplo automotivo.



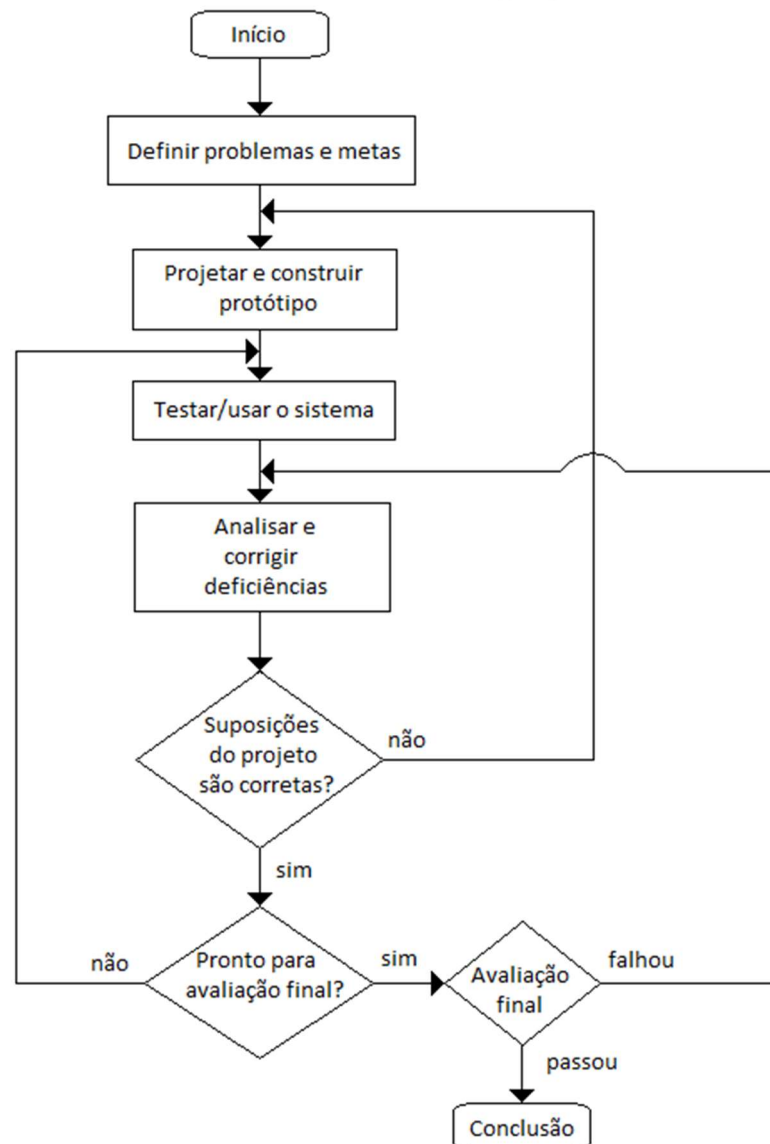
Fonte: Adaptado de Luger (2004, p. 253)

É ressaltado ainda que, por ser um exemplo simples, o sistema este sistema de exemplo não leva em consideração situações de implementação real, como por exemplo, o sistema estar descrito em português em vez de linguagem formal, assim como não apresentar um diagnóstico claro, sugestões de solução e a possibilidade de retrocesso de raciocínio.

3.1.4 Processo de desenvolvimento de um SBC

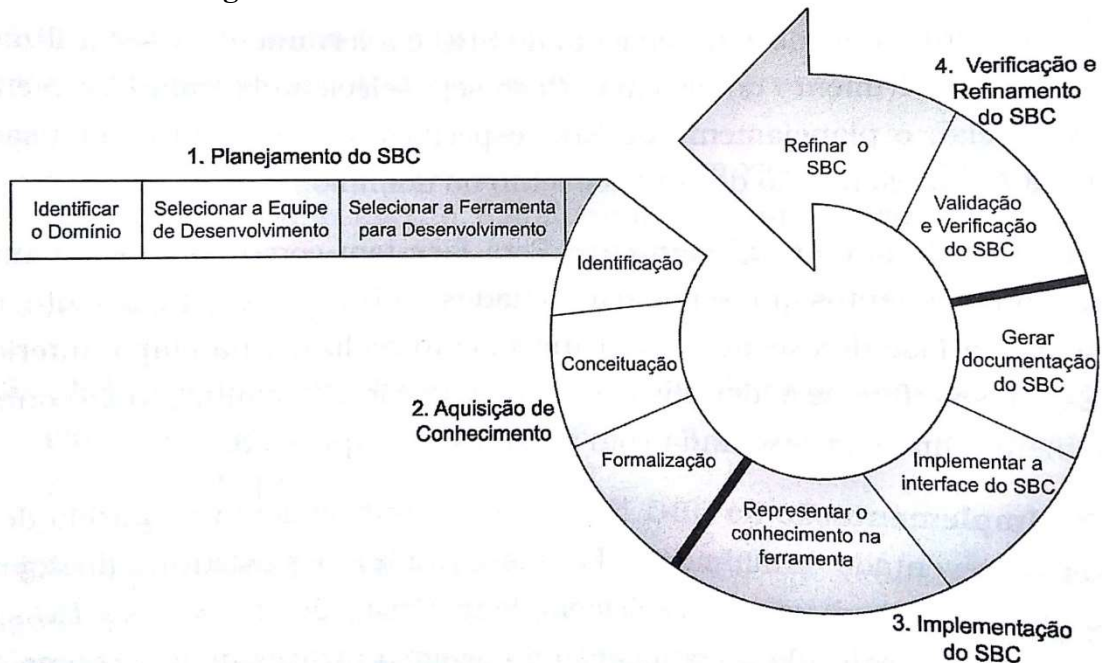
De acordo com Luger (2004), a construção de sistemas baseados em conhecimento requer um ciclo de desenvolvimento baseado em prototipação e em revisão incremental de código. Com isso, o processo de construção do sistema se dá a partir de sucessivas aproximações, e de acordo com os erros encontrados na execução do programa, acréscimos e correções são feitas à base de conhecimento. Um fluxograma para a representação do ciclo de desenvolvimento de programação de um SBC é apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Ciclo de desenvolvimento de programação de um SBC.



O processo descrito por Rezende (2003) demonstra os quatro passos para o desenvolvimento de um sistema baseado em conhecimento, seja esse projeto grande ou pequeno, e é representado na Figura 14.

Figura 14 – Processo de desenvolvimento de um SBC.



Fonte: Rezende (2003, p. 43)

As quatro fases são citadas e comentadas a seguir.

- a) **Planejamento:** fase em que é determinada o domínio do problema e seus conceitos. São determinados também os módulos e suas entradas e saídas. É definida aqui a equipe que trabalhará no projeto e que tipo de ferramenta será utilizada.
- b) **Aquisição de conhecimento:** fase que possui o objetivo de adquirir todo o conhecimento relativo ao domínio que será armazenado na base de conhecimento, sendo assim, trata da execução do planejamento realizado na fase anterior. Desta forma, esta etapa refere-se a identificação, conceituação e formalização do conhecimento.
- c) **Implementação do SBC:** fase na qual o conhecimento obtido é representado formalmente, utilizando da estrutura de representação do conhecimento para tal. Nesta fase também é feita a codificação do sistema, documentação, manuais e implementação da interface.
- d) **Validação e refinamento do SBC:** esta fase é considerada um processo contínuo, já que é necessário assegurar que o sistema trabalhe de forma correta em relação seus resultados, assim como satisfaça os requisitos do cliente.

Existe nesta etapa a possibilidade de se realizar mudanças no sistema, levando em consideração que a aquisição de conhecimento segue ainda sendo realizada.

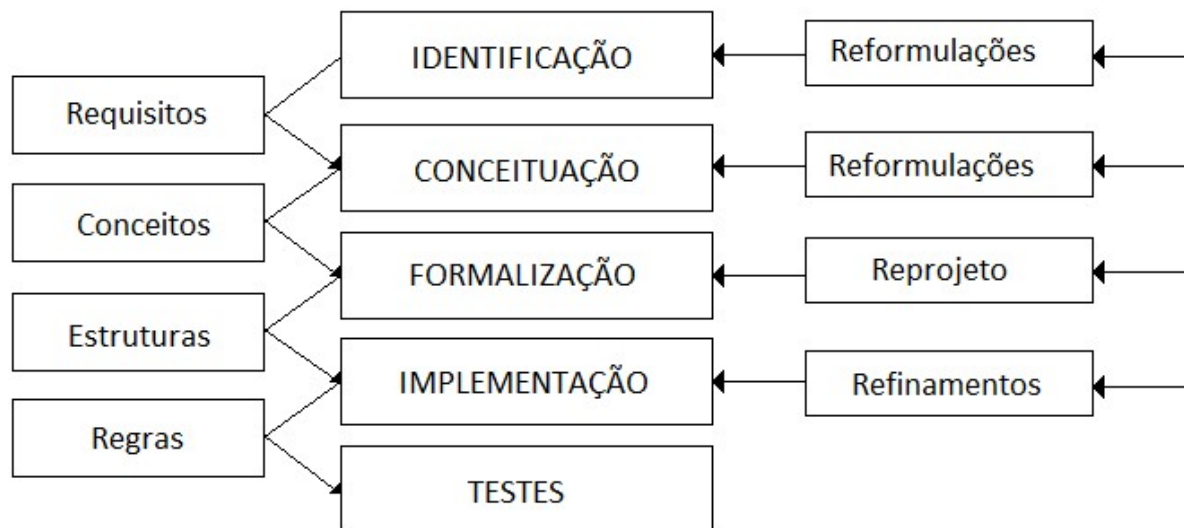
Ao analisar o desenvolvimento de um SBC com um todo, é notável que a aquisição de conhecimento é uma das etapas mais complexas e importantes dentro desse processo, devido ao propósito de nela se criar a base de conhecimento a ser utilizada pelo sistema. Devido a essa circunstância, a seguir são feitas considerações sobre os processos de identificação, conceituação e formalização dentro da fase de aquisição de conhecimento.

