

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Dissertação Apresentada À
Faculdade de Engenharia Mecânica
como Requisito Parcial À Obtenção do
Título de Mestre em Engenharia de Petróleo

SISTEMA ESPECIALISTA PARA APOIO À OPERAÇÃO DE
PLANTAS MARÍTIMAS DE PROCESSO

Este exemplar corresponde a redação final
da tese defendida por Antonio
Rodrigues Patrício e aprovada
pela comissão julgadora em 27/11/1992.

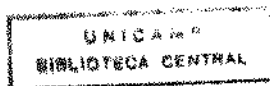
Celso Kazuyuki Morooka
ORIENTADOR

Autor: Antonio Rodrigues Patrício

Orientador: Celso Kazuyuki Morooka †

44/192

Novembro, 1992

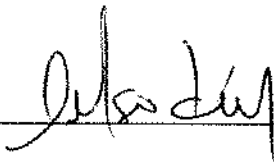


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

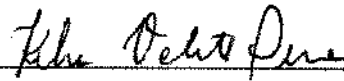
A dissertação "Sistema Especialista para Apoio à operação de Plantas Marítimas de Processo", elaborada por Antonio Rodrigues Patricio e aprovada por todos os membros da Banca Examinadora foi aceita pela Sub-Comissão de Pós-Graduação em Engenharia de Petróleo como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Petróleo.

Campinas, 27 de Novembro de 1992.

Banca Examinadora



Celso Kazuyuki Morooka, Ph. D.



Kelsen Valente Serra, Ph. D.



Lideniro Alegre, Ph. D.

Aos meus pais, pelo exemplo de vida e pelos esforços para minha formação; A Sandra, Rafaela, Rachel e Antonio Alberto, pelo apoio, incentivo e dedicação, à execução deste trabalho, dividindo cada problema e cada sucesso.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Celso Kazuyuki Morooka pela orientação e constante incentivo.

À PETROBRÁS pela oportunidade e pelas condições proporcionadas para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Armando Freitas da Rocha pela assistência e esclarecimentos prestados durante a execução desta tese.

Ao Dr. Lideniro Alegre pela introdução no campo da Inteligência Artificial e pela gentileza de participar da Banca Examinadora deste trabalho.

Aos Eng. Sydney e Elpídio (PETROBRÁS/SERINF) e ao Prof. Dr. Kelsen V. Serra pela amizade e apoio para execução do trabalho em foco.

A todos aqueles que direta ou indiretamente também ajudaram de forma valiosa para realização e conclusão desta tese.

SINOPSE

A continuidade operacional e a segurança de uma plataforma de produção de petróleo são fortemente dependentes da confiabilidade e disponibilidade da planta de processo. Os resultados da produção são muito sensíveis a distúrbios no processo, os quais podem acarretar perdas e/ou danos aos equipamentos.

Em situações de contingência ocorrem tomadas de decisões sob tensão emocional, resultando em ações incompletas ou incorretas que podem implicar em várias perdas.

Uma aplicação da inteligência artificial denominada "sistema especialista", tem comprovado ser uma efetiva ferramenta computadorizada para resolução de problemas em muitas aplicações petrolíferas. Os sistemas especialistas tentam simular o processo de raciocínio de um especialista na execução de uma tarefa altamente especializada. A resolução de problemas com sistema especialista combina análises qualitativa e quantitativa, resultando tipicamente em respostas que são aceitáveis, mas não necessariamente exatas.

Neste trabalho é apresentado um sistema especialista (SEPLANT), para resolução de problemas em plantas de processo através do uso de técnicas de inteligência artificial distribuída, que emprega esta filosofia em diferentes domínios de aplicação. Busca-se com o SEPLANT apoiar operadores na tomada correta de decisões em situações de contingência, num esforço de evitar erros e/ou perdas, no tocante a produção, danos aos equipamentos e considerável redução do tempo de parada antes do restabelecimento do funcionamento do processo.

ABSTRACT

The operational continuity and safety of a petroleum production platform are strongly dependent on process plant reliability and availability. Production results are very sensitive to disturbances in the process, which may result in a drop in production and/or damage to equipment.

Under contingency situations decision making occurs under emotional stress, normally resulting in incomplete or incorrect actions that may implicate in several losses.

A application of artificial intelligence called expert systems, has proven to be an effective computerized problem solving tool in many oil field applications. Expert systems, strive to simulate an experts reasoning process when performing a highly specialized task. Expert system problem solving combines both qualitative and quantitative analyses, and typically results in answers that are acceptable, but not necessarily exact.

This work presents SEPLANT _ system for problem-solving through the use of distributed artificial intelligence which use this paradigm in different applications domains. Its purpose is to aid operators in making the correct decisions in contingency situations, in an effort to avoid errors and/or reduce losses, in terms of production, equipment damage and reduce the time lapse before the re-establishment of process.

NOMENCLATURA

Romanas

H_k _ **Hold up** da fase k com escorregamento

V_{sk} _ Velocidade superficial da fase k em m/s (m/s)

\dot{m}_{vk} _ Vazão mássica em kg/s (kg/s)

Q_{lv} _ Vazão de líquido através da válvula em m³/dia
(m³/s)

Q_{gp} _ Vazão de gas nas condições-padrão

Q_{gs} _ Vazão de gas através do choke de injeção em m³/dia
(m³/s)

Q_{gv} _ Vazão de gas através da válvula em m³/dia (m³/s)

P _ Pressão em psig (Pa)

Q _ Vazão em m³/dia (m³/s)

T _ Temperatura em °C (K)

v _ Volume em m³ (m³)

z _ Posição (espaço) em m (m)

RGO _ Razão gas/óleo em m³/m³ (m³/m³ **std**)

Gregas

ρ_k _ Massa específica da fase k em kg/m³ (kg/m³)

θ _ Ângulo de inclinação do poço em graus (rad)

Subscritos

g _ Gas

k _ Fase k
l _ Líquido
o _ Óleo
p _ Condições-padrão
s _ Superfície
v _ Válvula

INDICE

Título	
Agradecimentos	ii
Sinopse	iii
Abstract	iv
Nomenclatura	v
Índice	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Figuras	x

CAPÍTULO

1 _ INTRODUÇÃO	1
2 _ HISTÓRICO SOBRE PLANTAS DE PROCESSO	3
2.1 _ Evolução da Complexidade	3
2.2 _ Características Operacionais	15
3 _ INTELIGENCIA ARTIFICIAL ASSOCIADA AO PROCESSO	17
3.1 _ Sistemas Especialistas	18
3.2 _ Inteligência Artificial Distribuída	20
3.2.1 _ Sistemas Inteligentes Distribuídos (SID)	21
4 _ SISTEMA ESPECIALISTA PARA APOIO A OPERAÇÃO DE UMA PLANTA DE PROCESSO	23
4.1 _ Metodologia de Desenvolvimento	23
4.1.1 _ Domínio do Problema	23
4.1.2 _ Aquisição e Representação do Conhecimento	24
4.1.2.1 _ Os Programas KARDIC e JARGÃO	26
4.1.2.2 _ Organização das Informações Adquiridas nas Pesquisas e nas Entrevistas	28

4.1.2.3 _ Grafos de Conhecimento	34
4.1.2.4 _ Construção dos Grafos de Conhecimento	40
4.1.3 _ Discussão e Implementação do Sistema	42
4.1.3.1 _ O Programa QUEST	44
4.1.3.2 _ Navegação dos Grafos do Sistema com o Programa QUEST	46
4.1.3.3 _ Implementação do Sistema Especialista	57
4.1.3.4 _ Validação do Sistema	58
4.1.3.5 _ Resultados do Processo de Validação	69
4.2 _ Arquitetura do Sistema Especialista SEPLANT	70
5 _ APLICAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS	73
5.1 _ Comentários Sobre os Casos Testados	73
5.2 _ Discussão dos Resultados da Pesquisa	74
6 _ CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES	76
Sugestões para Futuros Trabalhos	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APENDICE A: Modelagens Física e Matemática do Caso Teórico	82
APENDICE B: Documentação do Sistema Especialista SEPLANT	89
APENDICE C: Tabelas de Navegação dos Grafos do Sistema	122

LISTA DE TABELAS

- 1 _ Dicionário da Ocorrência **Gas Lift** Fechado
- 2 _ Texto da Ocorrência Queda do TC
- 3 _ Dados do Grafo 1
- 4 _ Dados do Grafo 2
- 5 _ Dados do Grafo 3
- 6 _ Dados do Grafo 4
- 7 _ Dados do Grafo 5
- 8 _ Dados do Grafo 6
- 9 _ Dados do Grafo 7
- 10 _ Dados do Grafo 8
- 11 _ Valores de Navegação dos Grafos 1
- 12 _ Valores de Navegação dos Grafos 2
- 13 _ Valores de Navegação dos Grafos 3
- 14 _ Valores de Navegação dos Grafos 4
- 15 _ Valores de Navegação dos Grafos 5
- 16 _ Valores de Navegação dos Grafos 6
- 17 _ Valores de Navegação dos Grafos 7
- 18 _ Valores de Navegação dos Grafos 8

LISTA DE FIGURAS

- 1 _ Fluxograma de Processo de uma Planta Tipo Simples
- 2 _ Fluxograma de Processo de uma Planta de Média Complexidade
- 3 _ Compressão e Movimentação de Gas Natural de uma Planta de Média Complexidade
- 4 _ Módulo dos Poços _ Planta de Alta Complexidade
- 5 _ Trem de Óleo de uma Planta de Alta Complexidade
- 6 _ Trem de Água de uma Planta de Alta Complexidade
- 7 _ Trem de Gas de uma Planta de Alta Complexidade
- 8 _ Unidade de Desidratação _ Trem de Gas de uma Planta de Alta Complexidade
- 9 _ Unidade de Adoçamento de Gas _ Trem de Gas de uma Planta de Alta Complexidade
- 10 _ Estrutura do Programa Jargão
- 11 _ Ficha Norte03 _ PERDAS
- 12 _ Ficha Sul04 _ DESCRIÇÃO
- 13 _ Grafo de Conhecimento de um Especialista sobre um Diagnóstico
- 14 _ Nodo de Agregação
- 15 _ Nodo de Decisão
- 16 _ Algoritmo 1
- 17 _ Algoritmo 2
- 18 _ Estrutura do Sistema Especialista Proposto
- 19 _ Grafo de Conhecimento 1
- 20 _ Grafo de Conhecimento 2
- 21 _ Grafo de Conhecimento 3
- 22 _ Grafo de Conhecimento 4

23	_ Grafo de Conhecimento	5
24	_ Grafo de Conhecimento	6
25	_ Grafo de Conhecimento	7
26	_ Grafo de Conhecimento	8
27	_ Arquitetura do Sistema Especialista SEPLANT	
28	_ Caso Teórico _ Navegação Grafo Característico	
29	_ Grafo 1 do Caso Teórico	
30	_ Grafo 6 do Caso Teórico	
31	_ Grafo 1 do Caso Real	1
32	_ Grafo 6 do Caso Real	1

1 _ INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, é cada vez mais patente que para se conseguir o desenvolvimento e a segurança de um país, necessita-se ter disponibilidade de energia em termos econômicos satisfatórios.

Atestam os dados mais confiáveis que, queira-se ou não, pelo menos nas próximas décadas, os hidrocarbonetos constituirão a principal fonte de energia do mundo. Presentemente, cerca de 63% da produção de petróleo brasileira é marítima e as grandes reservas internas estão localizadas em águas profundas, o que implica no desenvolvimento de novas tecnologias e aplicação de consideráveis volumes de recursos financeiros.

Neste contexto notoriamente desfavorável, revestem-se de grande importância a elaboração e implementação de projetos visando a racionalização da produção petrolífera.

Sabe-se que na exploração de campos marítimos de óleo e gás natural a vida útil de uma plataforma de produção e de sua planta de processo, pode ser acompanhada segundo as três fases seguintes:

Fase 1 _ Período no qual a produção só aumenta atingindo valores considerados de picos.

Neste período, o reservatório tem pressão suficiente para elevar naturalmente o óleo até a planta de processo. Nesta fase, a planta deve estar com todas unidades instaladas e funcionando, com a instrumentação passível de monitoramento.

Fase 2 _ É a fase quando a pressão do reservatório começa a cair, sendo então necessário o uso de elevação artificial (no mar normalmente o **gas lift**), para que a produção seja mantida. O controle desta atividade do processo é ativado e interligado no sistema de controle central da planta.

Fase 3 _ É o período onde entra em operação o sistema de injeção de água e/ou de gás, dependendo dos resultados dos estudos e do acompanhamento do reservatório. O

controle desta atividade deve também operar em conjunto com as outras partes do processo.

Por mais de uma década os métodos de operação destas plantas têm mudado significativamente nas plataformas nacionais, pelo aumento da complexidade das mesmas e o aparecimento de novos tipos de equipamentos e instrumentos de controle.

Esta tese tem como propósito o desenvolvimento de um sistema especialista para uso no apoio à operação de plantas marítimas de processamento de petróleo bruto, água de formação e gas natural produzidos.

O sistema, embora com condições amplas de utilização em todas as operações que envolvem as atividades interligadas da planta, foi usado somente para simulações das operações de **gas lift**, por se tratar da forma de elevação artificial instalada na quase totalidade dos campos de petróleo em produção fora da costa.

2 _ HISTÓRICO SOBRE PLANTAS DE PROCESSO

Existem vários requisitos técnicos que devem ser observados considerando o projeto de uma planta de processamento de hidrocarbonetos para uma plataforma. Dentre estes requisitos, destacam-se essencialmente confiabilidade, disponibilidade, flexibilidade, segurança, peso, espaço físico, eficiência de **hook up** e comissionamento, e custo efetivo [6].

2.1 _ Evolução da Complexidade

Concernente a evolução, principalmente dos controles das plantas que operam ou estão prestes a operar nas costas brasileiras, apenas para ilustração, são aqui classificadas em :

- .simples ou típicas
- .média complexidade
- .alta complexidade

Na unidade classificada como simples (ver figura 1), acontece a separação primária do óleo cru, do gás natural e da água das formações produtoras. Os equipamentos básicos desta classe são :

- ."manifold" de produção
conjunto de tubos e válvulas, com forma própria, que coleta e alinha devidamente os fluidos produzidos.
- .separador de produção
vaso de pressão que separa o óleo do gás e da água de todos os poços, com exceção

do que é alinhado para o separador de teste.

.separador de teste

vaso similar ao separador de produção, porém opera com um só poço.

.depurador de gas

vaso também de pressão, que elimina do gas as últimas gotículas de líquido provenientes dos separadores.

.bombas de transferência

transfere o óleo à pressão necessária de envio aos navios petroleiros e/ou terminais.

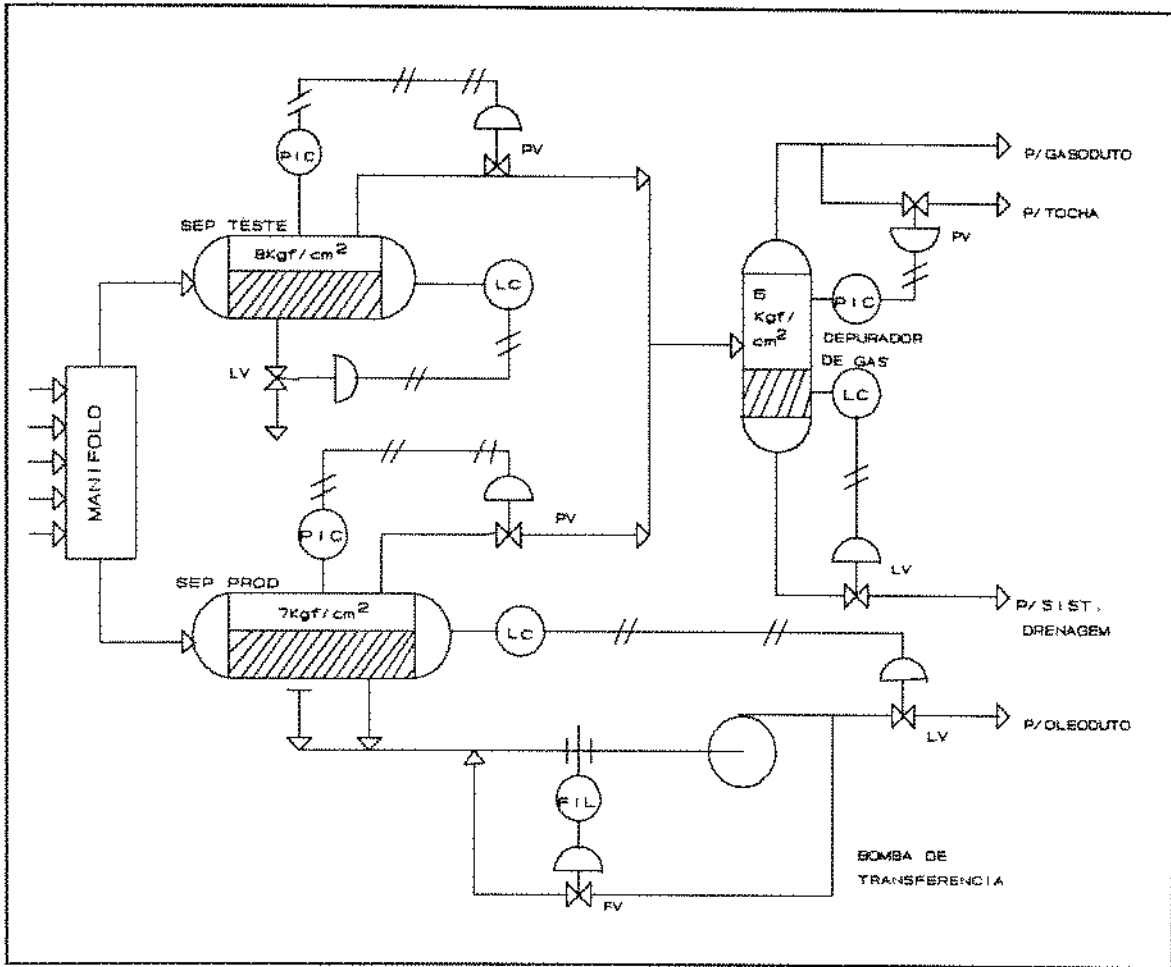


FIGURA 1: Fluxograma de Processo de uma Planta Tipo Simples

A planta considerada de média complexidade (ver figura 2), além dos equipamentos anteriormente citados, tem o mínimo de um e o máximo de três moto e/ou turbo compressores, permitindo assim o aproveitamento do gas produzido para consumo interno nas utilidades, para venda e para operação de um dos métodos de elevação artificial mais importantes (largamente utilizado na produção de reservatórios marítimos de petróleo) que é o *gas lift*. Conta ainda este tipo de planta com vasos de operação relativamente complexa, para uso no tratamento e descarte da água produzida conforme a figura 3.