3.1.5 Aquisição de conhecimento

A aquisição de conhecimento é o processo de cooperação entre um agente humano responsável por desenvolver o SBC e a fonte humana do conhecimento, em outras palavras, a interação entre o projetista do sistema e o especialista no domínio. Nesse processo, o projetista tem a função de traduzir o conhecimento do especialista para uma base de conhecimento (REZENDE, 2003).

Rezende (2003) demonstra o processo de aquisição de conhecimento conforme suas fases, representadas na Figura 15, e entre elas estão a identificação, conceituação e formalização, sobre as quais são feitos comentários em seguida.

Figura 15 – Processo de aquisição do conhecimento.



Fonte: Adaptado de Rezende (2003, p. 55)

3.1.5.1 Fase de identificação

Nesta fase o projetista busca por elementos no domínio que identifiquem a classe do problema relacionado ao SBC, os dados com os quais o sistema irá operar, os critérios de classificação de soluções sob o contexto de funcionamento do sistema e a maneira como os problemas devem ser resolvidos. Para isso, o projetista trabalha a partir de levantamentos bibliográficos sobre o domínio em questão, assim como a realização de entrevistas com

especialistas no assunto visando um entendimento geral sobre o domínio e dos tipos de dados necessários para resolver o problema proposto ao sistema (REZENDE, 2003).

Para esta etapa, Rezende (2003) define três atividades a serem realizadas pelo projetista. A primeira delas é a solicitação aos especialistas de livros sobre o domínio a ser explorado que especifiquem métodos para resolver os problemas propostos ao sistema.

A segunda atividade a ser feita consiste em entrevistar especialistas, mesmo que de maneira informal, para se chegar a uma consistência de ideias sobre a necessidade, complexidade, terminologia utilizada sobre o problema em questão assim como a capacidade de cada especialista em tornar explícito o conhecimento do domínio.

Por fim, a terceira atividade consiste em também entrevistar os usuários que farão uso do sistema com o objetivo de formular o modelo interação usuário-sistema mais adequado.

Vale ressaltar que durante o processo de entrevistas é possível que o projetista esbarre em dificuldades para recuperar o conhecimento do especialista, isto se deve por alguns fatores que incluem a dificuldade para o especialista de salientar de forma completa todas as implicações do domínio devido a imersão consolidada do conhecimento em sua mente, assim como a dificuldade de se expor em palavras algum tipo de conhecimento que se encontra implícito em certas situações.

3.1.5.1.1 Entrevistas não-estruturadas

As entrevistas não-estruturadas devem ser feitas na fase de identificação, este tipo de entrevista é conduzida informalmente. Isto economiza tempo e possibilita conhecer mais rapidamente a estrutura do domínio do problema. Em contrapartida, normalmente não oferece uma descrição completa e organizada do problema (REZENDE, 2003).

3.1.5.1.2 Entrevistas estruturadas

As entrevistas estruturadas é uma abordagem significativamente mais produtiva. Esta abordagem é fundamentada em um processo sistemático orientado a um objetivo levando a uma comunicação organizada entre engenheiro e especialista, assim evitando distorções advindas de subjetividades (REZENDE, 2003).

3.1.5.2 Fase de conceituação

Nesta fase são formulados conceitos fundamentais sobre o problema assim como as relações entre tais conceitos sob as perspectivas de causa-efeito, espaço-tempo e parte-todo (REZENDE, 2003).

A etapa de conceituação é de grande importância para a representação do conhecimento porque com isso é possível distinguir a real relevância sobre uma matéria quanto a sua representação. Devido a isto, é aconselhável que o projetista não interrompa as

entrevistas e deva ir além, ao acompanhar e observar o especialista em seu trabalho e coletar casos para usar em testes (REZENDE, 2003).

A partir dessas atividades, o projetista iniciar a criação de hipóteses quanto aos dados que devem ser usados em interações de entrada e saída do sistema, o tipo de raciocínio mais adequado a ser aplicado e que tipo de SBC será aplicado, como por exemplo, classificação, interpretação ou monitoramento (REZENDE, 2003).

3.1.5.3 Fase de formalização

Esta é a fase na qual o projetista realiza a modelagem computacional do problema. Aqui o projetista deve escolher o formalismo que melhor representa os problemas e soluções. Nesta etapa também são definidos os métodos de busca no espaço de soluções, partindo da descrição do projetista com o uso de uma biblioteca de métodos (REZENDE, 2003).

Todas as operações devem ser expressas de modo explícito e claro, não são admissíveis múltiplas interpretações, inconsistências, incompletudes e imprecisões. Nesta etapa, segundo Rezende (2003), o projetista deve:

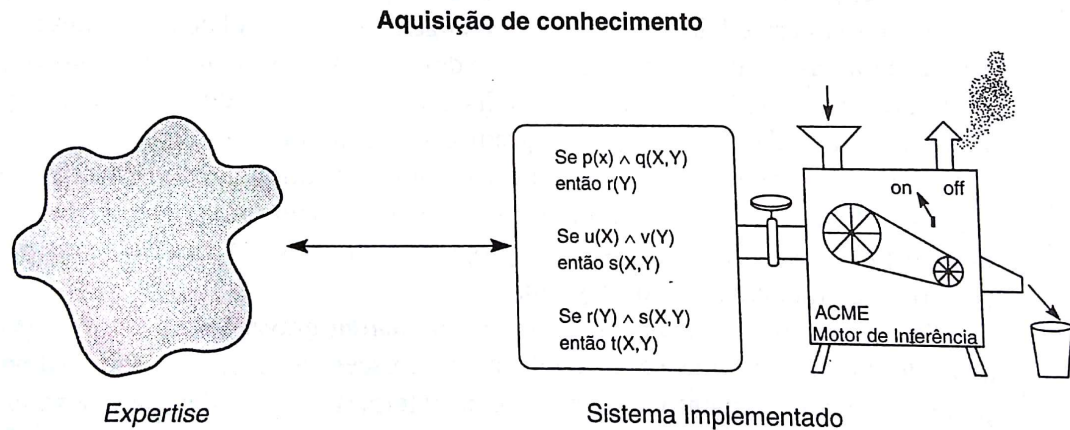
- Determinar o modelo de tarefa a ser adaptado.
- Definir a linguagem de representação a ser aplicado ao sistema.
- Determinar o espaço de busca do problema.
- Determinar o espaço de soluções do problema.
- Definir os métodos de busca.
- Entender as limitações do sistema.

É nesta fase em que é posta em prática a especialização do projetista de SBC, e a partir dos resultados alcançados no desenvolvimento do sistema, é obtido uma descrição do sistema que deve ser validada pelos especialistas, e com esse processo de validação é possível para o especialista ter a noção de como o projetista captou o domínio do problema e se o aplicou de forma coerente.

3.1.5.4 Modelos conceituais

O processo de aquisição de conhecimento pode ser simplificado pelo esquema apresentado na Figura 16, sobre um ponto de vista de, segundo Luger (2004), uma “primeira aproximação” no processo de formalização do conhecimento humano, o que pode ser denominado *expertise*.

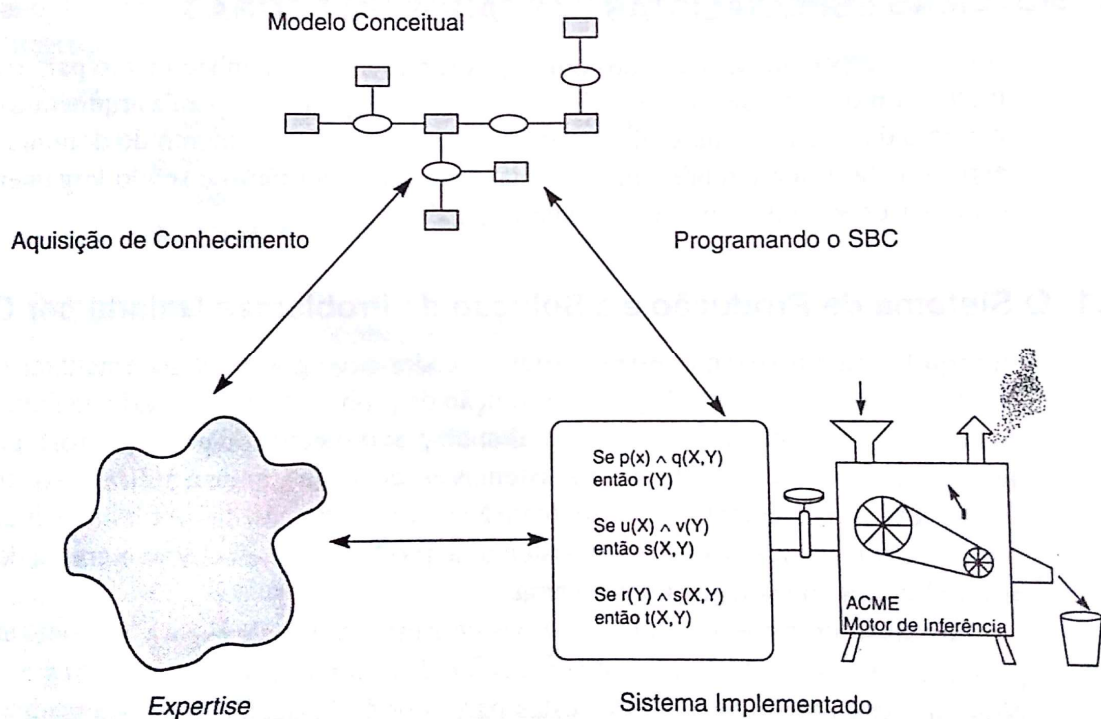
Figura 16 – Simplificação do processo de aquisição de conhecimento.



Fonte: Luger (2004, p. 247)

O projetista do sistema deve traduzir esta *expertise* para uma linguagem de formalização compatível com um sistema computacional, e para isso, a criação de modelos conceituais são de grande utilidade na intermediação entre a *expertise* humana e o programa implementado. A Figura 17 idealiza tal utilidade dos modelos conceituais no processo de formalização.

Figura 17 – Utilização de modelos conceituais na formalização do conhecimento.



Fonte: Luger (2004, p. 249)

Segundo Luger (2004, p. 248), um modelo conceitual é “a concepção evolutiva do engenheiro de conhecimento sobre o conhecimento do domínio”, e a partir dele é determinado a construção da base de conhecimento formal.

A principal função de um modelo conceitual é a restrição e codificação da habilidade humana, e é feito com base em algumas questões definidas que refinam as ideias até que se tornem em um sistema de regras claras e explícitas do tipo *SE <condições> ENTÃO <conclusões>*, e com o modelo finalizado é possível então iniciar o desenvolvimento do sistema (LUGER, 2004).

A partir dos conceitos e definições apresentados nos capítulos 2 e 3, o Capítulo 4 descreve o processo de aquisição de conhecimento realizado para o desenvolvimento de um protótipo que auxilia diagnósticos laboratoriais de anemia por meio de análises de hemogramas.

4 METODOLOGIA

O objetivo inicial deste trabalho é desenvolver uma plataforma de suporte, para executar a base de conhecimento e ter uma solução parcial do problema, ou seja, o sistema desenvolvido é apenas um protótipo. O motivo disso é que não faz parte dos objetivos deste trabalho contemplar todos os módulos que são necessários para que ele seja considerado um sistema baseado em conhecimento como definido por Rezende (2003). Por exemplo, o mesmo não terá o módulo de explicação, ele apenas simula a inferência a partir da base de conhecimento.

As etapas de aquisição de conhecimento, envolvidas no desenvolvimento de um sistema baseado em conhecimento, são: a identificação, onde se pesquisa as referências bibliográficas e a complexidade do problema; a segunda etapa é a conceituação que consiste na estruturação do conhecimento adquirido na etapa anterior por meio da criação de hipóteses quanto aos dados que devem ser usados em interações de entrada e saída do sistema; o terceiro passo do desenvolvimento é a formalização do sistema, onde foi elaborado o fluxograma que irá demonstrar os passos que serão tomados para chegar no diagnóstico laboratorial parcial; o quarto passo é a implementação, ou seja, a criação do software e, por fim, os testes para a validação do mesmo.

Os processos executados em cada uma das etapas serão descritos a seguir.

4.1 IDENTIFICAÇÃO

A fase de identificação é de suma importância para o desenvolvimento do sistema, é nesse passo que se define o problema que o sistema deverá solucionar.

A identificação do problema deu-se por meio de entrevistas não estruturadas com o especialista, onde o mesmo explicou a complexidade do problema, sobre o qual é necessário, além do hemograma, o parecer da consulta médica, onde se tem o exame físico do paciente.

Houve a necessidade de que o especialista indicasse bibliografias sobre anemia para que se pudesse entender mais sobre o assunto e para que se conhecessem os métodos de como chegar no diagnóstico laboratorial da anemia.

Ao fim da a pesquisa bibliográfica, foram aplicadas outras entrevistas com o especialista e, desta forma, decidiu-se, aliado com as situações patológicas relacionadas com as classificações de anemia apresentadas por Hoffbrand e Moss (2013) e Naoum ([200-?]), que a análise diagnóstica adequada a ser tratada pelo sistema consistia em diferenciar a anemia nas suas formas microcítica, normocítica e macrocítica ou identificar sua ausência.

Após esta explicação, o especialista comentou sobre a importância desse sistema no auxílio de médicos que estão iniciando, e que o sistema o auxiliará e irá evitar que o sejam

cometidas falhas ou deixem passar algum fator importante para o diagnóstico laboratorial da anemia.

4.2 CONCEITUAÇÃO

Nesta etapa, foram feitas entrevistas estruturadas com o especialista para identificar quais são os dados de entrada e os dados de saída do modelo. A lista de variáveis de entrada e saída é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - Variáveis de entrada e saída do sistema.

Nome	Domínio	Tipo de Variáveis	Status
Idade	1 - 95	Quantitativa Discreta	Entrada
Sexo	Feminino ou Maculino	Qualitativa Nominais	
Hemoglobina	0 - 25	Quantitativa Contínua	
Eritrócito	0 - 10	Quantitativa Discreta	
VCM	55 - 115	Quantitativa Discreta	
Diagnóstico	Anemia Microcítica, Anemia Normocítica, Anemia Macroscítica, Sem Anemia	Qualitativa Nominais	Saída

Fonte: Autores (2018)

Pode-se notar pelo Quadro 3 que alguns elementos que são discriminados na Tabela 2 (tópico 2.8) foram retirados. Estas variáveis foram retiradas pois considerou-se que não tinham relevância para o tipo de diagnóstico proposto do sistema, conforme informações relatadas pelo especialista. A partir dessa heurística obtida nas entrevistas, foram retirados o CHCM, RDW e índices relacionados aos recém-nascidos e pacientes de 1 a 11 meses.

A variável CHCM foi retirada por acusar apenas o nível de coloração dos eritrócitos. A utilização dessa variável seria redundante para o modelo, já que ela acusa se o paciente está ou não com anemia, porém a variável hemoglobina já faz esse papel.

O RDW demonstra a amplitude da distribuição de hemácias, este índice indica se a anemia é heterogênea ou homogênea, mas, como este não é o foco desta análise, foi retirado, podendo ser incluído em trabalhos futuros.

Outro fator retirado foi a análise dos casos relacionados aos recém-nascidos e os pacientes de 1 a 11 meses de idade. Eles foram suprimidos visto que, de acordo com o especialista, a solicitação de exame de sangue para essas duas faixas etárias não é comum, e por isso não seria interessante tratá-las no sistema.

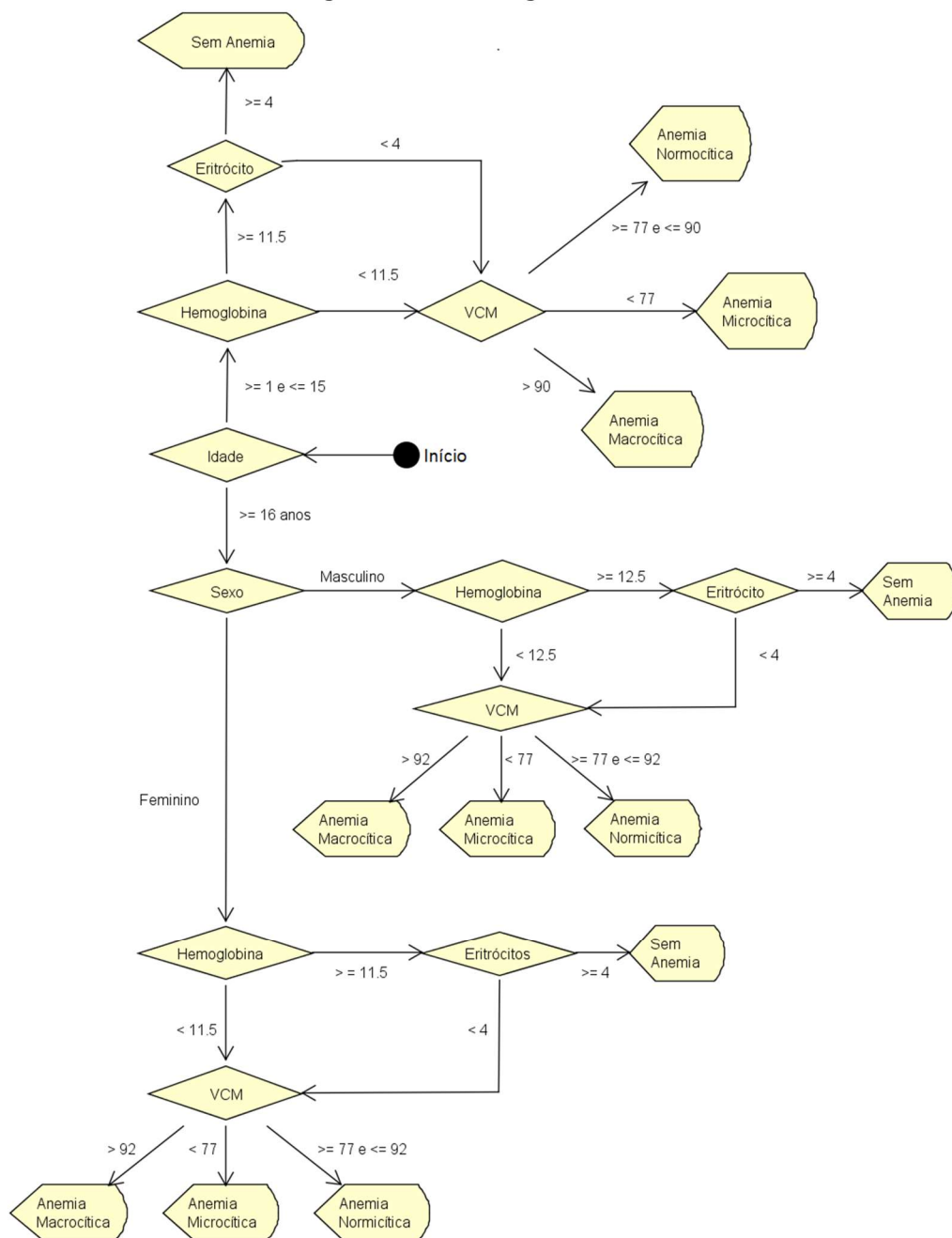
Os índices restantes foram aqueles considerados de suma importância para o diagnóstico parcial da anemia, e a partir deles e das informações reunidas nas etapas de identificação e conceituação, iniciou-se a etapa de formalização.