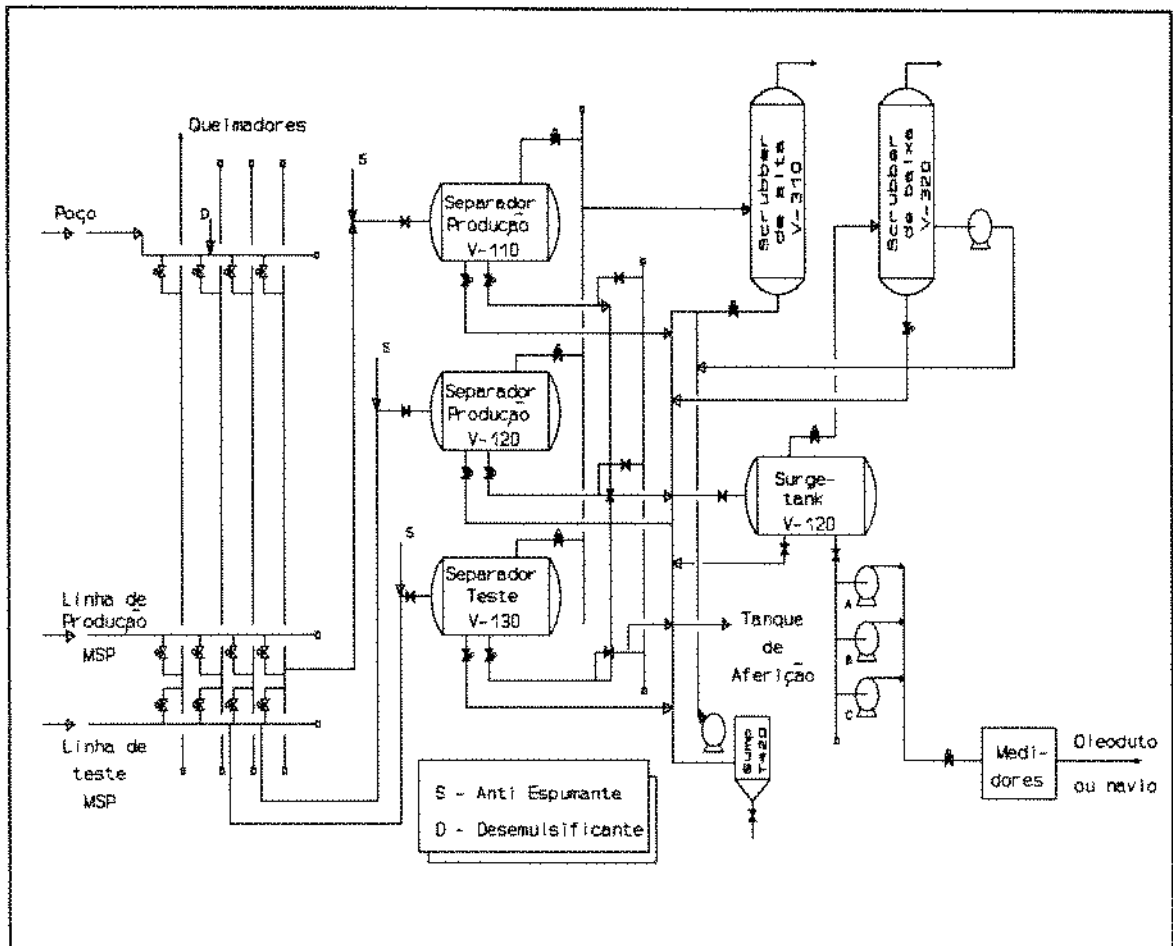


FIGURA 2: Fluxograma de Processo de uma Planta de Média Complexidade

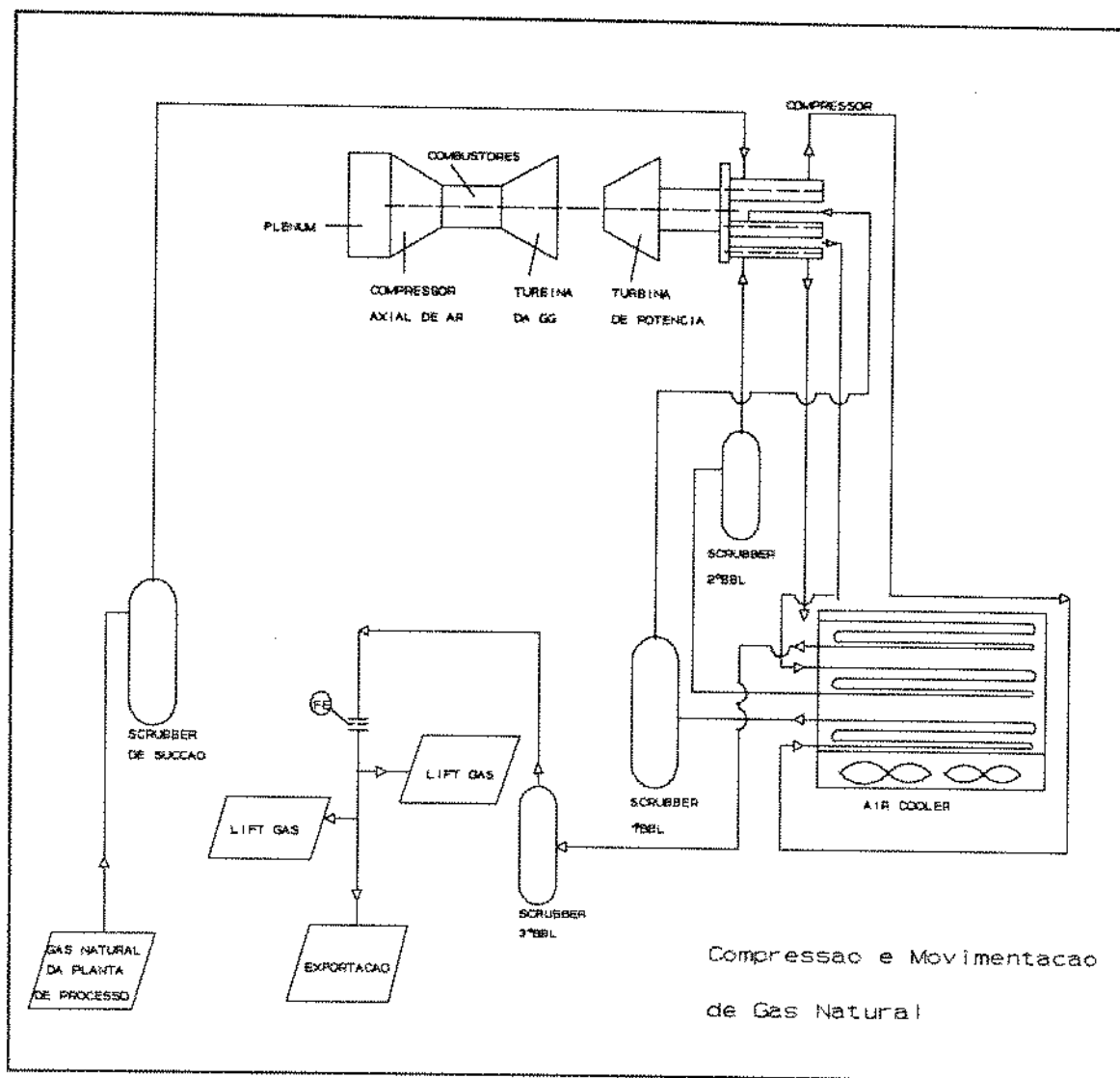


FIGURA 3: Compressão e Movimentação de Gas Natural de uma Planta de Média Complexidade

A terceira planta desta classificação executa, a nível de especificação, o processamento primário das três fases produzidas (óleo, gas e água), utilizando equipamentos pesados distribuídos em unidades estanques (em termos de operação) com controles complexos, como se fossem pequenas plantas reunidas em um contexto global que é a unidade central de processamento propriamente dita. Representando estas plantas, merecem citações as plataformas do denominado sistema definitivo de produção da Bacia de Campos localizado no litoral do Rio de Janeiro, com destaque para uma das plataformas centrais de processamento

instaladas, que destina dez de seus treze módulos dispostos em quatro pisos (andares) para agregar à planta principal, as cabeças dos poços de produção de óleo e de injeção de gas, os trens de produção e tratamento de óleo incluindo o sistema de aquecimento (duas caldeiras de médio porte) de água para este tratamento, o sistema de produção e aproveitamento de gas constituído pelo trem de compressão (turbo e moto), as unidade de desidratação e dessulfurização do gas, o sistema de tratamento e descarte da água oleosa e os módulos (quatro) de utilidades que contam também com equipamentos de porte como os turbo geradores e outros, de acordo com as figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9, mostradas a seguir.