4.3 FORMALIZAÇÃO

Logo após a etapa de conceituação deu-se o início a formalização do fluxograma para, não apenas entender, mas pré-visualizar como o sistema iria se comportar.

Como já citado anteriormente, o fluxograma foi gerado a partir das entrevistas com o especialista e através das leituras bibliográficas. Com isso, foram criadas várias versões de fluxogramas, e cada um foi exposto ao especialista, que seguiu sugerindo mudanças até que se obteve o fluxograma final, apresentado na Figura 18. As versões que foram geradas para se chegar no fluxograma definitivo encontram-se nos apêndices A, B, C, D e E.

Figura 18 – Fluxograma final.



Fonte: Autores (2018)

O passo inicial do fluxograma de diagnóstico é referente à variável idade, já que ele divide os pacientes em dois grupos, o grupo de crianças e adolescentes, e o grupo de adultos. Para o grupo de adultos, o segundo passo é referente ao sexo, e este passo divide a análise em mais dois grupos, sendo estes entre os sexos masculino e feminino. O grupo de crianças e adolescentes não possui essa diferenciação de gêneros, devido a diferença entre os índices referentes a esta faixa de idade não serem relevantes.

Depois da definição de grupos demonstrada no parágrafo anterior, inicia-se a investigação da anemia por deficiência de hemoglobina, que é determinante. Dessa forma, a variável hemoglobina é a próxima da sequência de raciocínio do sistema. Se o paciente não está com anemia por deficiência de hemoglobina (valor referência de 12.5 para homens e 11.5 para crianças, adolescentes e mulheres, conforme descrito no fluxograma em análise), a próxima pergunta é sobre o eritrócito do paciente para verificar se o paciente está com anemia por deficiência deste índice, o que pode encerrar a investigação com o pré-diagnóstico de “sem anemia”. A última verificação, caso a situação anterior não se confirme, é dos valores indicados do VCM no hemograma, para fazer a distinção do tipo de anemia, se é microcítica, normocítica ou se é macrocítica, por fim dando o resultado parcial laboratorial da condição do paciente.

Por meio das entrevistas com o especialista verificou-se que embora não faça parte da fundamentação teórica, mas a mesma, por meio de sua experiência, indica que o eritrócito é um índice relevante diagnóstico laboratorial de anemia.

No fluxograma, foram utilizados os valores de referência apresentados por Naoum ([200-?]), demonstrados na Tabela 2 da seção 2.8. Há de se ter em mente que os valores de referência não são universais, e por este motivo é necessário que tais valores sejam adotados, havendo a possibilidade de em valores de outras fontes existam pequenas diferenças numéricas entre os índices.

O fluxograma demonstra os passos a serem tomados para que se obtenha o diagnóstico parcial sobre os três tipos de anemia, ou se não há indícios suficientes de anemia, também demonstra quais passos o sistema de regras irá executar.

Após a formalização do fluxograma iniciou-se a implementação do sistema.

4 IMPLEMENTAÇÃO

Foi utilizada para a criação do sistema a linguagem *Python*, por ser uma linguagem de fácil compreensão e intuitiva. Outro motivo para utilização dessa linguagem é a simplicidade, ou seja, requer menos linhas de código para concluir tarefas básicas e possui uma boa

legibilidade de código. A vasta documentação e a comunidade muito ativa em fóruns e em sites gratuitos também foram um fator muito importante para a escolha do *Python*.

O fluxograma, figura 18 no tópico 4.3, permite a construção de regras de classificação para compor a base de conhecimento do sistema. Segundo Halmenschlager (2002), as regras de classificação são estruturas apresentadas na forma de regras tipo *SE <condição> ENTÃO <conclusão>*.

Foi utilizada a técnica de inferência *forward-chaining*, que:

utiliza informação que já é conhecida, deriva novos fatos a partir dessas informações conhecidas e continua esse processo até atingir a meta ou até nenhuma regra adicional tenha premissas que correspondam ao fato conhecido ou derivado (SONG; JOHNS; AGGARWAL, 1997, p. 6).

Os primeiros testes das regras foram criados no software Expert Sinta para ter uma pré-validação sobre se as mesmas estavam de acordo com o fluxograma apresentado e para checagem de alguns casos. Algumas dessas regras estão demonstradas no Quadro 4.

Quadro 4 - Lista de regras (primeira versão) contidas no sistema Expert Sinta.

<p>REGRA 1</p> <p>SE Idade \geq 1</p> <p>E Idade \leq 2</p> <p>E Hemoglobina \geq 11</p> <p>E Hemoglobina \leq 14</p> <p>E Eritrócitos \geq 4</p> <p>E Eritrócitos \geq 5</p> <p>E Hematócrito \geq 34</p> <p>E Hematócrito \leq 42</p> <p>ENTÃO Resultado = Valores Normais</p>	<p>REGRA 2</p> <p>SE Idade \geq 3</p> <p>E Idade \leq 10</p> <p>E Hemoglobina \geq 11</p> <p>E Hemoglobina \leq 14</p> <p>E Eritrócitos \geq 4</p> <p>E Eritrócitos \geq 5</p> <p>E Hematócrito \geq 34</p> <p>E Hematócrito \leq 42</p> <p>ENTÃO Resultado = Valores Normais</p>
<p>REGRA 3</p> <p>SE Idade \geq 11</p> <p>E Idade \leq 15</p> <p>E Hemoglobina \geq 11</p> <p>E Hemoglobina \leq 14</p> <p>E Eritrócitos \geq 4</p> <p>E Eritrócitos \geq 5</p> <p>E Hematócrito \geq 34</p> <p>E Hematócrito \leq 42</p> <p>ENTÃO Resultado = Valores Normais</p>	<p>REGRA 4</p> <p>SE Idade $>$ 15</p> <p>E Sexo = Feminino</p> <p>E Hemoglobina \geq 11</p> <p>E Hemoglobina \leq 15</p> <p>E Eritrócitos \geq 4</p> <p>E Eritrócitos \geq 5</p> <p>E Hematócrito \geq 36</p> <p>E Hematócrito \leq 48</p> <p>ENTÃO Resultado = Valores Normais</p>

Fonte: Autores (2018)

As regras apresentadas no Quadro 4 foram importantes para o entendimento de como o raciocínio do sistema seria executado e foi o primeiro contato do especialista com o sistema sob a nossa supervisão. Nesse momento, o mesmo validou tanto as perguntas quanto as respostas do sistema.

O sistema que foi criado tem interação com usuário por meio de perguntas. O profissional é questionado sobre os valores obtidos no hemograma. O Quadro 5 indica a pergunta correspondente para cada variável de entrada do sistema.

Quadro 5 - Perguntas do sistema e suas respectivas variáveis.

Perguntas	Variáveis
Qual a idade do paciente?	Idade
Se o sexo do paciente for masculino aperte 1, caso for feminino aperte 2:	Sexo
Qual o valor da hemoglobina demonstrado no hemograma do paciente?	Hemoglobina
Qual o valor do eritrócito demonstrado no hemograma do paciente?	Eritrócito
Qual o valor do VCM demonstrado no hemograma do paciente?	VCM

Fonte: Autores (2018)

Após esse passo começou-se a criação do código na linguagem *Python*. A Figura 19 demonstra uma parte do código na linguagem escolhida e o caso de uso apresentado na Figura 20 demonstra o funcionamento do programa. O código completo é apresentado no apêndice F.