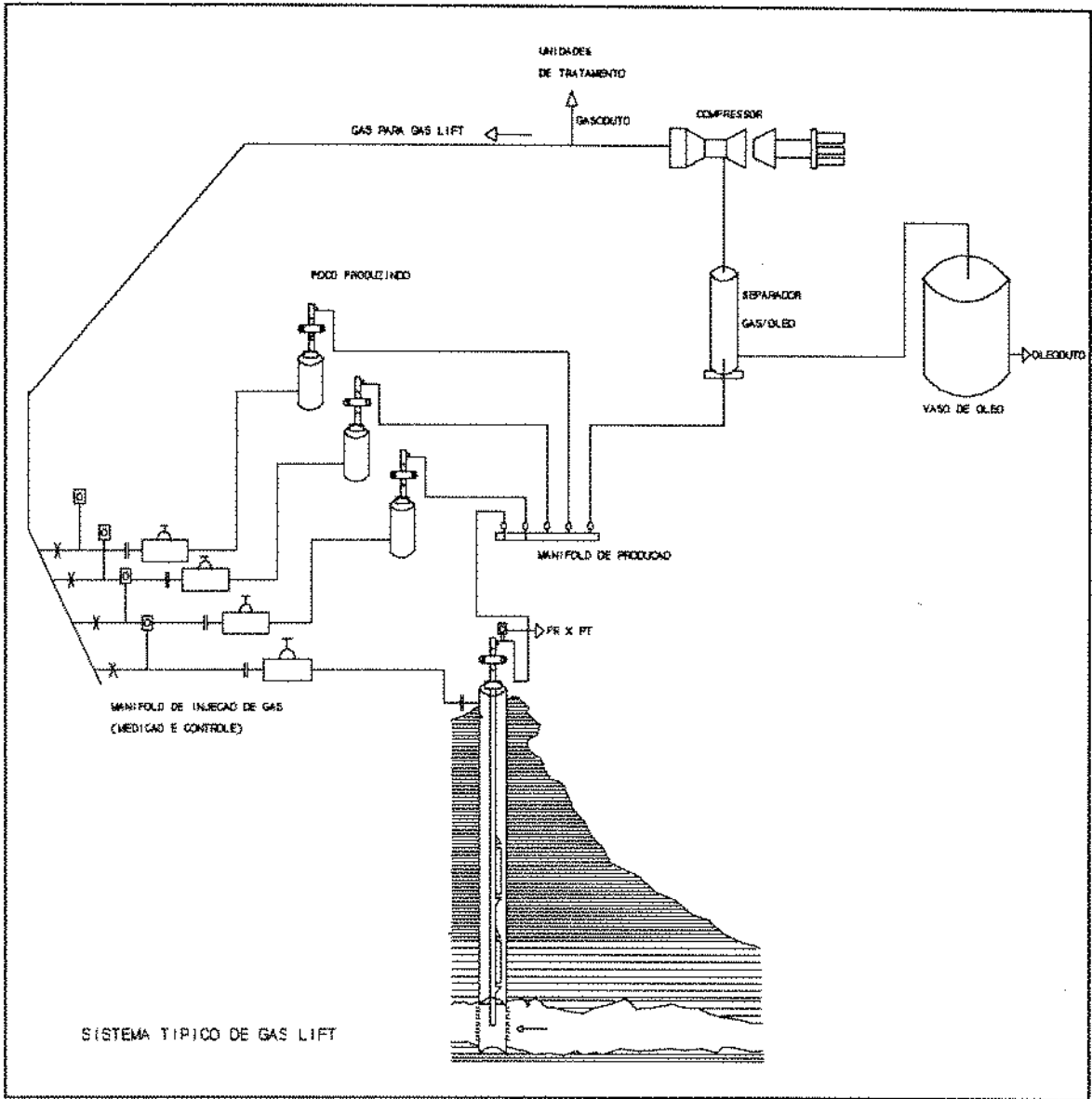


FIGURA 4: Módulo dos Poços _ Planta de Alta Complexidade

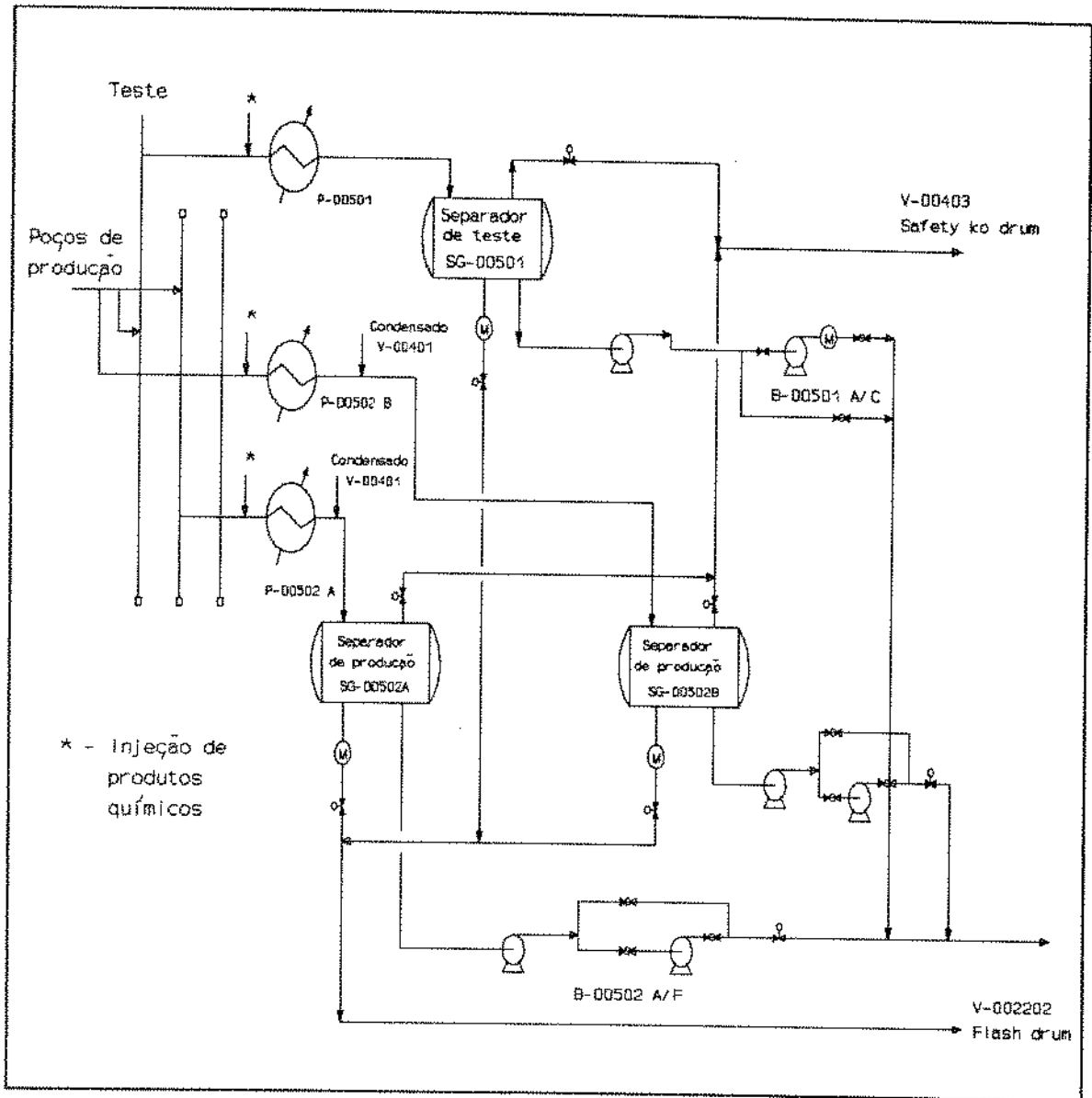


FIGURA 5: Trem de Óleo de uma Planta de Alta Complexidade

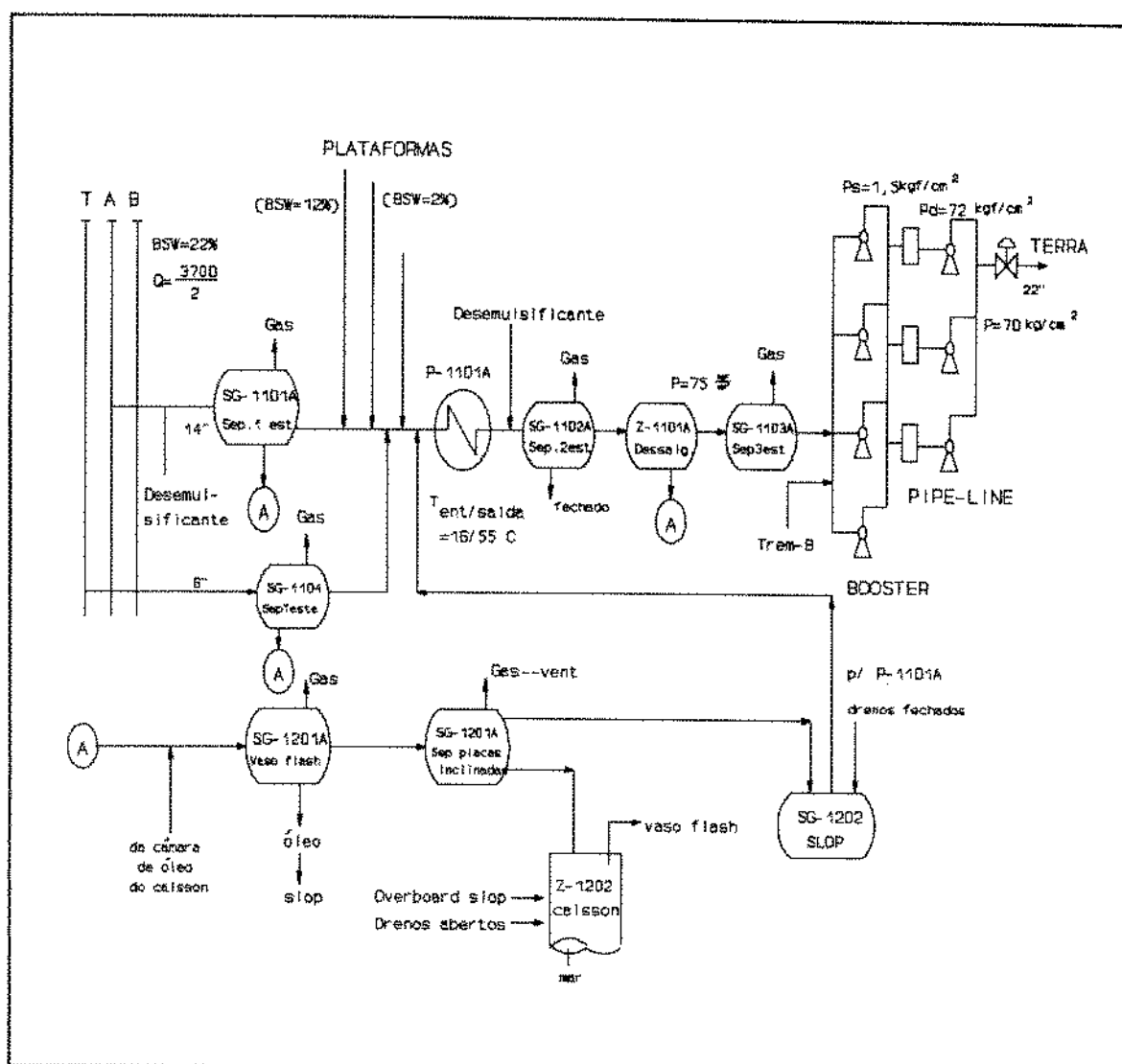


FIGURA 6: Trem de Água de uma Planta de Alta Complexidade

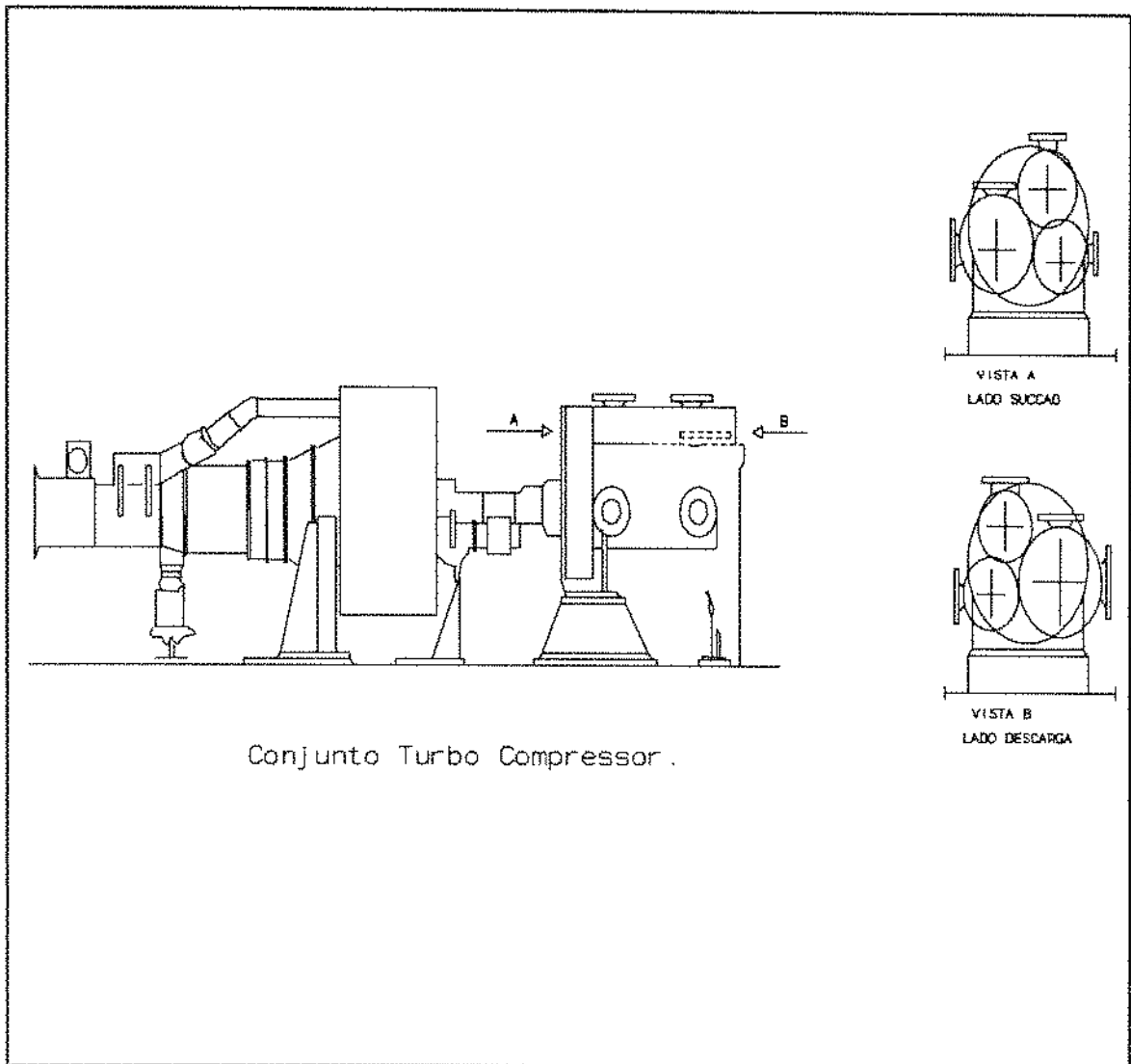


FIGURA 7: Trem de Gas de uma Planta de Alta Complexidade

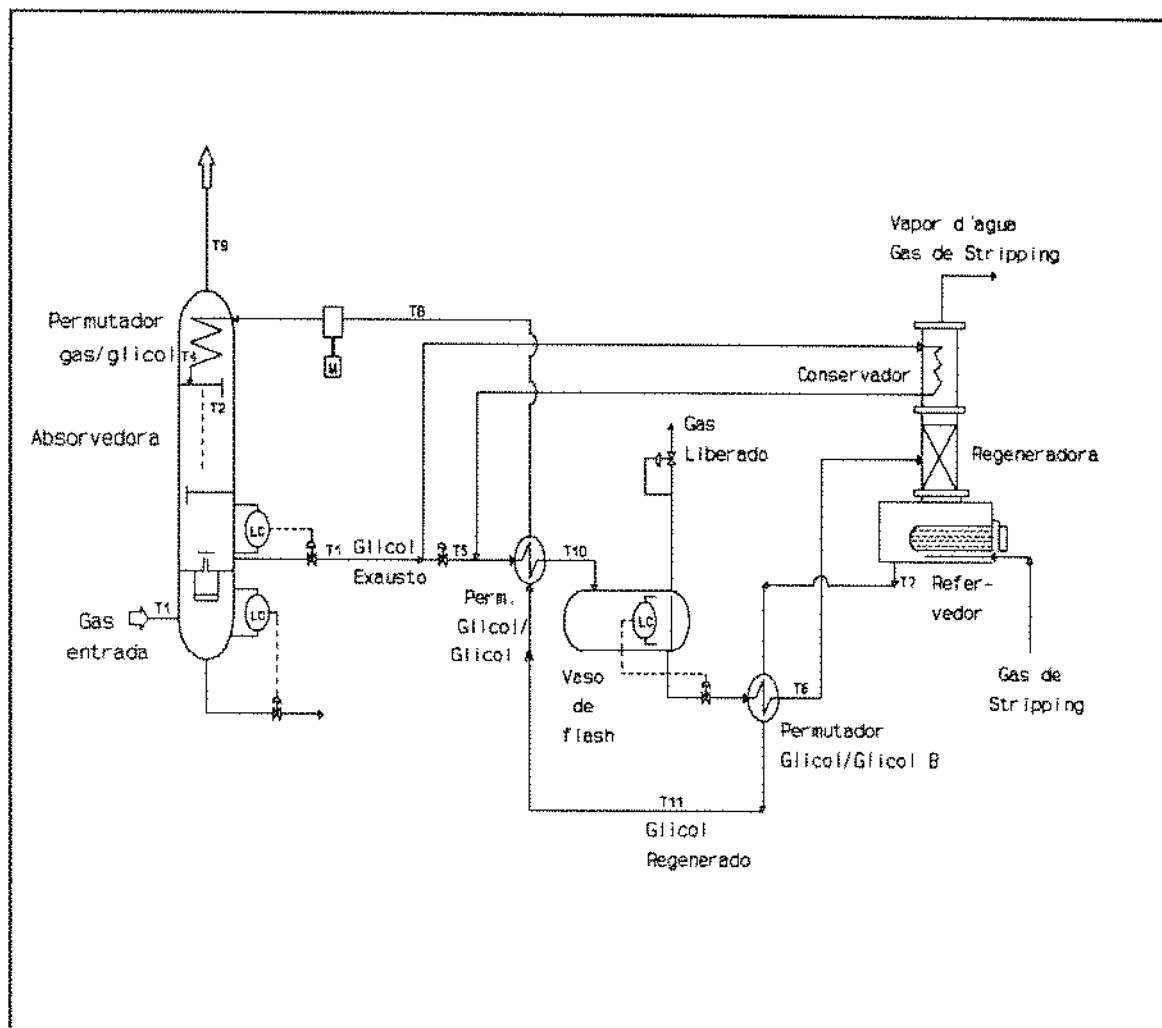


FIGURA 8: Unidade de Desidratação _ Trem de Gas de uma Planta de Alta Complexidade

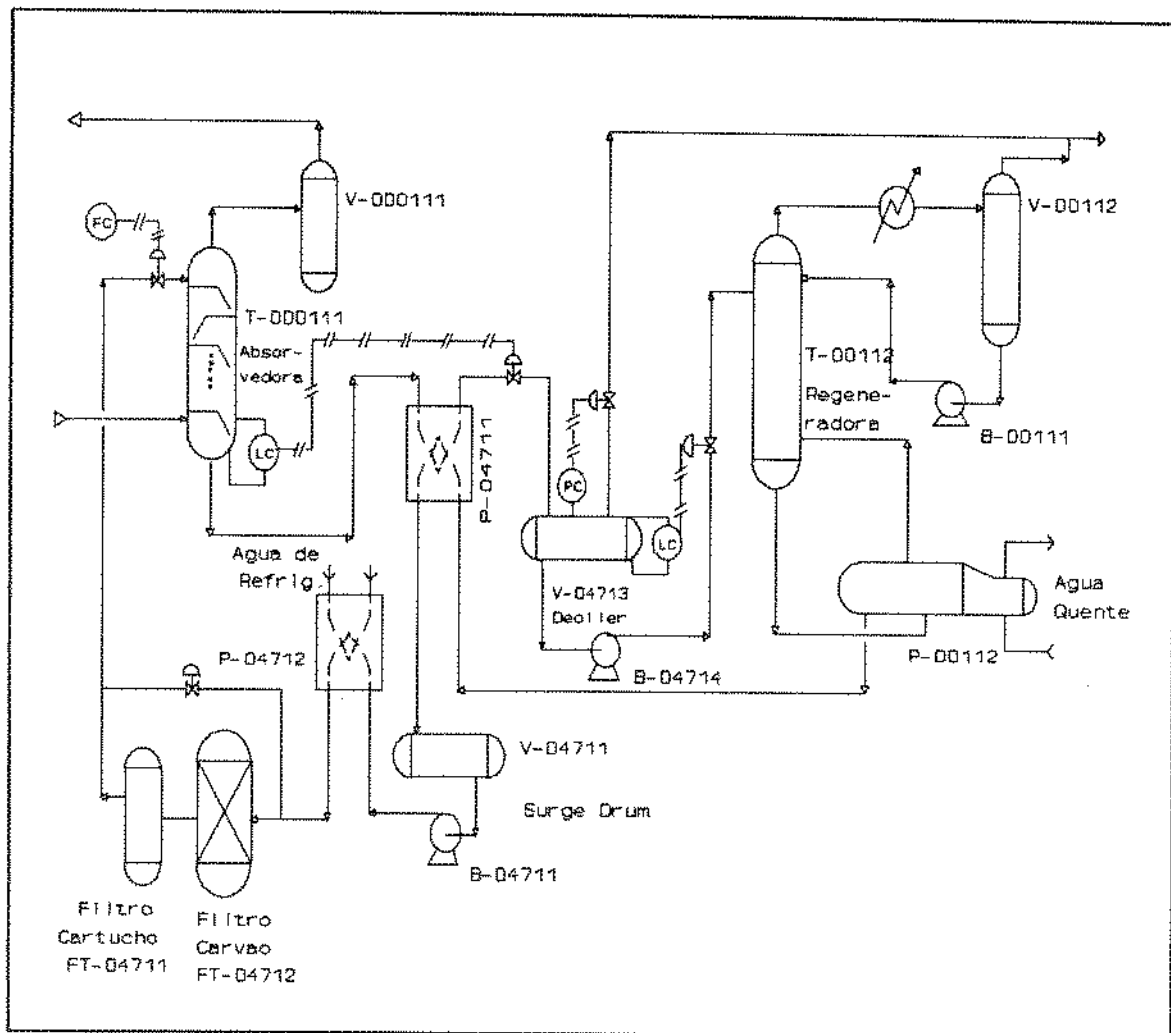


FIGURA 9: Unidade de Adoçamento de Gas _ Trem de Gas de uma Planta de Alta Complexidade

2.2 _ Características Operacionais

A operação das plantas de processo instaladas nas plataformas marítimas de produção tem características bem especiais e distintas em função naturalmente da complexidade de cada uma. As unidades do tipo simples e de média complexidade têm a vantagem de concentração física em maior e menor grau de seus equipamentos e unidades internas, enquanto que para se ter uma idéia das dificuldades de operação de uma planta classificada neste trabalho como de alta complexidade, além das características estanques (individualidade quanto a espaço físico e operação) de cada sistema, algumas unidades internas contam com torres de processo que ocupam verticalmente mais de dois andares da planta na plataforma.

Nas unidades dotadas de sistemas de informações (convencionais ou de automação industrial), valores de importantes variáveis são enviadas a uma sala de controle central e para as leituras consideradas anormais existem os alarmes que alertam os operadores de turno. É de inteira responsabilidade destes operadores a interpretação dos dados coletados e as ações correspondentes de correção, tanto para o retorno às condições normais de operação da planta como para os procedimentos de parada total da mesma.

Operadores treinados e experientes podem executar as tarefas satisfatoriamente, acumulando várias estratégias de resolução dos problemas, raciocinando com dados incompletos e imprecisos obtendo até uma visão global da operação. Porém, as habilidades destes técnicos para diagnosticar com precisão certas anormalidades do processo são bastante limitadas, tendo em conta que os diagnósticos das ocorrências em uma planta demandam significantes conhecimentos sobre os produtos manuseados. Erros e imprecisões no raciocínio, levam a um entendimento incorreto do processo gerando conclusões errôneas. É notório que o ser humano tem dificuldades de manusear um número muito grande de dados, tendendo a minimizar e até a ignorar grande parte das informações. Considerando que os operadores são normalmente bem treinados em procedimentos operacionais padrões, eles têm dificuldades para resolver problemas incomuns ou não previstos, tendo em vista que diagnósticos de problemas em unidades de processamento normalmente exigem conhecimentos de química, física e

matemática para os quais eles são raramente treinados [13].

Por razões como carga de serviço, mudanças de ambiente de trabalho, cursos regulares, férias e outros afastamentos, os especialistas nem sempre estão disponíveis para consultas e o citado aumento da complexidade das plantas em foco, tornou o diagnóstico de falhas mais complicado. Estes projetos integrados de plantas acrescem as possibilidades de propagação dos distúrbios e, os sistemas de controle e proteção para compensação destes distúrbios, tendem a obscurecer os sintomas das falhas.

Sem dúvida os fatores eficiência e eficácia dos operadores, são cruciais para o funcionamento econômico e seguro de uma planta de processo e, a detecção e o diagnóstico prévios de falhas podem reduzir substancialmente o número de paradas da mesma pois atualmente, são próximos os números de quedas resultantes de problemas intrínsecos nas unidades internas da planta e de paradas decorrentes de operações chamadas marginais.

As perdas resultantes das ocorrências anormais no processo podem acarretar:

- .responsabilidade por danos aos equipamentos
- .ferimentos ou até mesmo morte do pessoal envolvido
- .perdas parciais ou totais de materiais e equipamentos específicos
- .longos períodos de interrupção da produção
- .repercussões negativas para a companhia operadora
- .questionamento sobre a capacitação do pessoal

Nos dias de hoje, o operador de processo embarcado precisa de ajuda para detecção das causas dos desajustes da planta pois aspectos como raciocínio humano, complexidade da operação, economia global de processo e segurança operacional das instalações, denotam cada vez mais a necessidade urgente de sistemas inteligentes para assistência aos operadores nas respostas aos alarmes do processo.

3 _ INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL ASSOCIADA AO PROCESSO

Apontada pela literatura como uma das mais importantes derivações da ciência da computação, a Inteligência Artificial (IA) é mais ligada à ciência da cognição. Suas aplicações vislumbram quaisquer máquinas inteligentes inclusive o computador [8]. A IA tem sido pesquisada e desenvolvida por mais de três décadas, na busca do entendimento do raciocínio humano. No sentido mais amplo do assunto, a IA é a ciência de desenvolvimento de sistemas de computador que emula a inteligência humana (raciocínio, tomada de decisão, linguagem, aprendizado e outros). A IA tem mais potencial para auxílio ao controle de processo nos próximos dez anos que os microprocessadores tiveram nos últimos dez anos [7]. Nos anos mais recentes porém, os pesquisadores da IA geralmente têm concluído que se ela parece pensar como um ser humano, se dá a impressão de fazê-lo ou se oferece a informação que um ser humano poderia ser chamado a dar, então o simulador está realmente no contexto da IA [5]. Embora envolva várias tecnologias, o ramo da IA que é atualmente mais usado nos processos industriais é o sistema especialista e como um de seus principais produtos, estes sistemas vêm recebendo ultimamente significativos apoios científico e comercial das universidades e indústrias [7]. Os sistemas especialistas incorporam tecnologia de IA para resolução de problemas em domínios altamente especializados [7].

Métodos como lógica de símbolos e heurística, são utilizados para busca de resultados coerentes na solução de problemas diferindo assim das tradicionais modelagens matemáticas das situações onde valores exatos de respostas podem sempre ser calculados.

3.1 _ Sistemas Especialistas

Os sistemas especialistas representam a parte prática da IA que enfoca o desenvolvimento de aplicações num domínio altamente especializado do problema. O objetivo de um sistema especialista, é simular o processo de tomada de decisão de um especialista para resolver um problema [7]. Trata-se de tecnologia de uso recomendado em situações consideradas complexas, que implicam diretamente em resultados razoáveis porém não necessariamente precisos. Cresce a utilização destes sistemas à medida em que os mesmos simulam situações onde os problemas são reais e seus métodos permitem a determinação de respostas tanto qualitativas quanto quantitativas. A base de conhecimento de um sistema especialista é elaborada a partir da aquisição de todo conhecimento do especialista no assunto, necessário ao desenvolvimento das tarefas no domínio especificado. A organização da mesma é de tal forma que representa com precisão a lógica e o processo de raciocínio do especialista no desenvolvimento da tarefa desejada.

Uma boa forma de uso dos sistemas especialistas é como ferramentas informatizadas de apoio às operações, pois as máquinas com programas inteligentes levam vantagens sobre o ser humano em situações como flexibilidade de transporte, consistência nas resoluções, capacidade permanente de armazenamento de dados e custos previsíveis.

Apesar das vantagens citadas há definitivamente a necessidade de um especialista humano no processo de decisão. Sem a devida intervenção do ser humano, o computador é incapaz de exercitar quaisquer alterações tecnológicas na tarefa que está simulando. Mesmo na base de conhecimento especialistas humanos em domínios dinâmicos, serão continuamente requeridos para atualizar os avanços tecnológicos concernentes aos sistemas especialistas. Mais importante ainda, um computador não pode ser uma réplica de várias qualidades da inteligência humana como criatividade, adaptabilidade, percepção sensorial e tomada de decisão [12].

Várias são as áreas profissionais que atualmente fazem uso de sistemas especialistas. Aplicações práticas em grande número têm sido desenvolvidas para domínios nas áreas de medicina, advocacia, engenharia, química e outras ciências físicas.

As operações da indústria do petróleo e do gás natural também foram e estão sendo beneficiadas com importantes sistemas especialistas, pois as incertezas e os empirismos característicos das atividades geológicas e de engenharia de reservatórios, requerem métodos imprecisos para resolução de problemas.

As partes consideradas principais de um sistema especialista são a base de conhecimento e a máquina de inferência. A base de conhecimento, conforme mostrada, reúne todo conhecimento, em forma de informações importantes, de um (ou mais) especialista(s) na tarefa em desenvolvimento, enquanto a máquina de inferência representa a parte computacional através dos programas que detêm as inferências lógicas dos sistemas especialistas.

O engenheiro de conhecimento intermedia o especialista do domínio e o sistema especialista, uma vez que seu trabalho é organizar a base de conhecimento e implementá-la na estrutura do sistema especialista. Esta fase de transferência de informações, que faz parte do desenvolvimento do sistema especialista, tem tradicionalmente transcorrido com alguns problemas devido um certo vazio de comunicação entre os especialistas nas tarefas e os engenheiros de conhecimento [3]. Muitos destes problemas têm sido resolvidos com o emprego de programas tipo ambientes ("shells") na construção dos sistemas especialistas.

3.2 _ Inteligência Artificial Distribuída (IAD)

A grande maioria dos sistemas especialistas desenvolvidos são baseados em um modelo sequencial de computação, onde uma regra simples é selecionada para aplicação em cada execução do ciclo. Recentemente, as pesquisas têm oferecido oportunidades de implementação de várias regras em paralelo e, isto implica num significativo aumento das velocidades de execução e processamento. O paralelismo para esses sistemas especialistas permite também o uso de maior número de regras, controle em tempo real, modularidade e portabilidade [8].

A Inteligência Artificial Distribuída (IAD) é a parte da IA que trata da resolução simultânea de tarefas, enfocando situações tais como organização e distribuição do conhecimento.

A distribuição destas tarefas pelos diversos agentes, requer que as mesmas sejam explicitadas e apresentadas de maneira a facilitar esta distribuição pois as tarefas que exigem meios e/ou informações em quantidades maiores do que as armazenadas por um só agente, precisam ser decompostas de forma a permitir sua execução.

A comunicação entre os diferentes agentes é de grande importância no sentido de que hajam combinações efetivas de seus esforços. Além disso, para que se tenha a cooperação, a comunicação dos objetivos é constantemente requerida. Certas vezes é preciso ter ciência da situação de cada agente para o sucesso da comunicação, implicando então na existência de modelo dos mesmos.