Figura 19 - Código na linguagem *Python*.

```

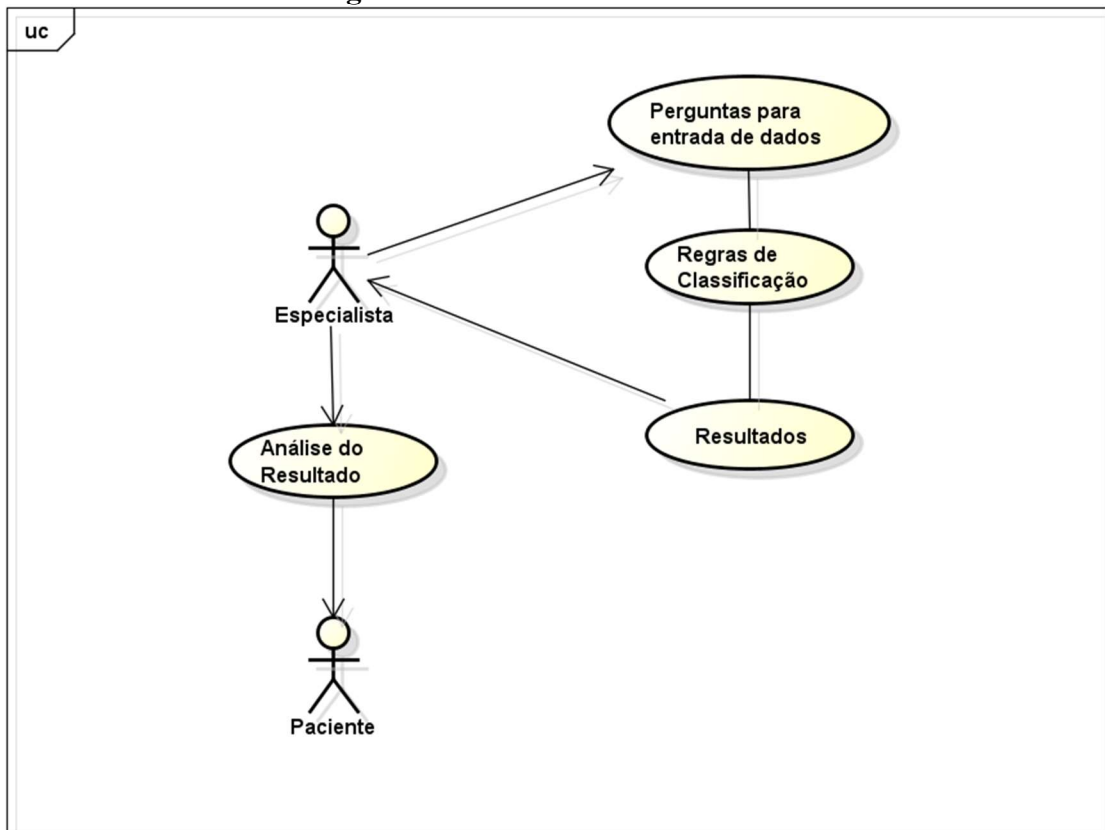
1 idade = float(input("Qual a idade do paciente? "))
2 #Pergunta sobre a idade entre 1 e 15 anos
3 if idade >= 1 and idade <= 15:
4     #Pergunta sobre o valor obtido do hemograma(sem eritrócito)
5
6     #Pergunta sobre hemoglobina
7     hemo1 = float(input("Qual o valor da hemoglobina demonstrado no hemograma do paciente? "))
8     if hemo1 < 11.5:
9         #Pergunta sobre VCM
10        VCM1 = float(input("Qual o valor do VCM demonstrado no hemograma do paciente? "))
11        #Anemia Normocítica
12        if VCM1 >= 77 and VCM1 <= 90: print("Diagnóstico parcial: Anemia Normocítica")
13        #Anemia Microcítica
14        if VCM1 < 77: print("Diagnóstico parcial: Anemia Microcítica")
15        #Anemia Macroscítica
16        if VCM1 > 90: print("Diagnóstico parcial: Anemia Macroscítica")
17
18    #Pergunta sobre o valor obtido do hemograma(com eritrócito)
19    elif hemo1 >= 11.5:
20        #Pergunta sobre eritrócito
21        eril = float(input("Qual o valor do eritrócito demonstrado no hemograma do paciente? "))
22        if eril < 4:
23            #Pergunta sobre VCM
24            VCM1 = float(input("Qual o valor do VCM demonstrado no hemograma do paciente? "))
25            #Anemia Normocítica
26            if VCM1 >= 77 and VCM1 <= 90: print("Diagnóstico parcial: Anemia Normocítica")
27            #Anemia Microcítica
28            if VCM1 < 77: print("Diagnóstico parcial: Anemia Microcítica")
29            #Anemia Macroscítica
30            if VCM1 > 90: print("Diagnóstico parcial: Anemia Macroscítica")
31        #Sem anemia
32        if eril >= 4: print("Diagnóstico parcial: Sem Anemia")

```

Fonte: Autores (2018)

Houve outro encontro com o especialista, onde o mesmo fez o teste de inferência desenvolvido, agora em *Python*, para obter a validação do mesmo tanto das perguntas quanto das respostas do sistema.

Figura 20 - Caso de uso do sistema.



Fonte: Autores (2018)

Após respondidas as perguntas necessárias para o diagnóstico ser obtido, o sistema irá mostrar o resultado parcial do paciente, onde o especialista da área fará a análise e o validará, assim repassando o diagnóstico para o paciente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entender o conceito de anemia e repassá-los para o computador em uma linguagem que o mesmo entenda é um processo demorado e árduo. Para que esse processo fosse mais fácil, rápido e, principalmente, fosse algo coerente, foi necessária a ajuda de um especialista na área para que o estudo fosse correto e validado.

Assim, o objetivo deste trabalho foi de conseguir entender esses conceitos, criar um protótipo de um sistema especialista que auxilie no diagnóstico laboratorial de anemia e validá-lo com o especialista na área. A ideia principal é criar mais um passo de verificação e, assim, minimizar as falhas nessa modalidade de diagnóstico

Dessa forma, o desenvolvimento do estudo apresentado possibilitou o entendimento das etapas necessárias à construção de um sistema baseado em conhecimento aplicado na área médica. Além disso, também permitiu o estudo de anemia e como aplicar e transmitir o conhecimento adquirido para a linguagem computacional, criando um fluxograma para o melhor entendimento e representação formal cognitiva do problema. Considera-se, portanto, que o objetivo do trabalho foi atingido, pois a representação obtida representa o raciocínio correto de um especialista na área enquanto faz a avaliação e diagnóstico de anemia a partir de hemogramas, de acordo com o referencial teórico estudado e com o especialista humano consultado.

No decorrer do desenvolvimento, a parte que requereu mais dedicação e esforço foi a concepção do fluxograma, pois atingir o nível de compreensão necessário acerca do problema do diagnóstico da anemia exigiu um estudo amplo de material bibliográfico da área e entrevistas com especialistas a fim de se obter informações embasadas na experiência, que não necessariamente constam em outras fontes. O conhecimento adquirido foi formalizado para que o computador entendesse esse conhecimento. E, por meio de um fluxograma, a inferência do programa foi desenvolvida.

A interação do usuário com o sistema foi pensada como um questionário e a partir das respostas obtidas deveria ter-se o resultado correto, assim auxiliando o profissional da área no diagnóstico laboratorial de anemia. Por meio do especialista tivemos a validação positiva, tanto da forma de interação com o software (perguntas) quanto da acurácia das respostas e do fluxo do sistema. O sistema conseguiu realizar o que se propõe, que é um diagnóstico laboratorial preliminar por meio do resultado do hemograma, para anemia normocítica, microcítica e macrocítica, ou a ausência de anemia.

O software proposto foi desenvolvido para auxiliar os médicos na forma de dar mais um passo de verificação, assim minimizando as falhas no diagnóstico de anemia.

O sistema apresentado neste trabalho não pode ser considerado finalizado, pois ainda é um protótipo e faltam etapas para que ele seja considerado um sistema baseado em conhecimento completo. Assim, pretende-se fazer aperfeiçoamentos, melhorando o trabalho que foi desenvolvido até agora. Uma das limitações presentes no mesmo é a sua interface ainda rudimentar.

Alguns pontos que poderiam ser futuramente desenvolvidos seriam:

- A criação da interface mais robusta e intuitiva com o usuário;
- Substituir a interação via questionário por uma integração direta com o banco de dados do laboratório, para carregar os índices utilizados e apresentar o diagnóstico parcial;
- Efetuar testes de usabilidade com os possíveis usuários do software;
- Aumentar a especificidade da análise de classificação de forma a identificar se é anemia homogênea ou heterogênea;
- Ampliar a atuação do sistema na construção e montagem do documento do hemograma, com o diagnóstico parcial já presente para validação e assinatura do profissional responsável, aumentando a eficiência do processo;
- Coletar casos diagnósticos de anemia em quantidade suficiente para executar a construção de uma base de treinamento para aprendizagem de máquina (como redes neurais artificiais, árvores de decisão para a indução das regras, raciocínio baseado em casos, entre outros);
- Implementação dos demais módulos do sistema baseado em conhecimento, como módulo de explicação, por exemplo.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Paula. Falhas em hospitais matam mais que o câncer, a violência e o trânsito. **Jornal Hoje**. São Paulo, 22 nov. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2017/11/falhas-em-hospitais-matam-mais-que-o-cancer-violencia-e-o-transito.html>>. Acesso em: 31 maio 2018.

BARRETO, Jorge Muniz. **Inteligência Artificial No Limiar do Século XXI: Abordagem Híbrida, Simbólica, Conexionista e Evolucionária**. 2. ed. Florianópolis: J. M. Barreto, 1999.

GHOSH, Pallab. Inteligência artificial pode levar ao diagnóstico precoce de doenças cardíacas e câncer de pulmão. Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.bbc.com/portuguese/geral-42537252>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

HALMENSCHLAGER, C. **Um Algoritmo para indução de árvores e regras de decisão**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HAYKIN, Simon. **Redes Neurais: Princípios e Prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 898 p.

HOFFBRAND, A. V.; MOSS, P. A. H.. **Fundamentos em Hematologia**. 6. ed. [S. L.]: Artmed, 2013.

LORENZI, Therezinha F.. **Manual de Hematologia: Propedêutica e Clínica**. 4. ed. [S. L.]: Guanabara Koogan, 2006.

LUGER, George F.. **Inteligência Artificial: Estruturas e Estratégias Para a Solução de Problemas Complexos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

MARR, Bernard. The Top 10 AI And Machine Learning Use Cases Everyone Should Know About. Setembro, 2016. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/09/30/what-are-the-top-10-use-cases-for-machine-learning-and-ai/#2359ccf694c9>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

NAOUM, Paulo Cesar. **ANEMIAS – CLASSIFICAÇÃO E DIAGNÓSTICO DIFERENCIAL**. [200-?]. Disponível em: <http://www.ciencianews.com.br/arquivos/ACET/IMAGENS/anemias/Anemias_Classificacao_Diagnostico_Diferencial.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2018.

NOBESCHI, Alexandre. Saúde: como a inteligência artificial pode ajudar nos diagnósticos. Dezembro, 2016. Disponível em: <<https://epoca.globo.com/saude/noticia/2016/12/saude-como-inteligencia-artificial-pode-ajudar-nos-diagnosticos.html>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

REZENDE, Solange Oliveira. **Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações**. [S. L.]: Manole, 2003. 525 p.

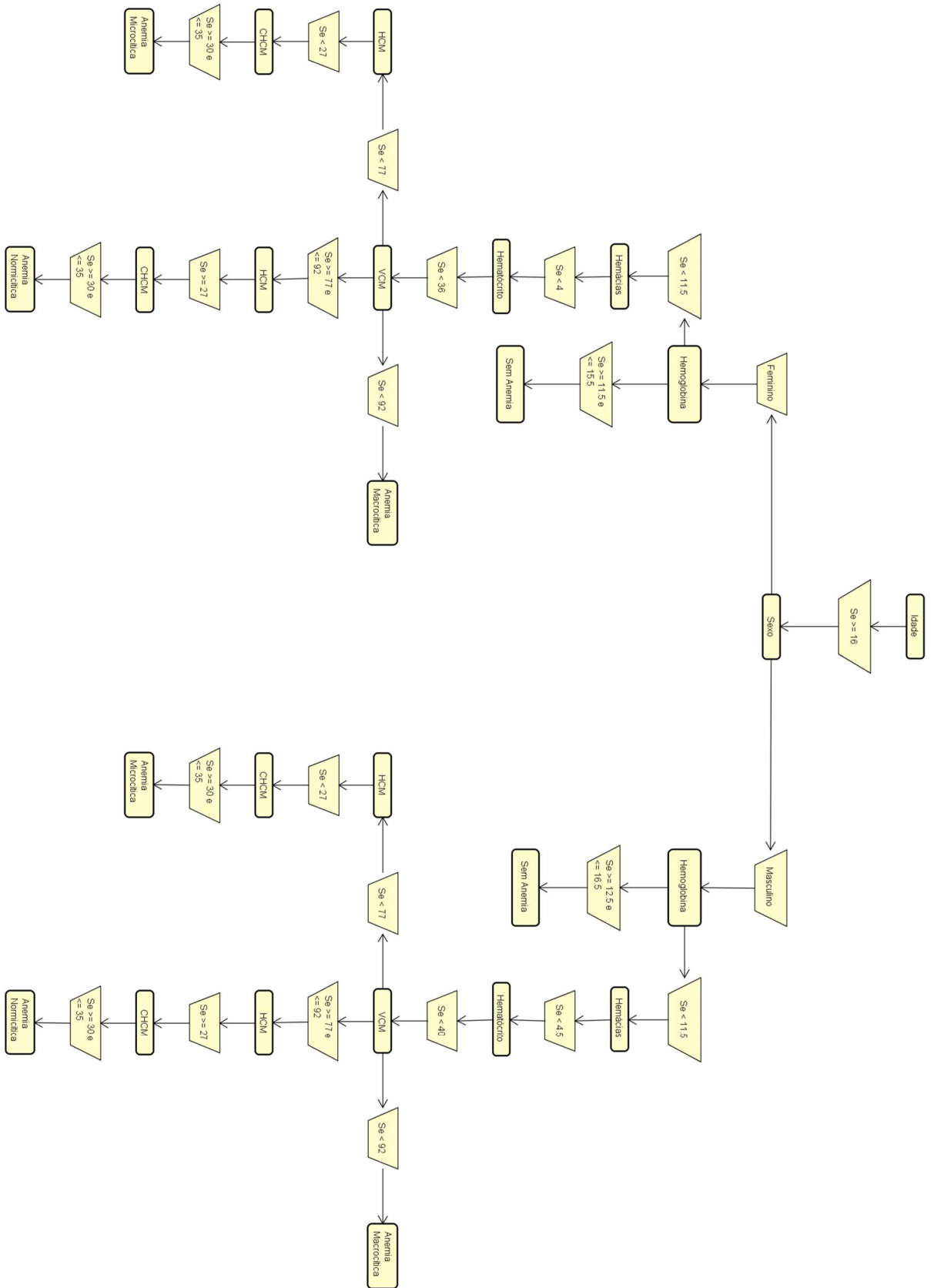
RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. 2. ed. [S. L.]: Elsevier, 2004.

SONG, Yong-hua; JOHNS, Allan; AGGARWAL, Raj. **Computational Intelligence Applications to Power Systems**. [S. L.]: Springer Science & Business Media, 1997. 162 p. (15).

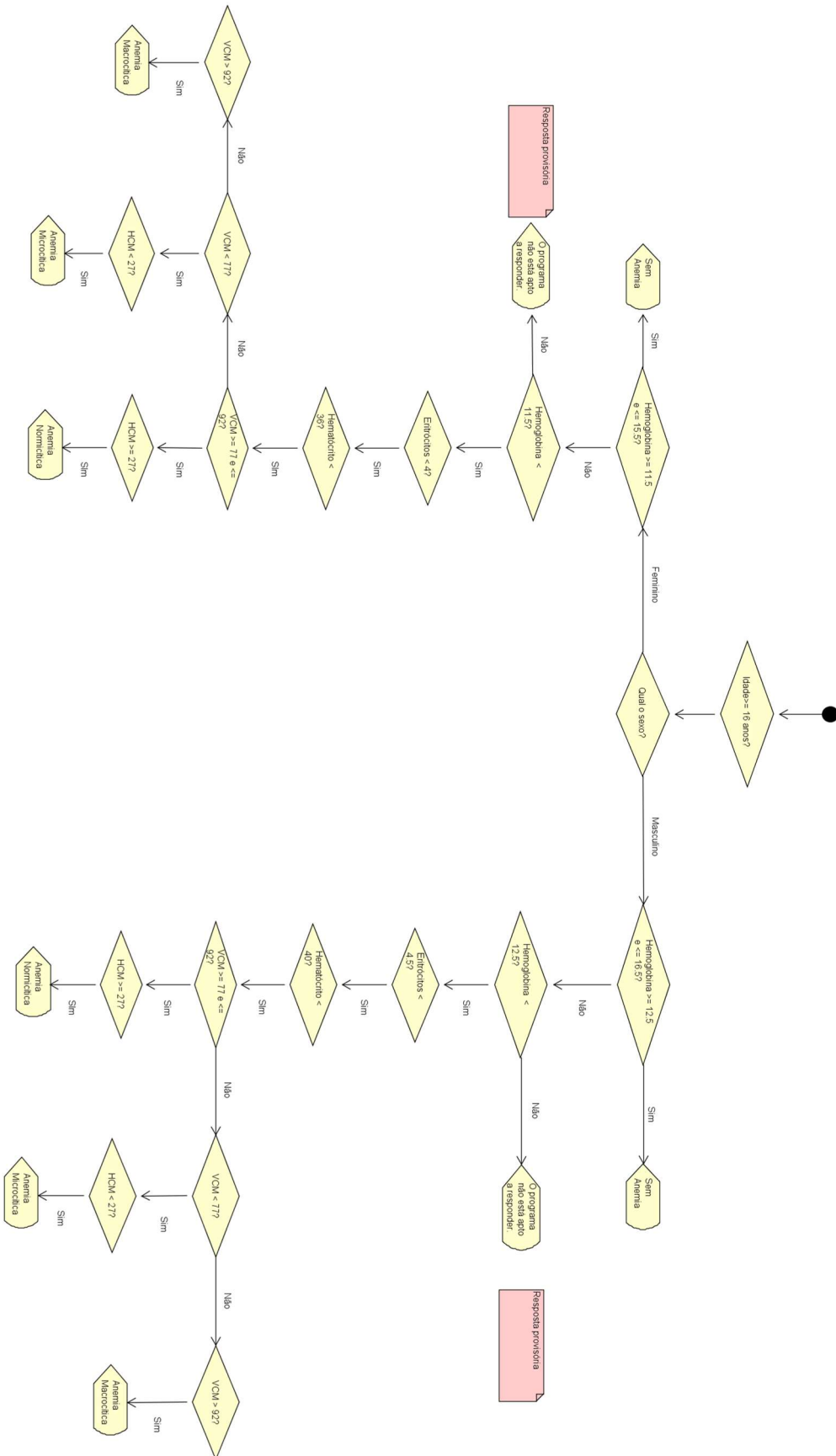
WALTER, Elizandra Goulart; SILVEIRA, Fabiana Cristina da; MORALES, Aran Bey Tcholakian. **SEAN - SISTEMA ESPECIALISTA EM ANEMIA**. [2000]. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001_TR68_0110.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2018.