Algumas teorias citam que o princípio observado na geração das sociedades e organização de pessoas, é a técnica de criar e usar modelos intrínsecos de outros agentes e do próprio. O comportamento de diferentes agentes pode ser reunido considerando as tarefas a serem realizadas, observando os alvos do processo em execução tendo como base o planejamento e de outras formas pertinentes. Agentes considerados inteligentes, devem estar aptos a tratar com disparidades e imprecisões sobre as representações que dispõe do universo.

Acrescente-se que diferentes agentes podem possuir representações diversas de objetos e/ou em processos, mas nem os objetos nem os processos são explicitados de forma completa e precisa, podendo os agentes terem base de dados incompletas, inconsistentes ou incompatíveis [12].

Os sistemas desenvolvidos com base em IAD se caracterizam pelos seus agentes independentes que se comunicam através de mensagens e contra-mensagens, tendo cada agente máquina de inferência específica, regras e fatos, documentação e explicação e controle gráficos de entradas e saídas. Estes sistemas têm agentes formando classes e diferem dos sistemas especialistas convencionais onde cada regra/fato leva um ciclo [8].

Nesta dissertação, os conceitos de IAD estão utilizados de forma superficial pois o sistema desenvolvido apresenta uma decomposição do problema em vários componentes (agentes) mas com o processamento central, e apesar da hierarquia mostrada entre operação e supervisão das plantas de processo, o mesmo é calcado numa árvore de conhecimento com suas partes estáticas e dinâmicas.

3.2.1 _ Sistemas Inteligentes Distribuídos (SID)

O objetivo principal dos sistemas inteligentes para resolução de problemas distribuídos é o estudo das comunidades inteligentes que compreendem coleções de agentes interligados, agentes coordenados e especializados [15]. Os agentes se especializam em aquisição de dados (sensores), resolução de problemas (especialistas), transmissão de dados (canais), ação sobre o meio ambiente (executores) e outros. Assim, correlacionando o raciocínio de paralelismo dos SID com as plantas de processo aqui consideradas, tem-se que os agentes especializados em aquisição de dados são os sensores de leituras instalados nas mesmas, em resolução de problemas são os especialistas quase sempre a nível de supervisão, em transmissão de dados

são os equipamentos de "hardware" específicos e nas ações sobre as mesmas, os executores são os operadores (especialistas ou não), que têm atuação conjunta em uma mesma planta.

Microteorias são as formas de formalização do conhecimento nos SID. Uma microteoria é definida como cálculos derivacionais juntos com uma operação pré-especificada que pode checar a precisão de qualquer passo individual da derivação dado somente este passo, e nenhuma informação adicional. Assim, a precisão da derivação é localmente e algoritmicamente dedicável. Os especialistas usam microteorias na resolução de problemas; as microteorias especializam os especialistas [15]. O raciocínio do SID é o de uma atividade cooperativa entre um conjunto descentralizado e vagamente unido de especialistas para resolução dos problemas. Esta atividade pretende construir modelos nos quais a estrutura de controle surge como um padrão de transmissão de mensagens entre os agentes que estão sendo modelados.

Associando, novamente as ações do SID com as plantas de processo deste trabalho, infere-se que as microteorias representam os conhecimentos individuais dos operadores.

A distribuição de tarefas é um processo interativo que leva em conta a discussão entre um agente com uma tarefa a ser executada e um grupo de agentes que são capazes de realizar a mesma. A discussão é a origem da negociação e a distribuição de tarefas é uma forma de negociação de contratos [16].

Considerando, mais uma vez, um raciocínio paralelo entre o funcionamento de um SID e a operação de uma das plantas de processo enfocadas, observa-se a similaridade com o relacionamento do supervisor (especialista) com os operadores (especialistas ou não), suas reuniões para negociações (discussão e distribuição) sobre as resoluções dos problemas operacionais a serem prognosticados e/ou diagnosticados e orientações (em plana operação), partindo da sala de controle para as unidades internas do processo da planta, sobre os procedimentos recomendados, após diagnosticado(s) o(s) problema(s).

A cooperação dos agentes se dá no sentido de que, uma vez que nenhum deles tem informação suficiente para resolver o problema completo, a informação deve ser compartilhada para permitir ao grupo como um todo chegar a uma resposta. Descentralizado significa que ambos controle e dados são logicamente e as vezes geograficamente distribuídos ou seja, não existe controle global nem armazenagem global dos dados. O processo distribuído tem o

potencial de aumentar a tolerância das incertezas dos dados e do conhecimento, uma vez que a distribuição de tarefas não raro resulta em redundâncias.

Assim como os sistemas especialistas, os sistemas tipo SID têm as soluções de suas regras baseadas no raciocínio do tipo silogismo (admite três premissas: principal, secundária e conclusiva), cujas aplicações práticas são os métodos de inferência **Modus Ponens** e/ou **Modus Ponens Generalizado**, sendo a solução do primeiro via dedução formal da terceira premissa, implicada logicamente nas outras duas (unificação seguida de resolução), e a do segundo através dos passos **Matching**, **Agregação**, **Projeção** e **Matching Inverso**.

4 _ SISTEMA ESPECIALISTA PARA APOIO À OPERAÇÃO DE UMA PLANTA DE PROCESSO

4.1 _ Metodologia de Desenvolvimento

Após pesquisa bibliográfica, entrevistas e discussões com técnicos, analistas e especialistas, um sistema especialista (com o uso de inteligência artificial distribuída) para auxiliar e supervisionar através de prognósticos, diagnósticos e ações, foi empreendido.

O sistema em foco, é dividido em módulos separados por atividade, para avaliar qualitativamente e quantitativamente os parâmetros selecionados de controle do processo.

A metodologia de desenvolvimento empregada na execução do sistema especialista desta pesquisa está explicitada nas quatro principais etapas interdependentes listadas a seguir:

- .Domínio do Problema
- .Aquisição e Representação do Conhecimento
- .Discussão e Implementação
- .Testes e Validação

4.1.1 _ Domínio do Problema

O primeiro passo a ser dado no processo de elaboração de um sistema especialista consiste na definição dos tipos de problemas que serão resolvidos pelo mesmo. O sistema construído é para resolver problemas no processo de uma planta de petróleo marítima, com destaque para a simulação das operações de **gas lift**. Esta limitação de objetivo é importante

devido ao grande número de atividades, operações e componentes que fazem parte do funcionamento de uma planta de processo e que são passíveis de mau funcionamento. Algumas ocorrências identificadas fazem parte de operações e equipamentos que podem levar a números tão grandes de combinações, que fogem do objetivo deste trabalho, nesta fase considerado protótipo.

O sistema especialista foi construído para o objetivo descrito considerando que, em um certo momento ocorreu um certo problema no **gas lift** devido a uma simples anormalidade no processo. As anormalidades a serem reconhecidas pelo sistema, variam desde um simples problema de controle em uma planta típica até um acidente operacional em uma planta complexa, e/ou alguns problemas comuns às mesmas. Cumpre notar que a definição dos limites de finalidades do sistema especialista desenvolvido torna-o mais específico, implicando em facilidade de gerenciamento e manuseio. Da mesma forma, o especialista modelado tem idéias bem nítidas sobre o que o sistema poderá fazer e que dados precisam ser fornecidos. O aprendizado obtido na elaboração de parte do sistema distribuído (somente o **gas lift** foi simulado), passa a ser o suporte para construção do sistema completo, que inclui todas as atividades e operações de uma planta considerada complexa.

4.1.2 _ Aquisição e Representação do Conhecimento

A fase seguinte no desenvolvimento do sistema, consistiu na busca de como e o que fazem os especialistas e os técnicos envolvidos com a atividade para resolver os problemas inseridos no contexto a fim de que fosse organizada a base de dados sobre a qual o sistema foi projetado.

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica no sentido de conhecer o que as publicações disponíveis discorriam sobre o processo de interpretação do tema e as conclusões foram de que são muitas restritas as publicações que versam sobre as resoluções de problemas distribuídos em IA e de que não havia quase literatura disponível para consultas

refinadas e de aplicações práticas no domínio especificado. A sequência então foi a captura desse conhecimento a partir de textos escritos em linguagem natural e provenientes de entrevistas.

Para a obtenção através de textos, foram utilizados dados oriundos de Boletins de Produção (óleo, gas e água), Relatórios Consolidados (perdas de produção, paradas de máquinas e controle de equipamentos), históricos (de poços e dados de produção) e outros (diversos), todos considerados documentos oficiais de acompanhamento da operação de plantas de processo marítimas nas Unidades onde há produção **offshore**.

Quanto a aquisição a partir de entrevistas, ficou demonstrado que o crescente interesse na tecnologia de desenvolvimento de sistemas especialistas pelas indústrias e nas pesquisas sobre os mesmos pelas universidades, trouxe a tona uma nova demanda que é a modelagem do conhecimento atribuído a um grupo de especialistas em substituição ao uso do especialista de um só assunto. Como enfoque pode-se destacar uma grande corporação (plantas de processo de média complexidade) de onde se obtém uma base de conhecimento corporativo resultante das especialidades de seus mais importantes técnicos (especialistas ou não), em um domínio particular do problema (um dos objetivos de funcionamento de uma planta) requerendo uma média do conhecimento dessa população [17].

Para este trabalho foram entrevistados como modelos de especialistas, operadores de algumas plataformas e engenheiros envolvidos com as operações inerentes ao processo.

4.1.2.1 _ Os Programas KARDIC e JARGÃO

Para análise das pesquisas e das entrevistas realizadas, buscando encontrar as frequências e os padrões mais comuns registrados nos documentos e historiados pelos técnicos, foi utilizada uma ferramenta computacional, desenvolvida por Rocha et al. [15], de nome Jargão, capaz de retirar de um conjunto de textos e entrevistas escritos em linguagem natural, as informações mais frequentes ali incluídas.

Tal "software" vem de encontro às necessidades há muito sentidas na engenharia de petróleo, onde em diversas oportunidades, necessitam-se ser extraídos os conhecimentos contidos em vários textos (provenientes de pesquisas e entrevistas), cujas informações residem em linguagem natural.

Se a quantidade de textos a serem manuseados for pequena, o pesquisador é capaz de identificar algumas declarações mais frequentes eventualmente existentes neste aglomerado de textos; porém, se a quantidade for grande, não há condições de se descrever, resumidamente, as informações existentes. Devido a isto, o uso do computador e de "softwares" que por ventura auxiliem o pesquisador a executar essa tarefa tem se tornado desejável. O processamento da linguagem natural por máquinas tem mostrado ser uma dura tarefa na inteligência artificial, sendo as dificuldades relacionadas diretamente com a complexidade da análise semântica dos significados contidos nas palavras ou frases. No entanto, novas técnicas ou ferramentas de computação têm sido propostas, sendo uma delas a Teorias das Redes Neurais, com base na qual foi construído o programa Jargão.

O programa Jargão é constituído de três redes neurais descritas como:

.Redes de Palavras _ tem como objetivo examinar minuciosamente os textos para conhecer as palavras mais frequentes e significativas.

.Redes de Frases _ com sua entrada na rede de palavras, ela aprende as combinações mais frequentes de palavras que podem caracterizar as frases mais importantes.

.Rede de Textos _ objetiva descobrir as associações mais frequentes e importantes de frases que caracterizam resumos.

Quanto a estrutura do programa Jargão, a figura 10, a seguir, esboça as idéias do "software":

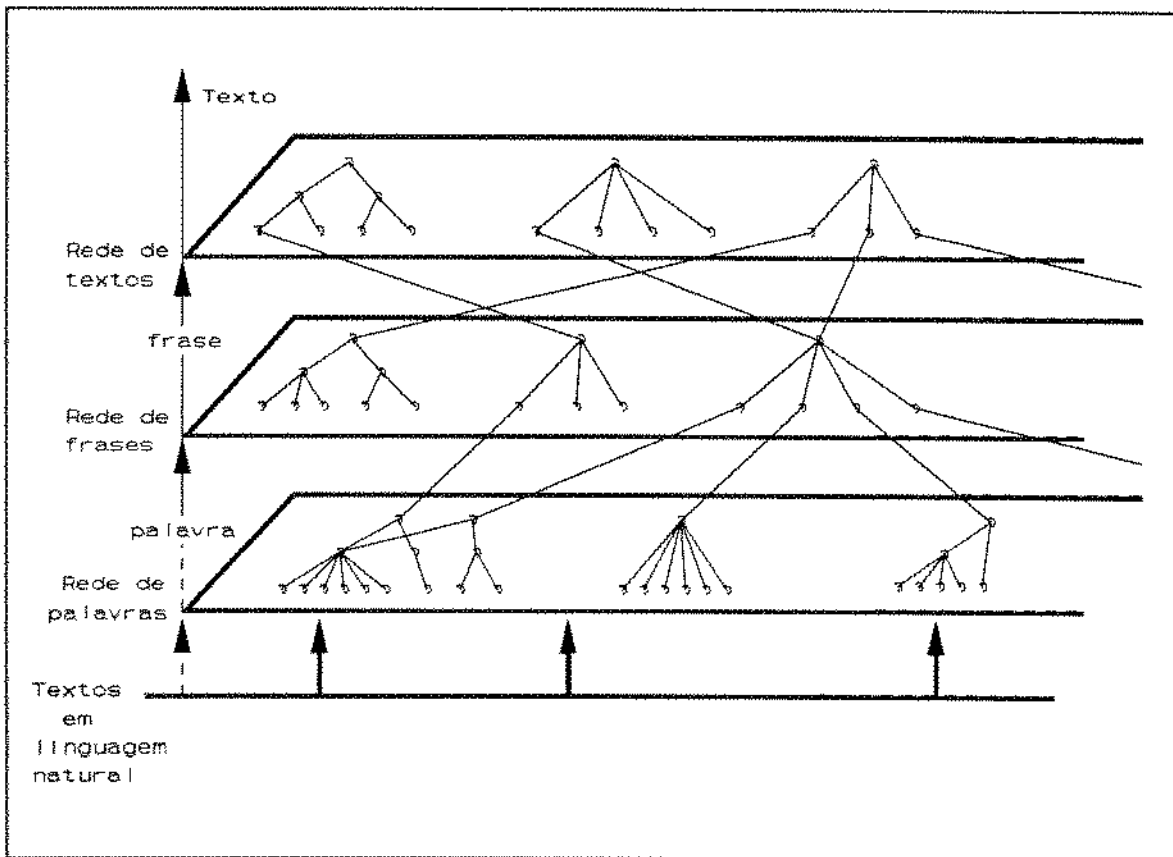


FIGURA 10: Estrutura do Programa Jargão

4.1.2.2 _ Organização das Informações Adquiridas nas Pesquisas e nas Entrevistas

As pesquisas e entrevistas transcritas, foram armazenadas em um micro computador compatível, com 1Mb de memória RAM. Foi usado um programa gerenciador de base de dados _ Kardic (tambem desenvolvido por Rocha et al. [15]), para organização dos fichários dos textos resultantes que receberam os nomes Sul e Norte. Os fichários construídos com o Kardic (usa programação orientada para o objeto e lógica nebulosa), mimetizam um armário de aço comum com gavetas, pastas e fichas.

Assim, os fichários Sul (ficha Sul04) e Norte (ficha Norte03) mostrados nas figuras 11 e 12 respectivamente, foram montados com base em pesquisas (seis meses de operação das plantas das unidades operacionais) e várias entrevistas, da seguinte forma :

- .Ficha 01 _ OCORRÊNCIA _ identifica as ocorrências anormais nas plantas no período considerado.
- .Ficha 02 _ CAUSA _ armazena as causas das ocorrências registradas.
- .Ficha 03 _ PERDAS _ registra as perdas correspondentes de óleo e gas natural
- .Ficha 04 _ DESCRIÇÃO _ tem as descrições das ocorrências.

GERAR

DEFINIÇÃO DA FICHA

Entre com sua Ficha

Não se esqueça de terminar os itens com : Ficha: Norte03

\ !-Data *-Oleo m3! *-Gas N.PR mm3! *-Gas N.Ap mm3!

:

:

:

:

:

:

:

:

:

:

Perdas totais

Total Oleo:

Total gas npr:

Total gas nap:

F1- Inicia F2- Revisa F3- Arquivo F4- Menu F5-Programa

F6- Gaveta F7- Pasta F8- Registro F9- Associa F10- Linha

ALT-T = Termina Pausa ALT D = DOS ALT H = Ajuda ESC = Funções

10/06/92 12:17:00

FIGURA 11: Ficha Norte03 _ PERDAS

DEFINIÇÃO DA FICHA

Entre com sua Ficha

Não se esqueça de terminar os itens com : **Ficha:Sul04**

DESCRIÇÃO

:
:
:
:
:
:
:
:
:
:
:
:

**F1- Inicia F2- Revisa F3- Arquivo F4- Menu F5- Programa
F6- Gaveta F7- Pasta F8- Registro F9- Associa F10- Linha
ALT-T = Termina Pausa ALT D = DOS ALT H = Ajuda ESC = Funções**

10/06/92 02:17:00

FIGURA 12: Ficha Sul04 _ DESCRIÇÃO

Para as análises dos dados das fichas, ou seja caracterizar os mesmos, também foi usado o programa Kardic, que dispõe da habilidade de acionar buscas nos fichários observando condições diversas impostas pelo usuário.

Quanto aos processamentos e cruzamentos das fichas e análises dos textos, foram executados pelo programa Jargão, que construiu os dicionários de termos (observando a entropia das palavras) e os arquivos de frases (permite a seleção das palavras que concentram informações específicas), treinou a rede de frases (descobre as associações de palavras com o uso das classificações verbo e complemento) e descobriu os resumos (dicionários de frases que tentam descobrir os conjuntos de frases que são frequentes nos conjuntos de textos). Um exemplo de um dos dicionários gerados pelo programa Jargão é mostrado na tabela 1, enquanto que a tabela 2 mostra um texto sobre uma das ocorrências anormais detectadas conforme segue:

TABELA 1: Dicionário da Ocorrência Gas Lift Fechado

5CR1452	5CS4024	5CS2002	@5CG9009	\$perdas de gas devido operacao do gas lift; % 20	
5CR1452	5CS4024	5CS2003	@5CG9020	\$perdas operacionais devido operacao no gas lift; % 18	
5CS4005	5CS4024		@5CG9062	\$operacao no gas por deficiencia do gas lift; % 15	
5CS4005	5CS4024	5CS4058	@5CG9065	\$deficiencia do gas lift por queda do tc; % 14	
5CS4006	5CS4024		@5CG9023	\$operacao no gas devido gas lift fechado; % 13	
5CS4006	5CS4058		@5CG9024	\$gas lift fechado devido queda do tc; % 12	
5CS4006	5CS4024	5CS4004	@5CG9026	\$gas lift fechado por deficiencia de gas; % 10	
5CS4006	5CS2002	5CS2003	@5CG9030	\$perdas operacionais devido gas lift fechado; % 9	
5CS4006	5CR1321	5CR1280	@5CG9031	\$gas lift fechado devido coluna do poco; % 9	
5CS4006	5CR1231		@5CG9032	\$gas lift fechado devido reservatorio produtor; % 9	
5CS4006	5CS4024	5CS4002	@5CG9033	\$gas lift fechado devido parada do gas; % 9	
5CS4006	5CS4024	5CS2002	@5CG9040	\$perdas de gas por gas lift fechado; % 7	
5CS4006	5CS4024	5CR1280	@5CG9041	\$gas lift fechado devido problemas no poco; % 7	
5CS4006	5CR1321	5CR1453	5CR1322	@5CG9042	\$gas lift fechado devido lift da coluna de producao; % 7
5CS4006	5CR1117		@5CG9046	\$gas lift fechado devido sistema de compressao; % 7	
5CS4006	5CR1007		@5CG9053	\$g. lift fechado por linha de gas; % 6	
5CS4006	5CR1149		@5CG9061	\$gas lift fechado devido formacao de hidratos; % 6	

TABELA 2: Texto da Ocorrência Queda do TC

O texto queda do tc devido operacao no gas lift ocorre com frequencia: 19
queda do tc
operacao com gas
gas lift

O texto queda do tc devido surge ocorre com frequencia: 17
queda do tc
surge devido gas

O texto queda do tc por deficiencia de gas ocorre com frequencia: 17
queda do tc
deficiencia de gas

O texto queda do tc devido parada do vaso ocorre com frequencia: 17
queda do tc
operacao com gas
parada do equipamento

O texto queda do tc devido formacao de hidratos ocorre com frequencia: 12
queda do tc
operacao com gas
formacao de hidratos

O texto queda do tc por deficiencia na manutencao ocorre com frequencia: 9
queda do tc
manutencao do equipamento

4.1.2.3 _ Grafos de Conhecimento

Estilizam as representações do conhecimento construídas tendo como bases as redes neurais e a lógica nebulosa. Os grafos de conhecimento mantêm compatibilidades com outras representações em grafos tais como; redes semânticas, algoritmos e outras de importância similar, para utilizar as características positivas destas representações [9],[14]. Mas, ao contrário destas últimas seus mecanismos de inferência são baseados na maximização da confiança dos vários caminhos concorrentes de processamento paralelo e de redes neurais, cujos operadores de verificação de compatibilidade, de agregação, de projeção e de **matching**, são providos pela lógica nebulosa possibilitando o tratamento das incertezas. Esses grafos, Podem ainda ser considerados como processos de buscas em espaços de estados [11] ou como conjuntos de proposições de lógica de nebulosa que são resolvidos com o uso do método de **Modus Ponens** generalizado [14],[9].