ZINI, Gina. Artificial intelligence in Hematology. **Hematology**. [S. L.], p. 393-400. out. 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10245330410001727055>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

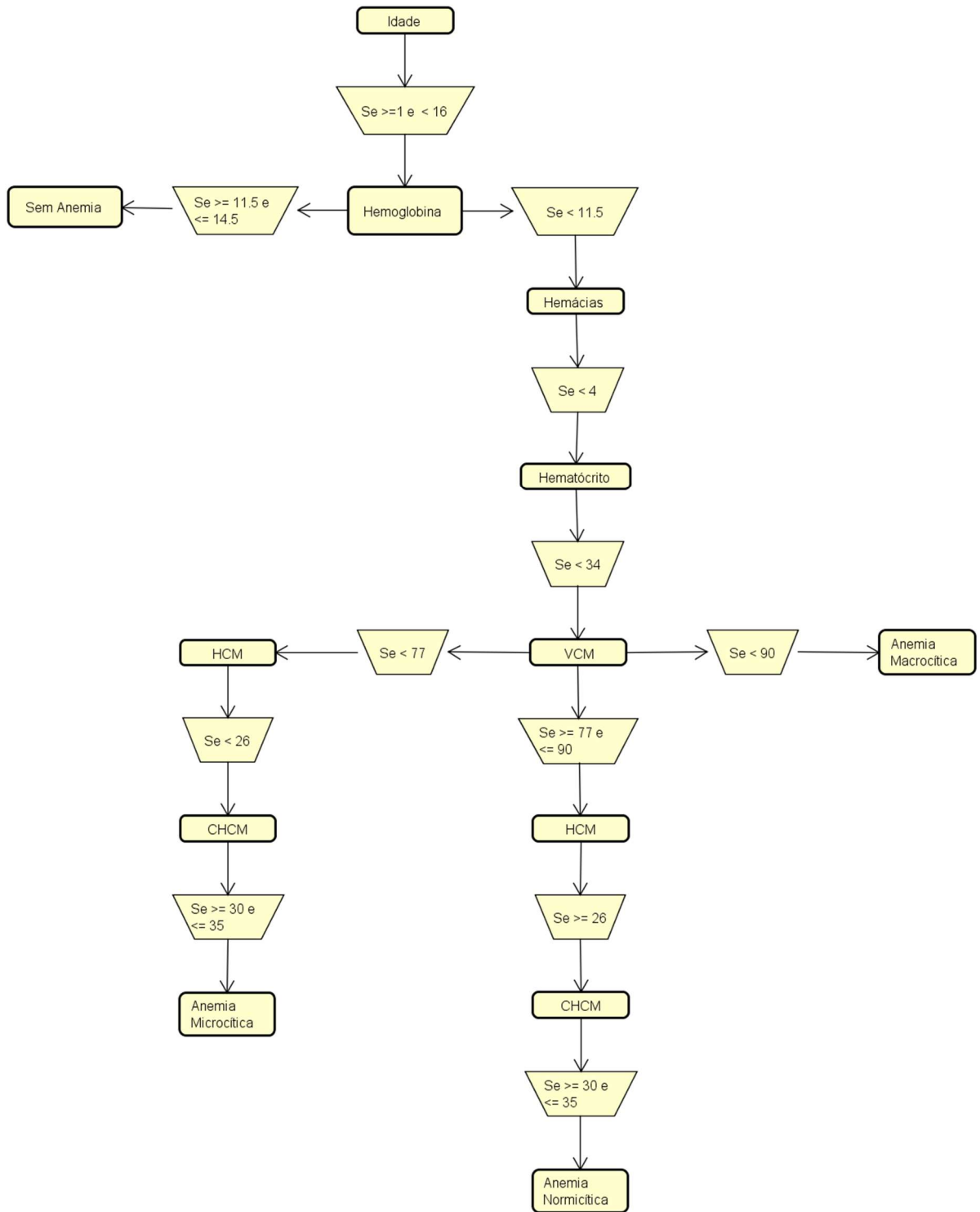
APÊNDICE A – Primeiro fluxograma elaborado (Adultos).

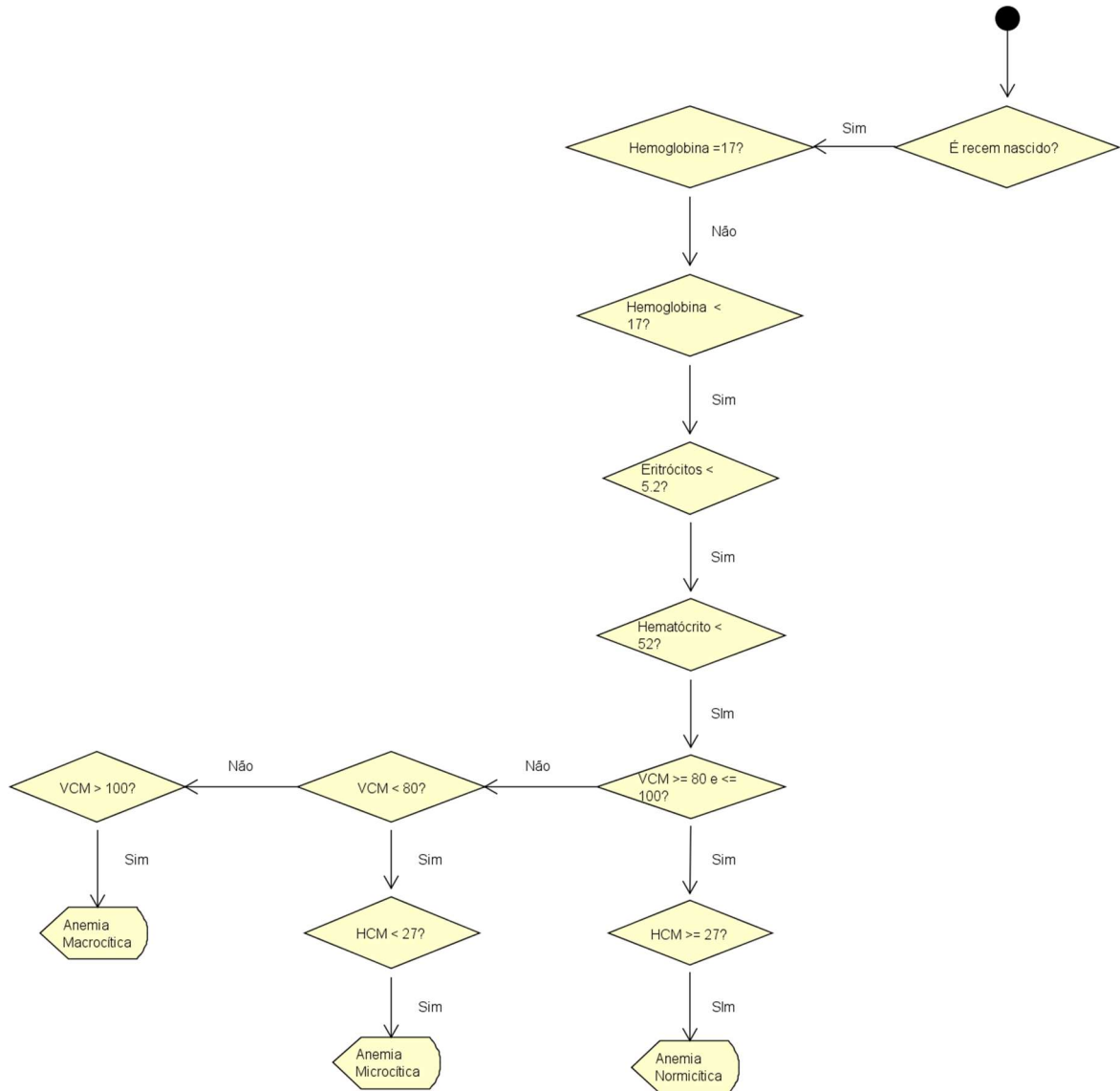


APÊNDICE B – Segundo fluxograma elaborado (Adultos).