O conhecimento adquirido com o uso do Jargão, serviu para orientar as entrevistas para obtenção dos grafos de conhecimento conforme mostrado na sessão seguinte.

Os grafos de conhecimento são induzidos e ativados simulando os processos de raciocínios, conforme explicitado na figura 13 [8],[16];

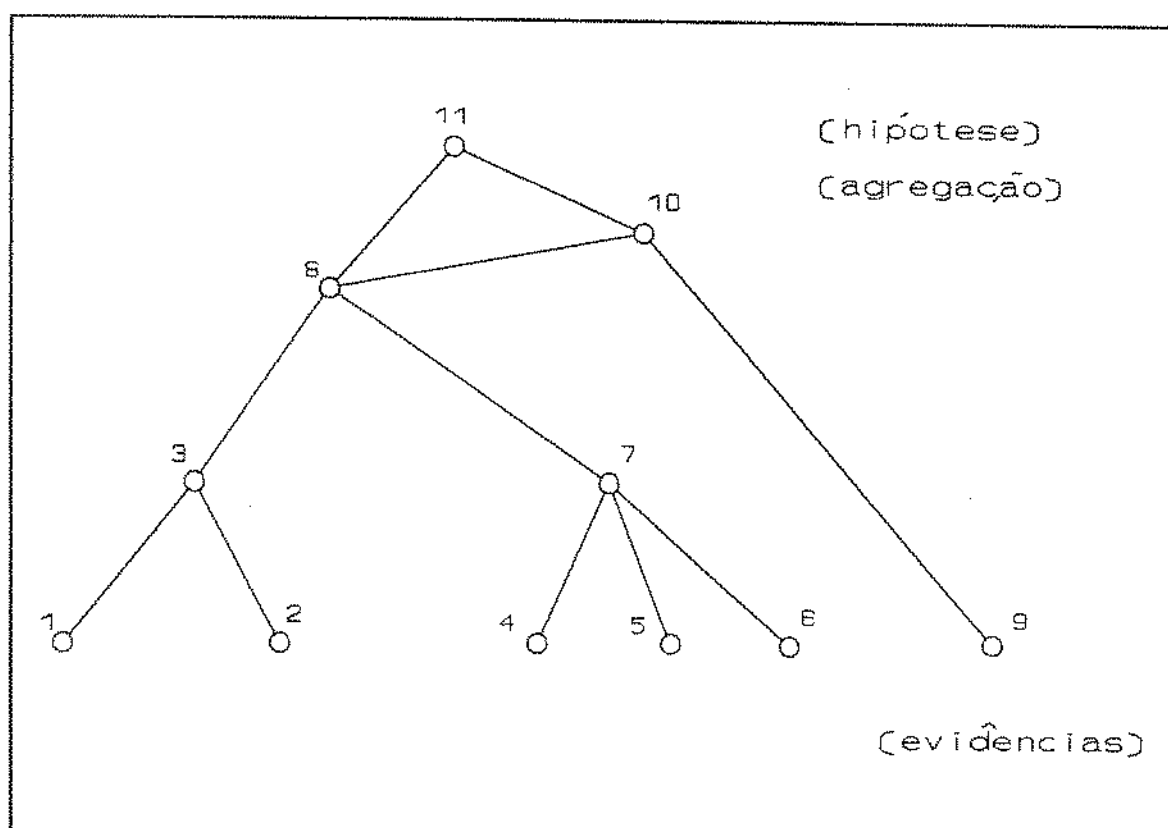


FIGURA 13: Grafo de Conhecimento de um Especialista sobre um Diagnóstico

O raciocínio especializado pode ser descrito através de redes (neurais) nebulosas de ações. Estas redes podem ser adquiridas através de pesquisas (bibliográficas e entrevistas com especialistas). Com a técnica descrita por Rocha [16] e complementada com consulta a material técnico-científico pertinente, obteve-se os grafos de conhecimento obedecendo os seguintes passos:

- 1 _ definição das hipóteses a trabalhar,
- 2 _ levantamento da lista de dados de suporte de cada hipótese,
- 3 _ definição da estrutura da rede (montagem do grafo) de cada hipótese,

- 4 _ avaliação da relevância dos arcos de cada rede ou grafo,
- 5 _ definição das funções de **matching** dos nodos (neurônios) iniciais,
- 6 _ definição das funções de associação dos outros nodos (neurônios) e,
- 7 _ definição das regras de navegação em cada rede ou grafo.

Neste grafo considerado típico e genérico, destacam-se três tipos de nodos assim identificados:

evidências _ situados no nível mais baixo dos grafos, estes nodos representam os sintomas dos problemas e são distribuídos em ordem decrescente de importância, da esquerda para direita afim de dá suporte à hipótese final.

agregação _ locados na parte intermediária dos grafos, são os nodos que apresentam as agregações das diferentes evidências usadas no raciocínio dos especialistas, também como nodos de decisão.

hipóteses _ são os nodos localizados no nível mais alto dos grafos e representam os diagnósticos possíveis dos mesmos.

Os nodos evidências e os nodos das hipóteses são rotulados por representarem os dados de suporte como sinais, sintomas, diagnósticos e outros a fins. A estrutura de dados associados aos nodos evidências é uma proposição do tipo $x \text{ é } \{a\}$, onde x é uma variável nebulosa (ou **fuzzy**) e a é um conjunto nebuloso [11].

Cada nodo agregação e cada nodo hipótese, é associado ao mesmo operador lógico que é utilizado para combinar os dados que entram nestes nodos. Normalmente os especialistas usam os operadores OU nos nodos hipóteses e E/OU nos nodos intermediários, pelo fato do grupo de dados nestes nodos ser do tipo "a maioria de" ou "pelo menos m", para suportar a

tomada de decisão.

Nos nodos evidências são calculados ou atribuídos os graus de confiança, enquanto que nos pesos dos arcos estão expressadas as relevâncias das informações.

Em termos de lógica nebulosa, cada nodo agregação é um conjunto de operações de entrada e de projeção do mesmo. Na operação de entrada, podem ser empregados normas triangulares como promédia, produtório, máximo, mínimo e outros correlatos, enquanto que na operação de projeção, a confiança resultante da operação anterior é normalizada e projetada em diversos valores para as saídas dos nodos. Estes nós representam variáveis do tipo nebulosas e são proposições como y é $\{b\}$ como esboçadas na figura 14;

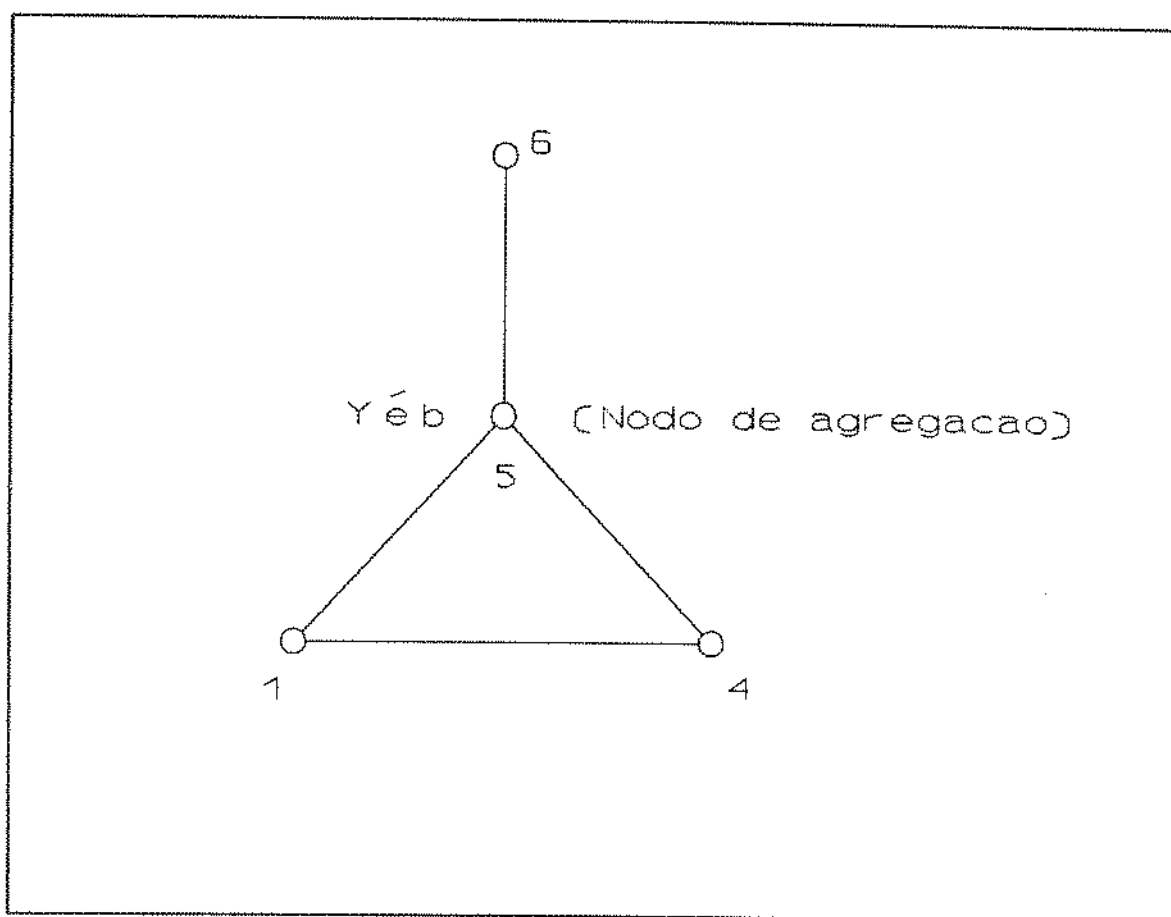


FIGURA 14: Nodo de Agregação

Os nodos de decisão apresentam variáveis do tipo linguísticas e fazem parte dos grafos de conhecimento procedurais, constituindo proposições do tipo $z \text{ é } \{c,d,e\}$, de acordo com a figura 15;

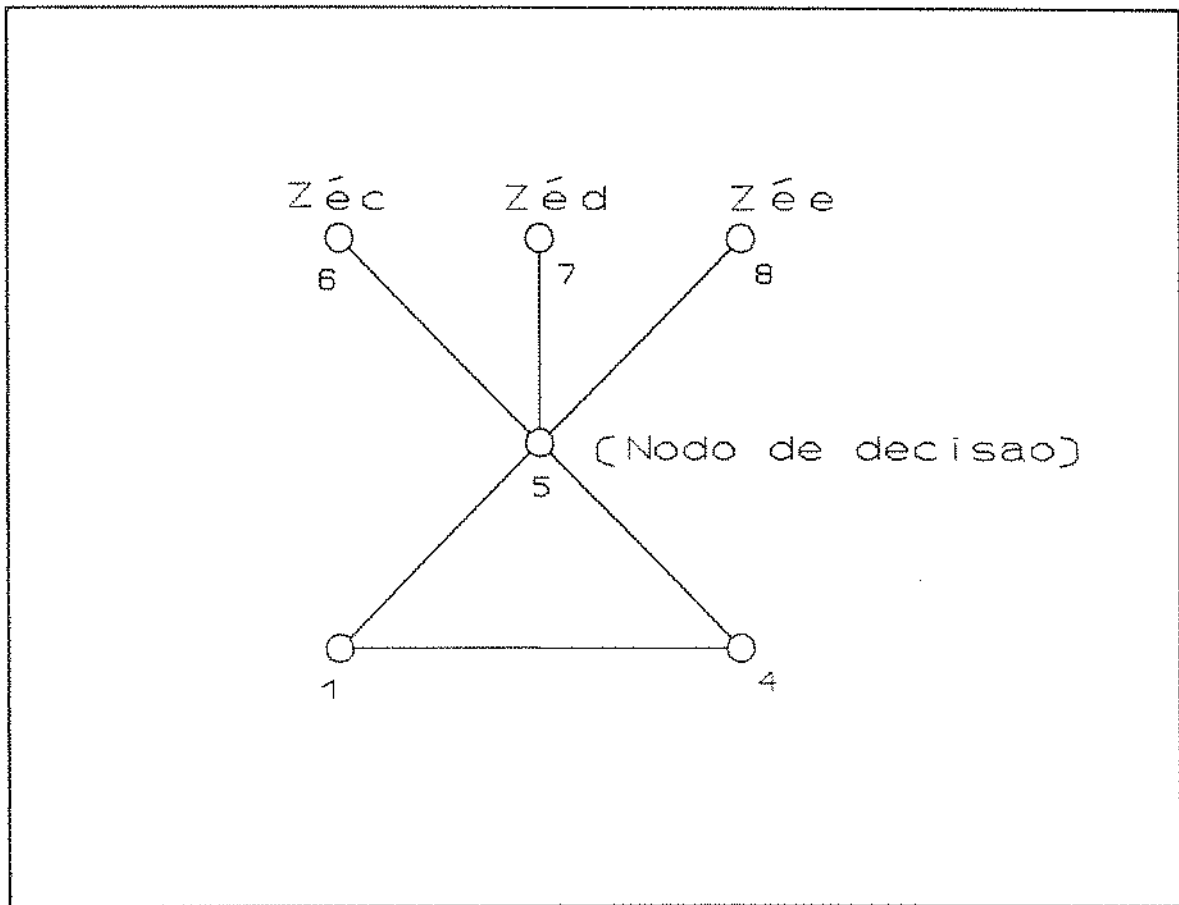


FIGURA 15: Nodo de Decisão

Estes nodos, direcionam o processamento dos grafos e são utilizados para implementar regras como;

dado $S_n = \text{operador}(Q) \{[(x \text{ é } a).W1] \text{ e } [(y \text{ é } b).W2] \text{ e } \dots\} (1);$

se $S_{n-1} < \text{ou igual que } S_n < \text{ou igual que } S_{n+1} ;$

então Z é C_i, D_i e E_i

onde;

Ci pertence a c, Di pertence a d e Ei pertence a e, e;

.S é a confiança determinada no nó,

.C,D e E são conjuntos de variáveis linguísticas associadas à proposição Z,

.Q é o operador lógico da regra e,

.W é a relevância

4.1.2.4 _ Construção dos Grafos de Conhecimento

Por se tratar de um trabalho desenvolvido também com o auxílio de conceitos superficial de IAD, O Sistema conta com dois tipos de grafos que simulam o raciocínio de especialistas e não especialistas nas operações do processo para execução dos prognósticos e, somente especialistas na supervisão do mesmo para realização das ações após os diagnósticos.

A primeira fase da elaboração dos grafos, foi a determinação das ocorrências anormais a partir da base de dados, concluída com o auxílio do programa Jargão que é, como já visto, uma aplicação das redes neurais nebulosas, calcada nos conceitos do aprendizado evolutivo e nas teorias do processamento da linguagem natural, ajudando no processo de padronização de textos encontrando termos de maior entropia que constituem o suporte da linguagem especializada da população envolvida [11].

A segunda etapa, foi a construção do algoritmo 1 (ver figura 16), que testa as ocorrências anormais detectadas em relação aos objetivos de uma planta marítima de processo, visando a navegação futura dos grafos.

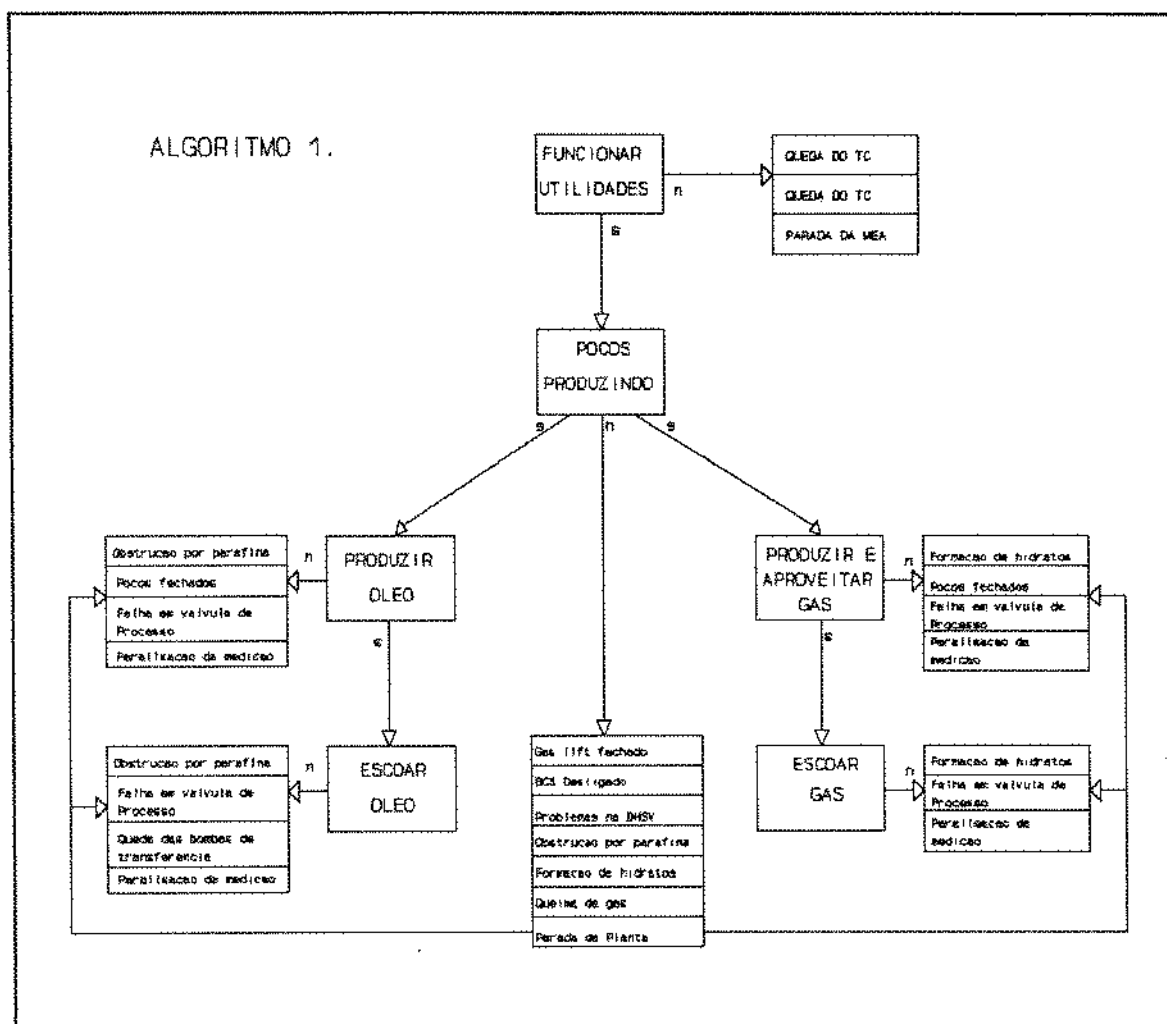


FIGURA 16: Algoritmo 1

O terceiro passo foi a aquisição do conhecimento complementar através de entrevistas com especialistas e não especialistas nesse tipo de processo, no sentido de que fossem obtidas as evidências e/ou sintomas que confirmaram os diagnósticos.