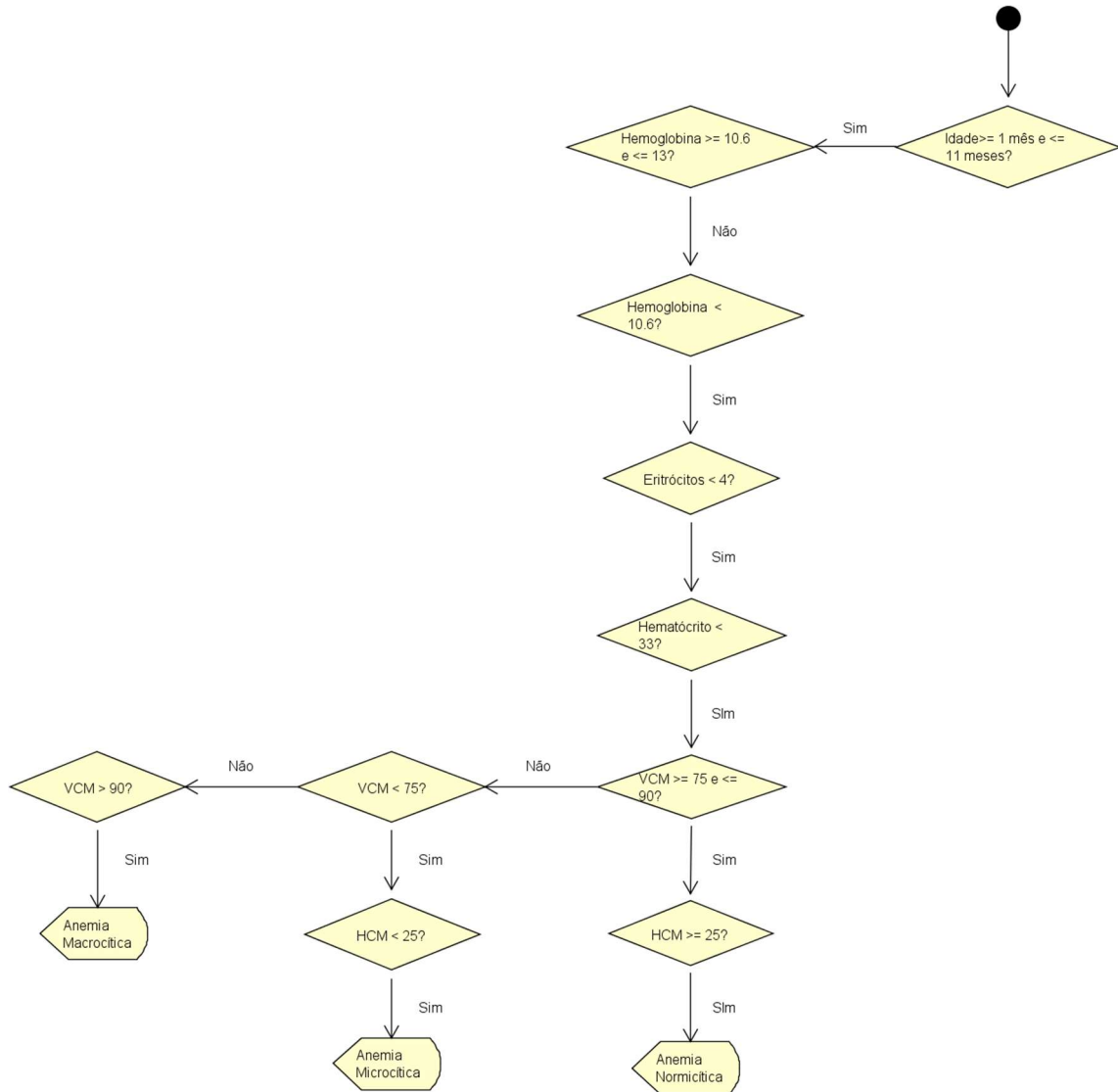


APÊNDICE C – Versão inicial de fluxograma para crianças e adolescentes.



APÊNDICE D – Ramo do fluxograma relativo a recém-nascidos (retirado).

APÊNDICE E – Ramo do fluxograma relativo à idade de 1 a 11 meses (retirado).



APÊNDICE F – Código Completo Na Linguagem *Python*.

```

idade = float(input("Qual a idade do paciente? "))
#Pergunta sobre a idade entre 1 e 15 anos
if idade >= 1 and idade <= 15:
    #Pergunta sobre o valor obtido do hemograma(sem eritrócito)

    #Pergunta sobre hemoglobina
    hemo1 = float(input("Qual o valor da hemoglobina demonstrado no hemograma do
paciente? "))
    if hemo1 < 11.5 and hemo1 >= 0:
        #Pergunta sobre VCM
        VCM1 = float(input("Qual o valor do VCM demonstrado no hemograma do paciente?
"))
        #Anemia Normocítica
        if VCM1 >= 77 and VCM1 <= 90: print("Diagnóstico parcial: Anemia Normocítica")
        #Anemia Microcítica
        if VCM1 < 77: print("Diagnóstico parcial: Anemia Microcítica")
        #Anemia Macroscítica
        if VCM1 > 90: print("Diagnóstico parcial: Anemia Macroscítica")

    #Pergunta sobre o valor obtido do hemograma(com eritrócito)
    elif hemo1 >= 11.5 and hemo1 <= 25:
        #Pergunta sobre eritrócito
        eri1 = float(input("Qual o valor do eritrócito demonstrado no hemograma do paciente?
"))
        if eri1 < 4 and eri1 >= 0:
            #Pergunta sobre VCM
            VCM1 = float(input("Qual o valor do VCM demonstrado no hemograma do paciente?
"))
            #Anemia Normocítica
            if VCM1 >= 77 and VCM1 <= 90: print("Diagnóstico parcial: Anemia Normocítica")
            #Anemia Microcítica
            if VCM1 < 77: print("Diagnóstico parcial: Anemia Microcítica")
            #Anemia Macroscítica

```



```

    if VCM1 > 90: print("Diagnóstico parcial: Anemia Macrofítica")
#Sem anemia
if eri1 >= 4 and eri1 <= 15: print("Diagnóstico parcial: Sem Anemia")

#Pergunta sobre a idade igual ou maior que 16 anos
if idade >= 16 and idade <= 95:
    #Pergunta sobre o valor obtido do hemograma(sem eritrócito)
    #Paciente feminino
    sexo = int(input("Se o sexo do paciente for feminino aperte 1, caso for feminino aperte 2:
"))
    if sexo == 1:
        hemo2 = float(input("Qual o valor da hemoglobina demonstrado no hemograma do
paciente? "))
        if hemo2 < 11.5 and hemo2 >= 0:
            #Pergunta sobre VCM
            VCM2 = float(input("Qual o valor do VCM demonstrado no hemograma do paciente?
"))
            #Anemia Normocítica
            if VCM2 >= 77 and VCM1 <= 92: print("Diagnóstico parcial: Anemia Normocítica")
            #Anemia Microfítica
            if VCM2 < 77: print("Diagnóstico parcial: Anemia Microfítica")
            #Anemia Macrofítica
            if VCM2 > 100: print("Diagnóstico parcial: Anemia Macrofítica")
        #Pergunta sobre o valor obtido do hemograma(com eritrócito)
        elif hemo2 >= 11.5 and hemo2 <= 25:
            #Pergunta sobre eritrócito
            eri2 = float(input("Qual o valor do eritrócito demonstrado no hemograma do paciente?
"))
            if eri2 < 4 and eri2 >= 0:
                #Pergunta sobre VCM
                VCM2 = float(input("Qual o valor do VCM demonstrado no hemograma do
paciente? "))
                #Anemia Normocítica

```

```

        if VCM2 >= 77 and VCM2 <= 90: print("Diagnóstico parcial: Anemia
Normocítica")
        #Anemia Microcítica
        if VCM2 < 77: print("Diagnóstico parcial: Anemia Microcítica")
        #Anemia Macroscítica
        if VCM2 > 100: print("Diagnóstico parcial: Anemia Macroscítica")

elif eri2 >= 4 and eri2 <= 15: print("Diagnóstico parcial: Sem Anemia")

elif sexo == 2:
    hemo3 = float(input("Qual o valor da hemoglobina demonstrado no hemograma do
paciente? "))
    if hemo3 < 12.5 and hemo3 >= 0:
        #Pergunta sobre VCM
        VCM3 = float(input("Qual o valor do VCM demonstrado no hemograma do paciente?
"))
        #Anemia Normocítica
        if VCM3 >= 77 and VCM1 <= 92: print("Diagnóstico parcial: Anemia Normocítica")
        #Anemia Microcítica
        if VCM3 < 77: print("Diagnóstico parcial: Anemia Microcítica")
        #Anemia Macroscítica
        if VCM3 > 92: print("Diagnóstico parcial: Anemia Macroscítica")
        #Pergunta sobre o valor obtido do hemograma(com eritrócito)
    elif hemo3 >= 12.5 and hemo3 <= 25:
        #Pergunta sobre eritrócito
        eri3 = float(input("Qual o valor do eritrócito demonstrado no hemograma do paciente?
"))
        if eri3 < 4 and eri3 >= 0:
            #Pergunta sobre VCM
            VCM3 = float(input("Qual o valor do VCM demonstrado no hemograma do
paciente? "))
            #Anemia Normocítica

```

```
if VCM3 >= 77 and VCM1 <= 92: print("Diagnóstico parcial: Anemia
Normocítica")
#Anemia Microcítica
if VCM3 < 77: print("Diagnóstico parcial: Anemia Microcítica")
#Anemia Macroscítica
if VCM3 > 92: print("Diagnóstico parcial: Anemia Macroscítica")
#Sem Anemia
elif eri3 >= 4 and eri3 <= 15: print("Diagnóstico parcial: Sem Anemia")
```