Com o conhecimento inicial obtido através do Jargão e seguindo as implicações deste algoritmo, foram levantados os grafos de conhecimento para desenvolvimento do sistema especialista a nível de operação.

A quarta e última fase, foi a elaboração do algoritmo 2 (vide figura 17), que testa as ações do supervisor em relação ao funcionamento dos módulos de uma planta considerada complexa.

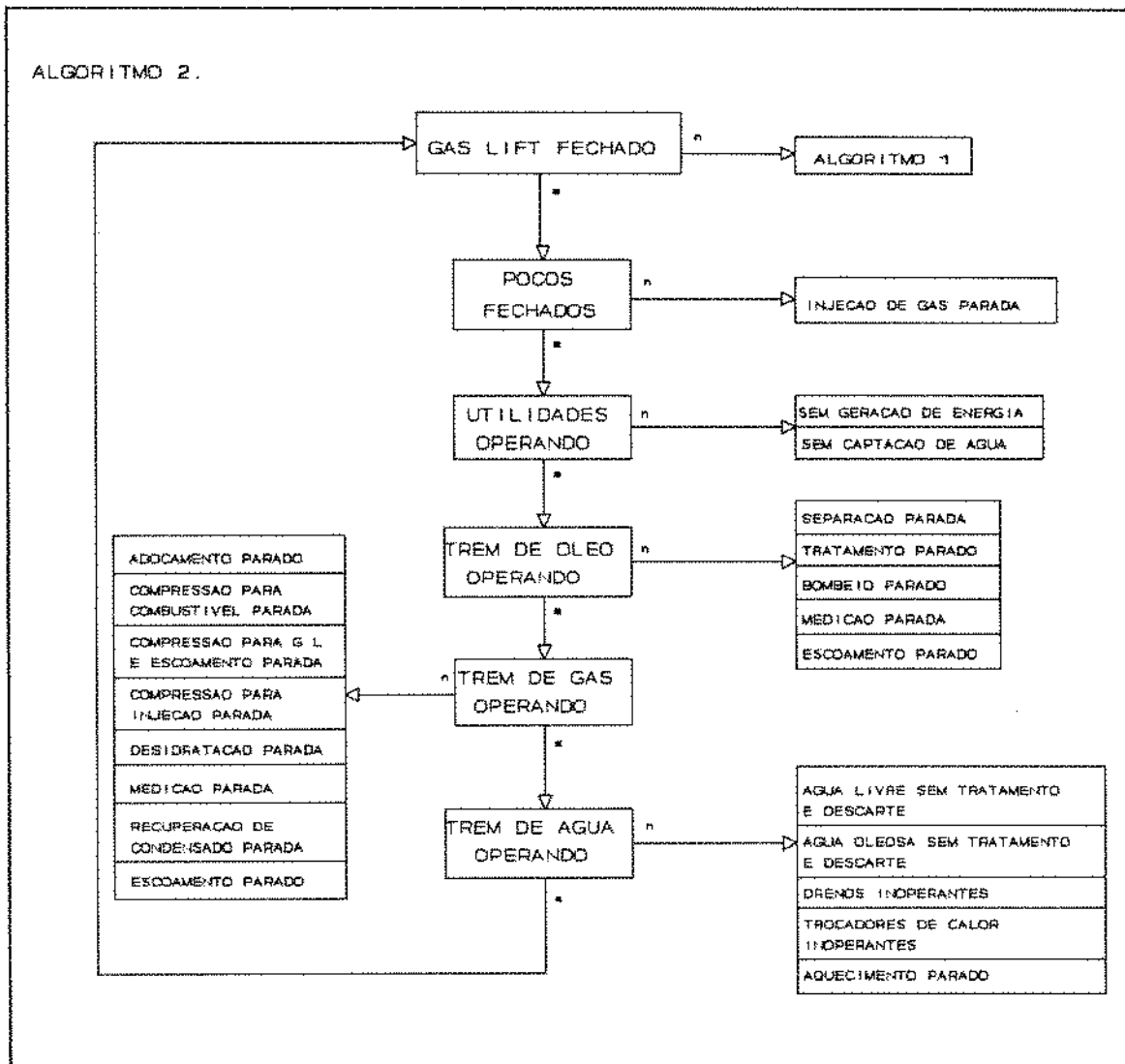


FIGURA 17: Algoritmo 2

4.1.3 _ Discussão e Implementação do Sistema

Logo após a organização da base de dados inicial (a definitiva será consolidada no campo) e a conclusão da aquisição do conhecimento, com o auxílio do sistema Kards (programas Kardic e Jargão), tornou-se transparente que este conhecimento poderia ser

manuseado e utilizado em um sistema especialista, construído com a noção de lógica nebulosa e redes neurais. Na figura 18, está configurada a estrutura do sistema especialista proposto;

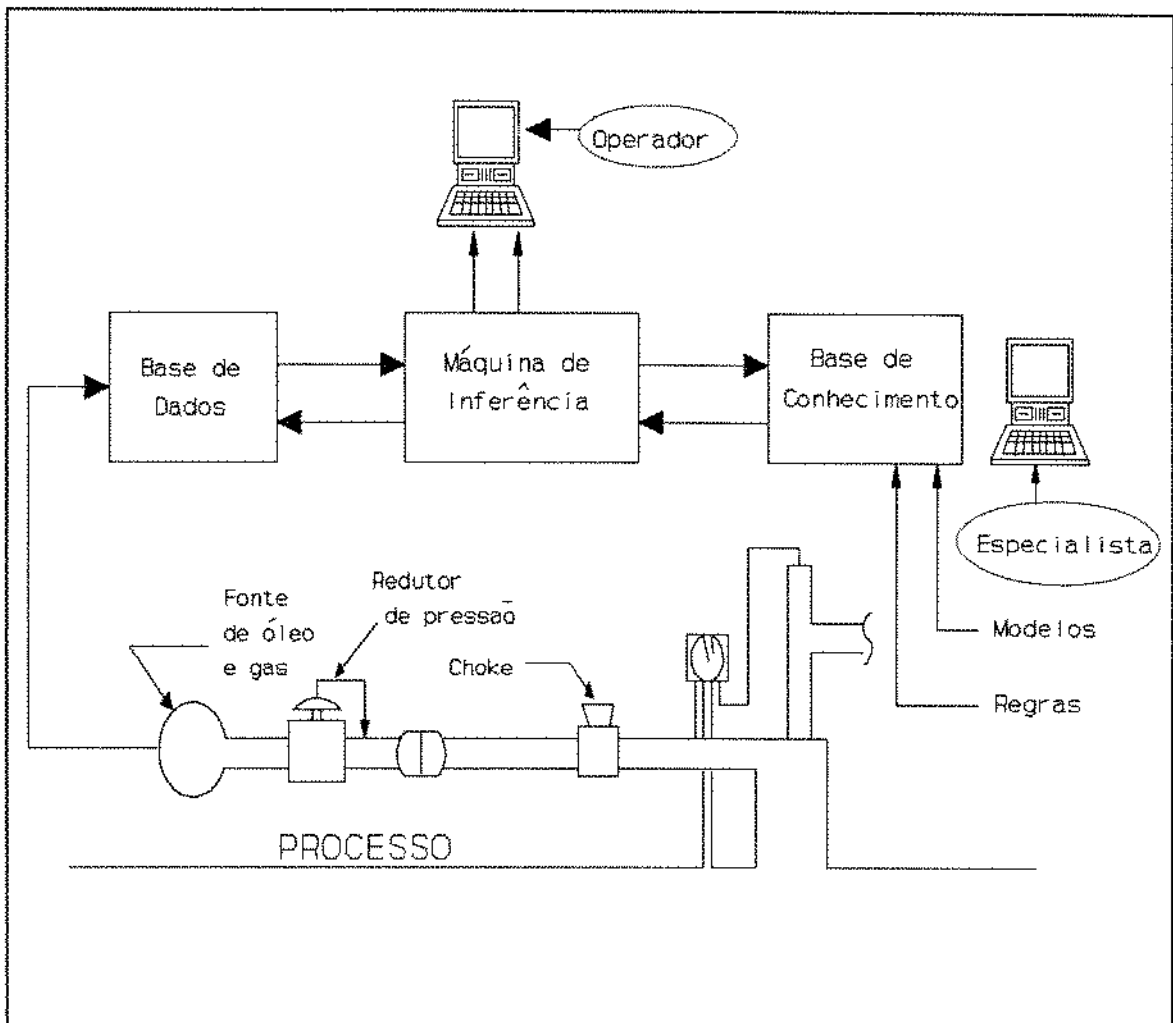


FIGURA 18: Estrutura do Sistema Especialista Proposto

A base de conhecimento deste sistema, armazena três tipos de informações: o conhecimento do especialista (modelagem da operação), o aprendizado (métodos para navegação dos grafos) e o conhecimento meta (como usar os dados). O conhecimento do especialista fornece por um lado, a estrutura do processo (grafos de conhecimento) e como vários componentes e variáveis interagem, exatamente como fazem os modelos de

processamento neste trabalho, e por outro lado, providencia as informações necessárias para as tomadas das decisões, para navegação desses grafos de conhecimento. A máquina de inferência processa o conhecimento especializado representado nos grafos, segundo as regras de navegação e dados atuais sobre o domínio do problema.

A filosofia de operação do sistema especialista resume-se então em; uma vez armazenadas as variáveis básicas de operação dos poços e, das linhas e da planta de processamento, comparar através de varreduras, os valores armazenados com os parâmetros de operação, prognosticar e diagnosticar as ocorrências anormais e alertar os operadores sobre as anormalidades corrigindo, se possível, os problemas previstos no programa.

Com relação as partes do processo acima enfocadas, as variáveis básicas são: pressão, temperatura e vazão; os poços são surgentes e com elevação artificial; as linhas são as de óleo, gas e água; e a planta de processo compreende manifolds, turbo e/ou moto geradores, turbo e/ou moto compressores, unidades de adoçamento e desidratação de gas natural, trens de óleo e água, bombas e demais instrumentos, que constituem os principais integrantes de uma planta de processo de uma plataforma de produção de petróleo.

4.1.3.1 _ O Programa QUEST

A navegação dos grafos de conhecimento que simulam o raciocínio do(s) especialista(s), é executada pelo módulo Quest do sistema Kards (também desenvolvido por Rocha et al. [16]). Para isto, cada grafo é tomado como um elemento da pasta Kards e cada gaveta pode ser utilizada para definir um conjunto de aplicação do conhecimento especializado. O conhecimento global necessário para controlar a planta de processo é arquivado nessa pasta. As propriedades de cada nodo do grafo, assim como as regras de navegabilidade, são implementadas por seleção de métodos computacionais colocados a disposição pelo Quest. Neste contexto, a implementação da rede de conhecimento se transforma em uma programação orientada por objeto, onde cada nodo do grafo é o objeto básico e suas propriedades definidas

pelos métodos a ele associados.

Para implementar o conhecimento de uma área de especialização procede-se da seguinte maneira:

- i _ implementa-se cada grafo com o auxílio do Quest (Gerques),
- ii _ define-se o conteúdo da pasta com o (Gerar), associando-se cada grafo a um ficha da pasta, da mesma maneira com que se define a pasta de uma base de dados e,
- iii _ define-se as gavetas (contexto de aplicação) também com o (Gerar), da mesma forma com que se define as gavetas de uma base de dados.

Para programar os grafos no Quest, define-se inicialmente o nome ou o número do nodo e a seguir determina-se uma sentença que será utilizada pelo Quest para comunicar-se com o usuário;

- 1 _ a respeito de dados que necessita para o processamento naquele nodo, caso defina-se uma pergunta a ser feita ao usuário na área de comando, ou;
- 2 _ a respeito do processamento realizado; neste caso a sentença é usada para sinalizar o resultado do processamento na área de comando,

Ex.

; nodo vazão

 valor da vazão:

\

; comentário

\

; métodos

A rede de raciocínio pode ser usada para implementação de sistemas especialistas, utilizando todo o sistema Kards como interface com o usuário. O Quest pode ser usado também como um navegador inteligente do sistema Kards.

4.1.3.2 _ Navegação dos Grafos do Sistema com o Programa Quest

Usando os algoritmos 1 e 2, para os nodos de agregação, decisão e hipótese, e as entrevistas, para os nodos evidências, foram construídos oito grafos de conhecimento sendo cinco de operação (informações de especialistas e não especialistas), simulando o fechamento do **gas lift** e três de supervisão (informações somente de especialistas), mimetizando o supervisor nas atitudes a serem tomadas quando da confirmação do diagnóstico acima.

A figura 19 mostra o grafo de conhecimento 01, que enfoca principalmente problemas em válvulas e **mandris de gas lift**;

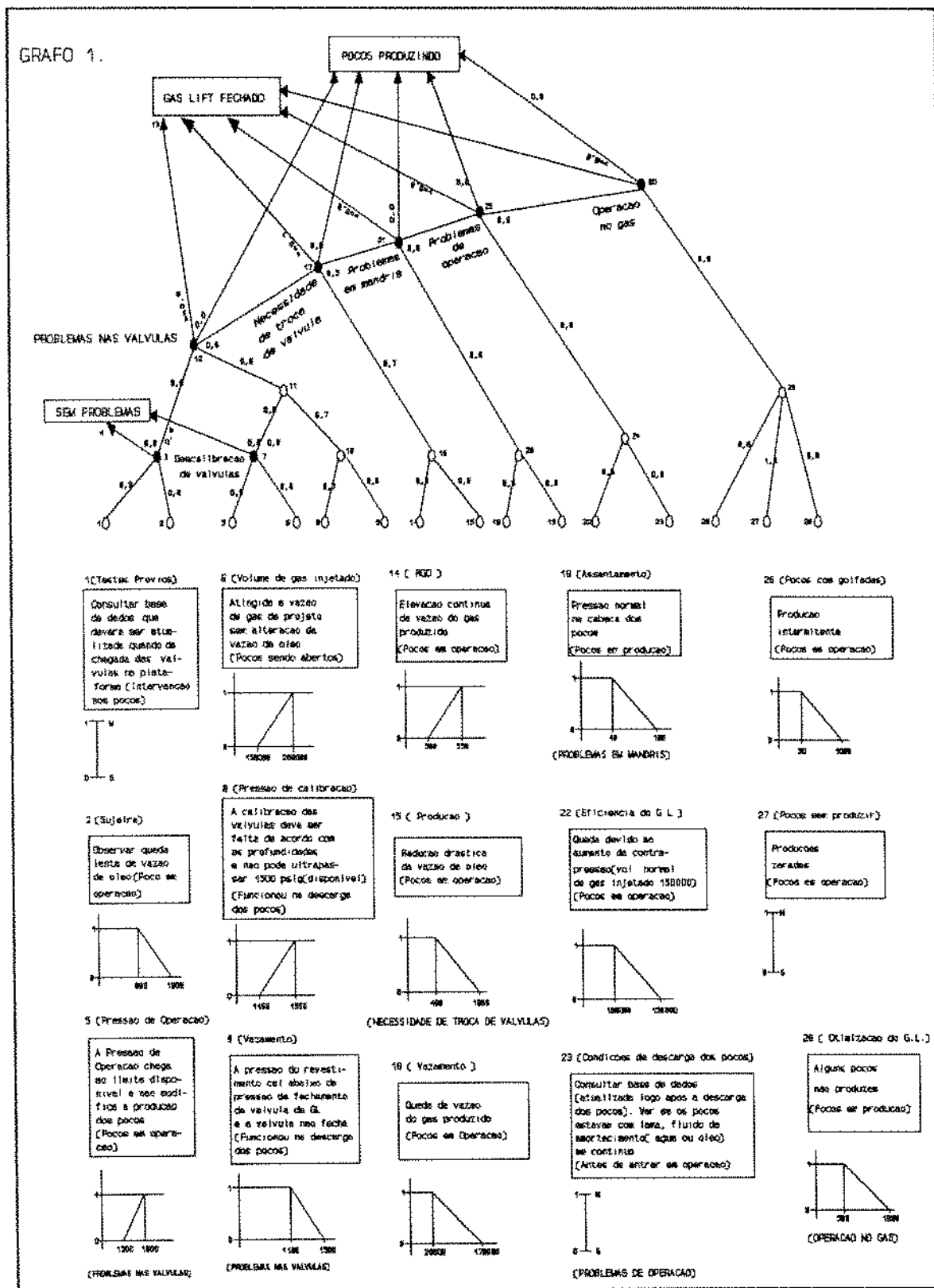


FIGURA 19: Grafo de Conhecimento 1

Este grafo é navegado no ambiente Quest através de seus nodos, decidindo **gas lift fechado** ou **poços produzindo**, sendo este último um dos objetivos de uma planta. A primeira ocorrência a ser investigada é "problemas nas válvulas" e as evidências testes prévios (consulta na base de dados) e sujeira (confirmada pela queda da vazão de óleo para um patamar previamente definido) nas válvulas de **gas lift**, têm suas confianças definidas pelos métodos do Quest !COL S|0;@N|1;@F (associa valores 0 ou 1, sim ou não, aberto ou fechado e outros), e !CON 0|1;@800|1;@1000|0;@F (associa valores entre 0 e 1 no caso, decrescente) respectivamente. Para facilitar a navegação nos grafos deste trabalho, o valor 1 foi escolhido como patologia nos mesmos. Assim, o valor (calculado ou atribuído) 0 para as duas evidências (válvulas testadas e vazão de óleo normal) indicam ausência de problemas; o valor 1 para as mesmas, implica no diagnóstico fechamento do **gas lift** e o sistema chama automaticamente o grafo de supervisão correspondente (no caso o grafo 06) e o valor de confiança 1 para quaisquer das duas, leva o sistema a investigar outras evidências. Em se concluindo pela última alternativa, para confirmação ou não do diagnóstico, mais oito nodos devem ser varridos neste grafo, sendo quatro de evidências, dois de agregação e dois de decisão. Os métodos empregados são: CON, associando confiança a valores de pressão (operação e calibração) e volume de gas injetado no poço, CA1, MAX, MIN (que calcula médias, máximos e mínimos usando uma precisão) e SLT (que decide, dependendo das relevâncias, os direcionamentos condicionados pelo(s) especialista(s) respectivamente. Em termos de confiança, agregações e decisões, o grafo continua navegando, usando em alguns nodos outros métodos como CA0 e CA2 (outros tipos de cálculos numéricos), ACA (define varáveis), CDT (preenche os diagnósticos) CHA (chama outro grafo), COP (cópia itens de outros grafos), DAD (transfere dados para rascunho), ESP (impede processamento confirmado), IMP (importa dados de arquivo especificado), INI (reinicia a navegação em item especificado) e, RSC e SCR (métodos para leituras de rascunho). O Quest dispõe de mais outros métodos (numéricos e não numéricos), porém foram listados aqui apenas os métodos pertinentes aos grafos 01 e 06 que estão sendo enfocados.

As figuras 20,21,22 e 23, mostram os grafos de operação **utilidades paradas**, **produção de óleo e gas**, **escoamento de óleo e gas** e **planta funcionando**, respectivamente.

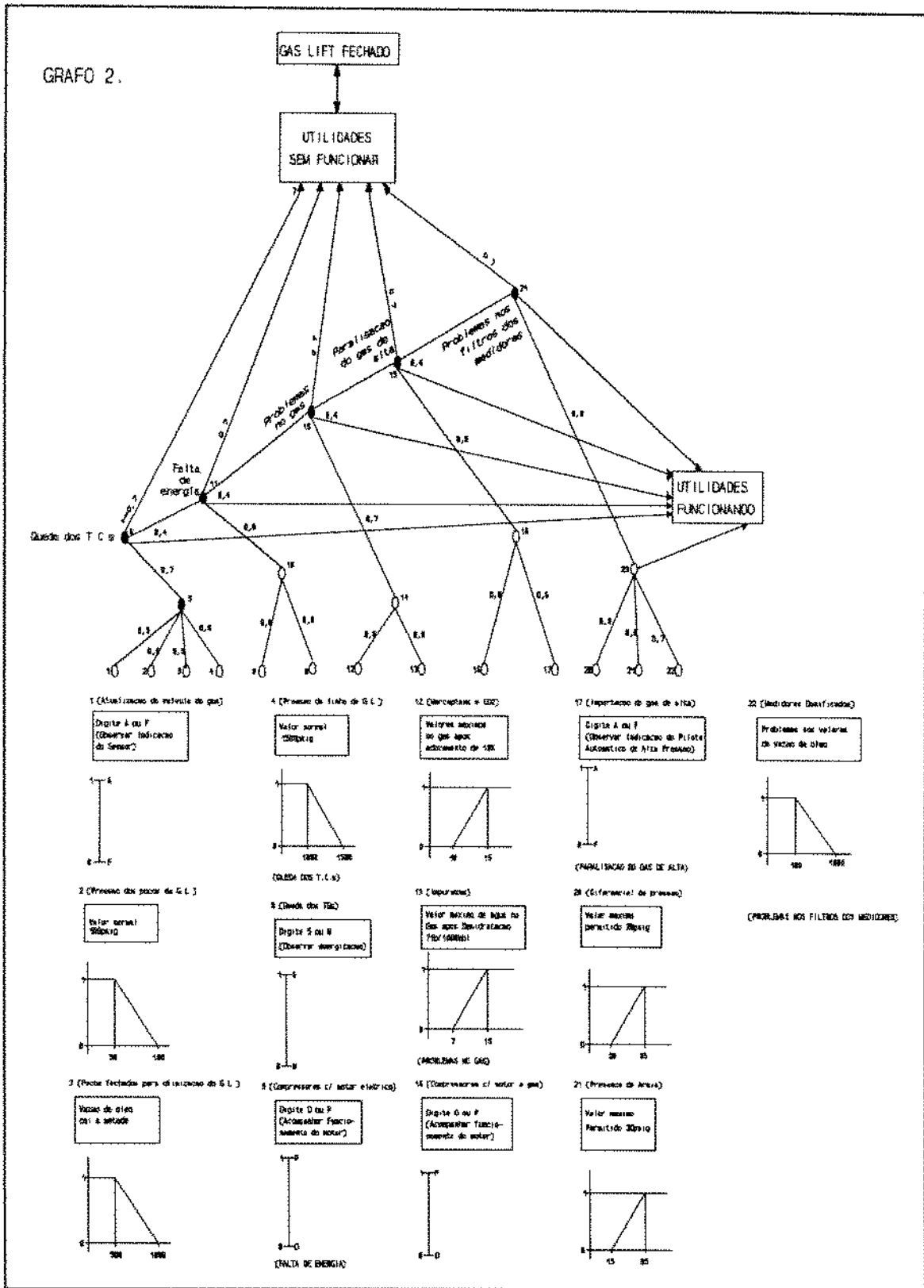


FIGURA 20: Grafo de Conhecimento 2

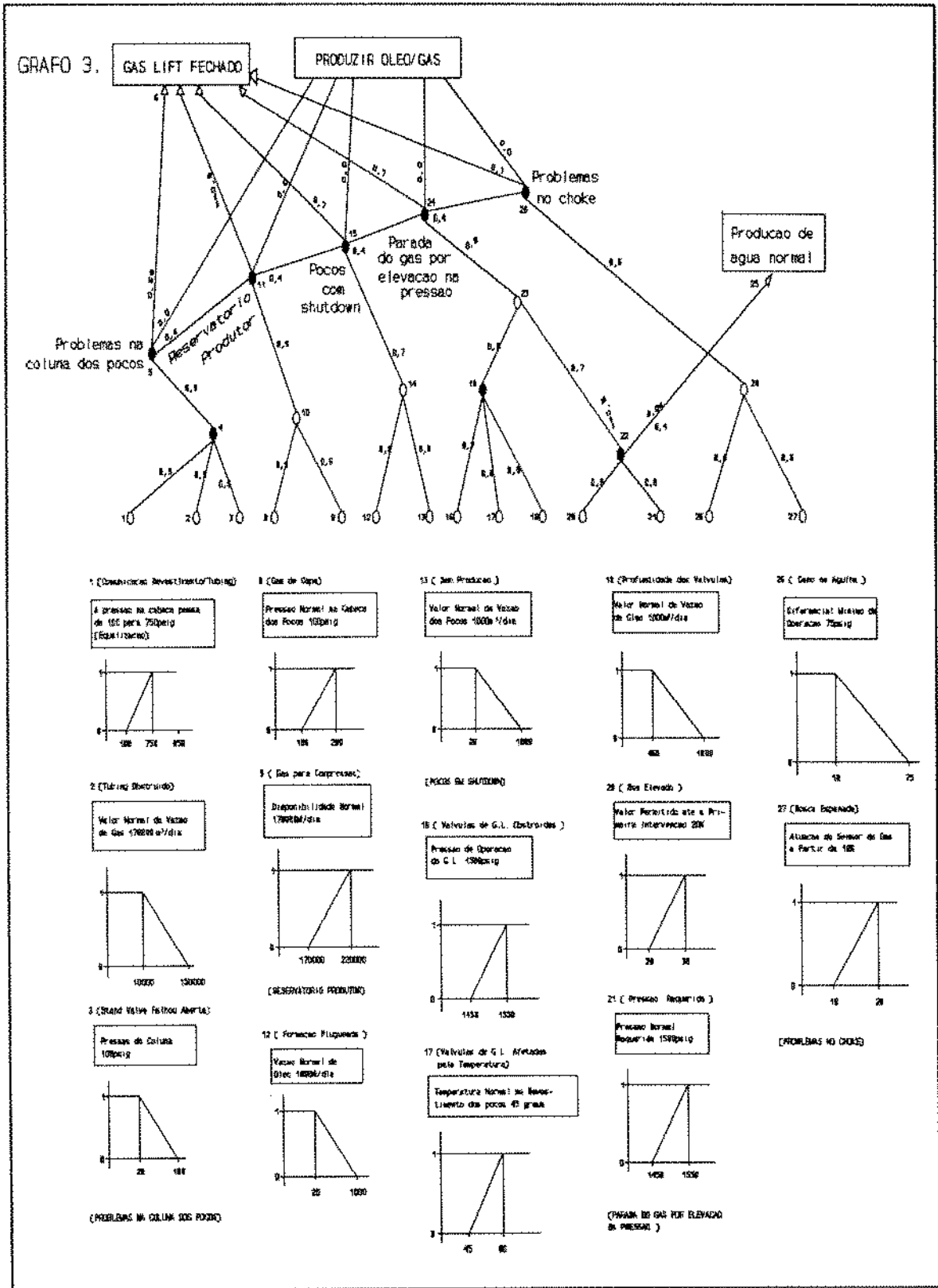


FIGURA 21: Grafo de Conhecimento 3

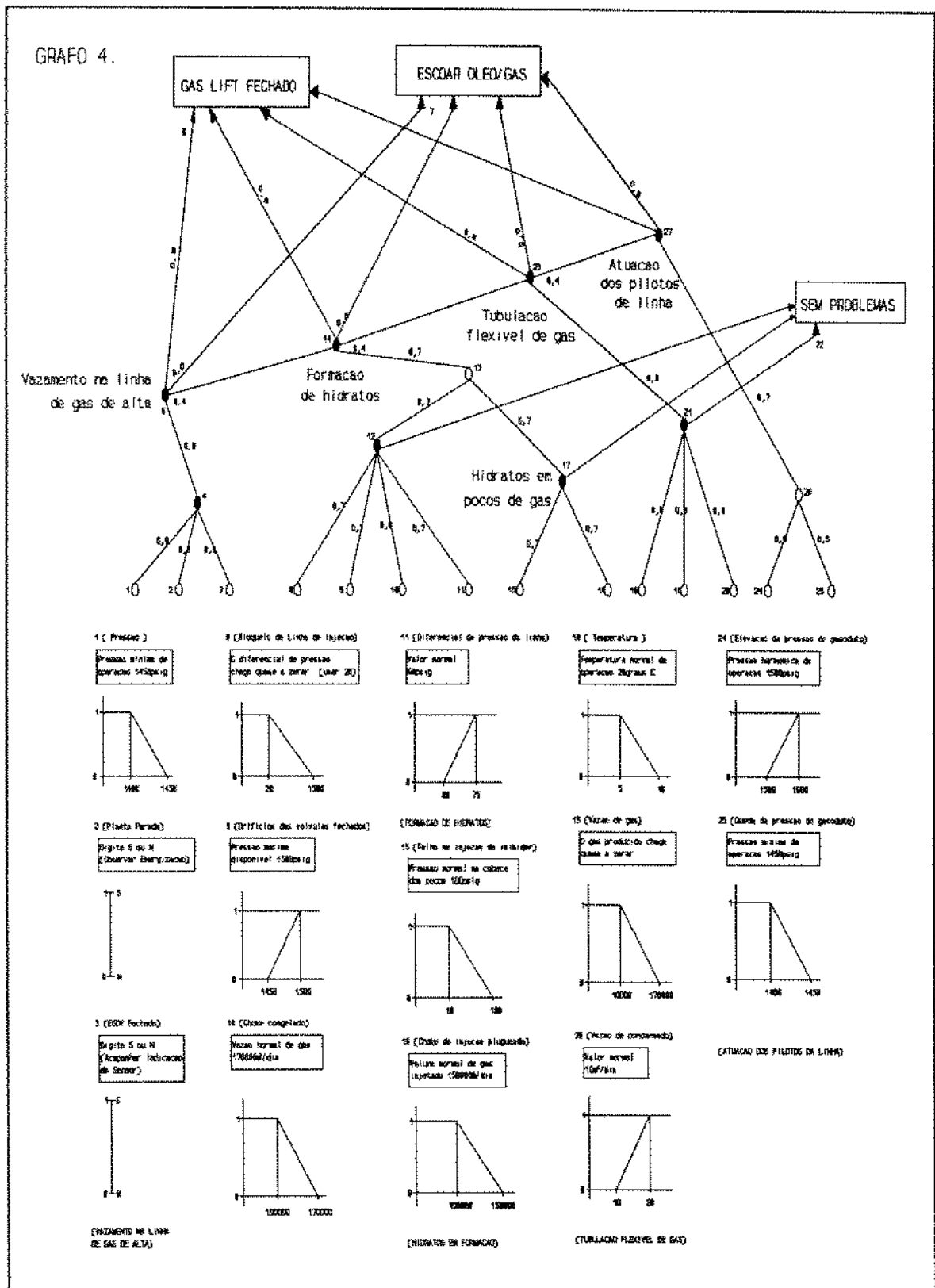


FIGURA 22: Grafo de Conhecimento 4

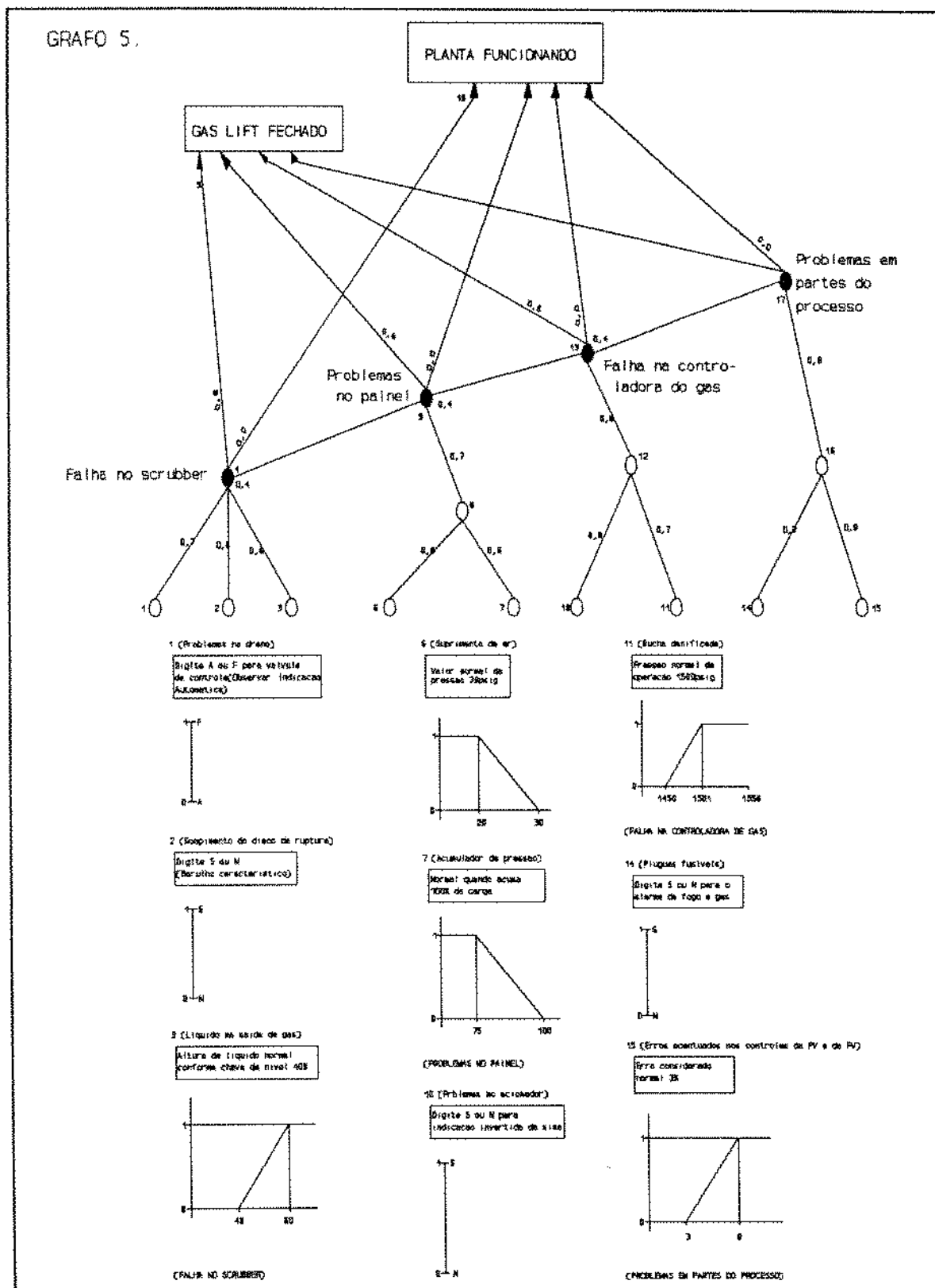


FIGURA 23: Grafo de Conhecimento 5

O grafo 06 ou supervisor 01, trata das operações que devem ser providenciadas no trem de óleo (devem ser mantidos os níveis dos vasos de separação e tratamento e deve ser parado imediatamente o sistema de bombeio), ato contínuo após a parada diagnosticada nos grafos 01 ou 03. Métodos de resolução são os mesmos 01 e 03 e os outros grafos supervisores se sucedem similarmente, observando-se as particularidades de funcionamento dos trens de gas natural e água da formação. A figura 24 que esboça o grafo de supervisão **trem de óleo parado**, demonstra bem a situação descrita;

GRAFO 6.

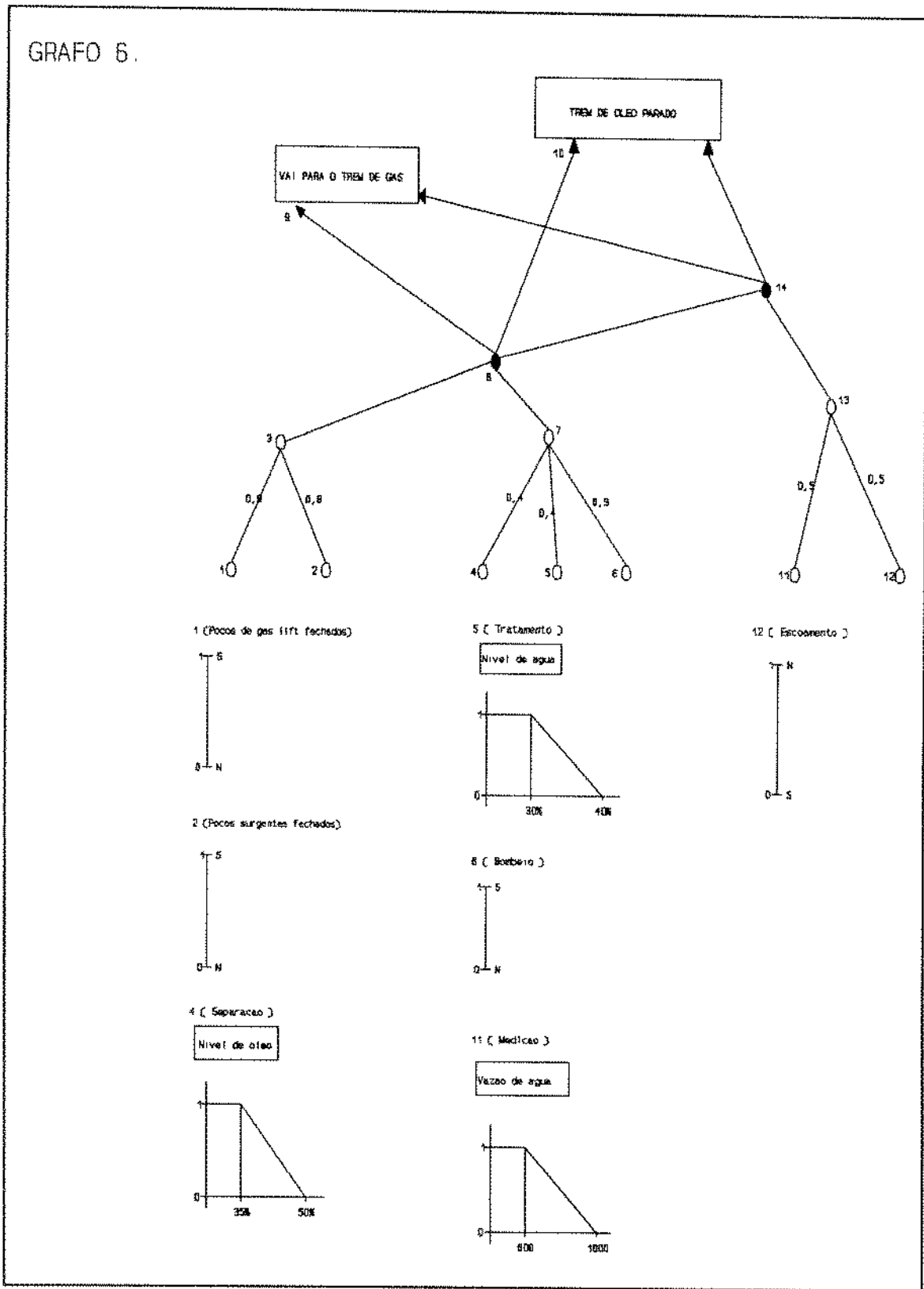


FIGURA 24: Grafo de Conhecimento 6

As figuras 25 e 26, mostram o grafos de supervisão trem de gas parado e trem de água parado que complementam o sistema;

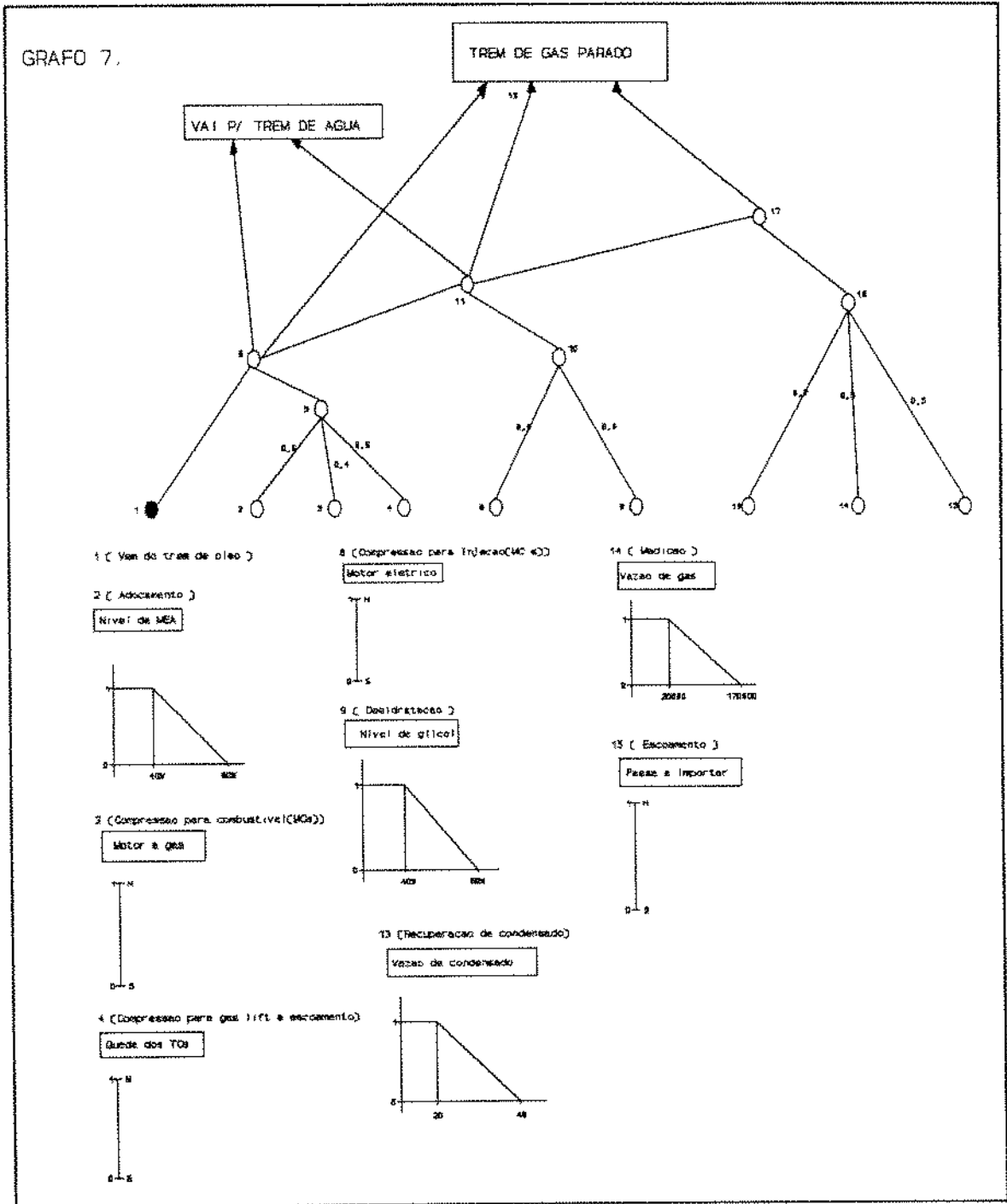


FIGURA 25: Grafo de Conhecimento 7

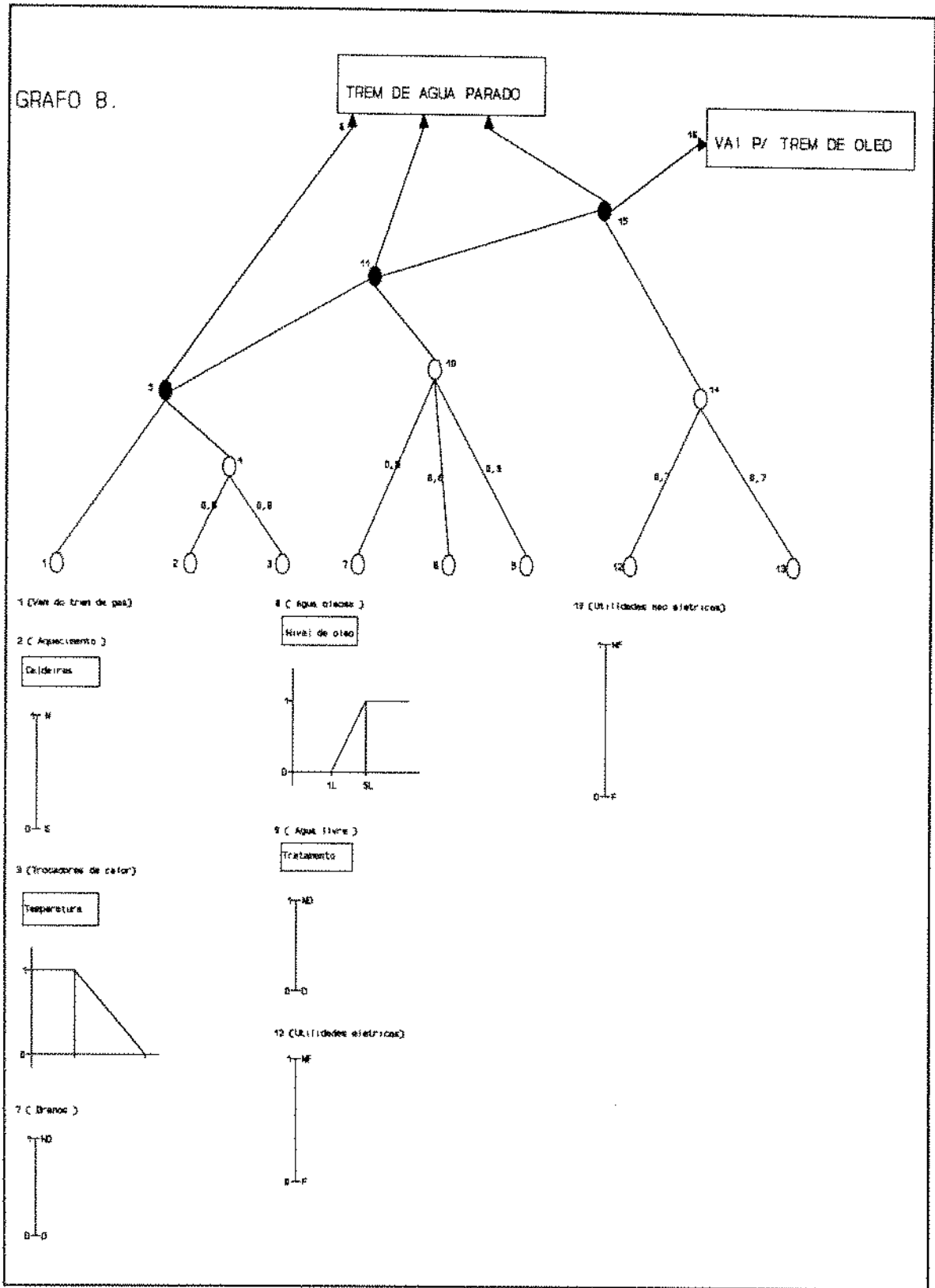


FIGURA 26: Grafo de Conhecimento 8

4.1.3.3 _ Implementação do Sistema Especialista

Quanto a implementação no campo, a idéia é instalar o sistema especialista inicialmente nas plataformas que já dispõem de sistemas de automação industrial implementados no processo, aproveitando os micros e/ou minicomputadores e sensores instalados, observando as características de cada um no tocante as velocidades de processamento e informação, a fim de que seja observado o funcionamento **on line** e multidiagnóstico do mesmo. Nas plataformas com controle convencional de processamento, a proposição é o desenvolvimento e implementação de um projeto de automação, cuja instrumentação permita o uso desse sistema especialista em funcionamento **on line** com a operação.

4.1.3.4 _ Validação

O sistema desenvolvido foi simulado com um modelo teórico descrito posteriormente neste trabalho e testado com casos concretos de campo, para verificação da real precisão das evidências e consolidação das regras pesquisadas e checagem da performance do sistema, frente aos novos problemas. Este estágio requereu adaptações exclusivas das evidências às ocorrências nas plantas simulada (caso teórico) e testadas (casos de campo) e, informações, bem como testes adicionais aos programas elaborados para geração de dados.

Para que o range inicial de classificação das plantas fosse coberto e, considerando também os dados (inclusive as utilidades integrantes do sistema) disponíveis para simulações, as plantas das plataformas dos casos reais de campo 01, 02 e 03, tiveram seus controles estudados e testados com relação às paradas devido ao fechamento do **gas lift**, cujo objetivo nessa fase é testar esta ocorrência no programa, estando os resultados confirmando precisamente, os parâmetros de uma planta simples-média, média-complexa e complexa, de acordo com processo instalado.

Durante a fase de validação, os grafos de prognósticos e diagnósticos do sistema especialista foram confrontados com os casos de campo que operam, no momento, com controles convencionais. Os processos de verificação e validação de cada planta estão mostrados na forma a seguir, com os dados apresentados através das tabelas 03 a 11 (grafos 1 a 8).

TABELA 3: Dados do Grafo 1

GRAFO 1	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
Tipo de Planta	Complexa	Simplex a Média	Média a Complexa	Complexa
Número de Poços	2-Gas Lift	8-Gas Lift 5-Surgentes	16-Gas Lift 8-Surgentes	22-Gas Lift 7-Surgentes
Testes Prévios nas Válvulas de Gas Lift	Sim e Não	Não (1 poço)	Sim	Sim
Vazão Óleo Prod.(m ³ /d)	1000	204	6711	3828
Pres. Op.(psig) do Gas Lift	1500	980	1308	1455
Vol.de gas p/ Gas Lift (m ³ /dia)	150000	136660	500000	943000
Pressão Cal. Válv.(psig)	1500	950	1290	1425
Press. no Revest. (psig)	1500	975	1305	1450
Razão Gas/Óleo (m ³ /m ³)	500	950	119	80
Vazão Gas Produzido (m ³ /dia)	170000	232946	800000	488000
Press.Cab.Poços (psig)	100	176	215	180
Cond.Desc.Poços	C. e E.	Certa	Certa	Certa
Poços sem Produzir	Sim e Não	Só os de Gas Lift	Só os de Gas Lift	Só os de Gas Lift

TABELA 4: Dados do Grafo 2

GRAFO 2	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
Atuação da Válvula de Gas de Alta	Aberta e Fechada	Fechou	Fechou	Fechou
Queda dos TG's	Sim e Não	Sim (gerador)	Sim	Sim
Parada dos Compressores (Motor Elétrico)	Sim e Não	Não Tem	Não	Sim
Presença de H ₂ S e CO ₂	Sim e Não	Não Tem	Não Tem	Sim
Impurezas no Gas	Sim e Não	Sim	Sim	Sim
Parada dos Compressores (Motor a Gas)	Sim e Não	Não	Não	Sim
Importação do Gas de Alta	Sim e Não	Parou	Parou	Só importa Gas Comb.
Dif. de Pressão nos Medidores (psig)	30	Não Controla	Chega a 50	50
Presença de Areia (Pressão Dif.) (psig)	30	Tem	Não Tem	Não Tem

TABELA 5: Dados do Grafo 3

GRAFO 3	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
Temperatura no Revestimento (°C)	38	23	20	60
BSW Médio (%)	20	10	30	40
Diferencial de Pressão no Choke (psig)	70	Chega a 50	50	35
Rosca Espanada (% de Gas)	5	Traços	Traços	Traços

TABELA 6: Dados do Grafo 4

GRAFO 4	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
Planta Parada	Sim e Não	Confirmou	Confirmou	Confirmou
ESDV Fechada	Sim e Não	Sim	Sim	Sim
Bloqueio na Linha de Injeção (Dif. de Pressão) (psig)	Sim e Não	Sim	Sim	Sim
Orifícios das Válvulas Fechados (Aumento da Contrapressão)	Sim e Não	Sim	Sim	Sim
Choke Congelado (Reduz Gas Prod.)	Sim e Não	Sim	Sim	Sim
Falha na Injeção de Inibidor de Hidratos	Sim e Não	Não Usa	Não Usa	Não Usa
Temperatura na Cabeça dos Poços (°C)	25	45	52	62
Vazão de Condensado (m ³ /dia)	5	Produção Contab. em GMR	33	53

TABELA 7: Dados do Grafo 5

GRAFO 5	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
LCV de Dreno de Scrubber	Testada.c/ Aberta/Fech.	Fechou	Fechou	Fechou
Rompimento do Disco de Ruptura	Sim e Não	Já Houve	Já Houve	Já Houve
Líquido na Saída de Gas	40	No Máx. 10%	No Máx. 10%	No Máx. 10%
Suprimento de Ar (psig)	30	100	150	150
Acum.de Pressão (% Carga)	100	até 75	Não Controla	Não Controla
Problemas no Acionador da Controladora de Gas	Testado com Sim e Não (OK)	Só na Pré-Operação	Só na Pré-Operação	Só na Pré-Operação
Bucha da Válvula Danificada (Press. de Op.) (psig)	Testada c/ Pressão Maior (OK)	Existe Registro na Área	Só na Pré-Operação	Só na Pré-Operação
Rompimento de Plugs Fusíveis	Sim e Não (OK)	Sim	Sim	Sim
Erros nos Controles da LV e PV	3%	Não Controla	Chega a 5% mas Não Fecha Gas Lift	5% mas Não Fecha Gas Lift

TABELA 8: Dados do Grafo 6

GRAFO 6	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
Poços de Gas Lift Fechados	Sim e Não (OK)	Sim	Sim	Sim
Poços Surgentes Fechados	Sim e Não (OK)	ou Todos ou Esporádicos	ou Todos ou Esporádicos	ou Todos ou Esporádicos
Separação O/G/A (% de Nível)	45	até 60	até 50	até 50
Tratamento de Óleo (% de Nível)	40	No Máximo 20	No Máximo 20	No Máximo 20
Sistema de Bombeio	Parado	Parado	Parado	Parado
Medição de Óleo	Produção Normal	Apenas p/ Observação	Apenas p/ Observação	Apenas p/ Observação
Escoamento de Óleo	Produção Normal	Apenas p/ Observação	Apenas p/ Observação	Apenas p/ Observação

TABELA 9: Dados do Grafo 7

GRAFO 7	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
Adoçamento do Gas (% Nível de MEA)	60	Não Tem	Não Tem	Inventário Mínimo 75
Compressão para Gas Combustível	Sim e Não (OK)	Não Tem	Não Usa Mais	Não
Queda dos TC's	Sim e Não	Não Tem	Não Tem	Sim
Compressão de Gas para Injeção	Sim e Não (OK)	Não Tem	Não Tem	Não
Desidratação de Gas (% Nível de Glicol)	60	Não Tem	Não Tem	Inventário Mínimo 75

TABELA 10: Dados do Grafo 8

GRAFO 8	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
Aquecimento de Água (Caldeiras)	Operando e Parado	Não Usa	Não Usa	Parado
Trocadores de Calor (Temperatura) (°C)	120	Não Usa	Não Usa	105
Drenos	Testado c/ O e NO (OK)	Há Registro de Fechamento	Há Registro de Fechamento	Há Registro de Fechamento
Água Oleosa (Volume em l)	1	5	250	150
Água Livre	O e NO	NO	NO	NO
Utilidades Elétricas	O e NO	NO	NO	NO
Utilidades Não-Elétricas	O e NO	NO	NO	NO

Na sequência, a seguinte discussão sumariza a análise de cada caso tendo em conta os objetivos finais do sistema :

Modelo Teórico

Foi elaborado conforme metodologia descrita no apêndice A. Foram usados neste caso hipotético os dados resultantes das simulações dos trabalhos citados no anexo acima, para o reservatório, os poços com **gas lift**, a planta de processo e as linhas internas e de escoamentos.

As modificações nos valores foram sugeridas por técnicos e engenheiros de operação e acompanhamento de campos de produção.

Este modelo simula uma planta de processo complexa com os processamentos completos de óleo, gas e água.

Caso Real de Campo n. 1

O primeiro caso testado foi de uma planta de processamento de óleo e gas, considerada de simples a média complexidade, instalada numa plataforma da Bacia Potiguar. Apenas um dado de funcionamento das utilidades e alguns detalhes de operação de dois vasos de pressão desse processo, não estavam disponíveis.

Neste caso, foram utilizados valores extraídos do modelo teórico como faz o especialista frente a estas situações. Além disso, devido à simplicidade desse processo real específico, algumas regras são desativadas porque as atividades a que se relacionam são inexistentes. Considerando-se os ajustes de conhecimento, o resultado pode ser avaliado como preciso, pois o sistema fecha o **gas lift** com os parâmetros correspondentes aos dias em que tais ocorrências estão registradas nos relatórios de operação da planta.

Os diagnósticos identificados e selecionados (nem todos são mostrados nos resultados), foram troca de válvulas de **gas lift** (02 poços), problemas em mandril (01 poço), alta rgo (02 poços) e pressão alta no revestimento (todos os poços de **gas lift**), todos incluídos no grafo

I do sistema especialista. Do grafo 2, foram observados falta de energia (ocorrência com alta repetição), desparafinação (03 poços) e problemas na válvula de importação de gas de alta; enquanto que do grafo 3, foram considerados: troca do castelo do **bean**, problemas na coluna de poços (ocorrência também de alta repetição), e contra pressão no sistema de **gas lift**. No grafo 4, foram diagnosticados pressão baixa no gasoduto de alta, vazamento na linha de gas de alta e formação de hidratos na planta e, no grafo 5, os destaques foram para problemas na controladora de gas, rompimento de plugues fusíveis e falha no suprimento do ar de instrumentação.

Caso Real de Campo n. 2

Trata-se de uma planta enfocada como de média a complexa instalada em uma plataforma da Bacia de Campos, cujos parâmetros se enquadram bem nesta categoria ilustrada. A disponibilidade de dados foi quase que total, e o resultado foi muito bom pois em torno de 75% das regras do sistema foram usadas e os diagnósticos foram confirmados em cada grafo de conhecimento correspondente.

Caso Real de Campo n. 3

Mais um caso de uma planta instalada em uma plataforma da Bacia de Campos, cuja a complexidade do processo (se encaixa na terceira categoria de ilustração) inspirou a montagem do caso teórico. Desta feita, a escolhida usa 100% das evidências do processo hipoteticamente projetado, embora a disponibilidade de dados tenha falhado em pequenos detalhes. À luz dos casos anteriores, os resultados foram considerados altamente satisfatórios, uma vez que os diagnósticos registrados oficialmente no acompanhamento da operação da plataforma, estão perfeitamente de acordo com a navegação dos grafos de conhecimento pertinentes ao caso.

4.1.3.5 _ Resultados do Processo de Validação

Os testes dos casos reais de campo comprovaram substancialmente a base de regras, bem como o processo de inferência, que decide quais regras checar e quando. Mesmo após várias discussões com os especialistas, certos fatores como alguns conflitos de regras principalmente, não foram totalmente resolvidos pois cada problema foi considerado isoladamente, assim como as regras utilizadas para a resolução do mesmo. A simulação do caso teórico e os testes dos casos reais, permitiram os descobrimentos de possíveis problemas, não somente com regras operando individualmente, mas também, com regras trabalhando conjuntamente.

Cumprе ressaltar que as regras testadas só serão totalmente validadas, depois da implementação do sistema especialista em uma plataforma, de modo "on line" com o processo de uma planta operando continuamente, quando então deverá ser construída a base de dados considerada definitiva, para os processos controlados pelo sistema.

4.2 _ Arquitetura do Sistema Especialista SEPLANT

O sistema especialista desenvolvido neste trabalho para apoio a prognósticos e diagnósticos de problemas operacionais em plantas marítimas de processamento de petróleo e gas, é um ambiente computacional que orienta os operadores quanto a resolução de problemas reais inseridos no contexto do mesmo. Ele usou dois programas considerados auxiliares, para gerar os dados necessários ao funcionamento do mesmo quando da verificação da ocorrência de um dado problema e, dois programas tidos como de suporte, para apoio à organização e o manuseio da base de dados para diagnosticar (através de navegação), apenas uma das ocorrências (de uma planta) detectadas no trabalho, constituindo-se assim em um componente apenas dentro de um grande ambiente de programação computacional. Esta estrutura é baseada no fato de que o especialista humano utiliza uma variedade de ferramentas, para ajudá-lo na análise de problemas potencialmente complexos de uma planta.

A arquitetura do sistema especialista em foco, está montada em cima de três importantes componentes, conforme mostrados na figura 27 a seguir :

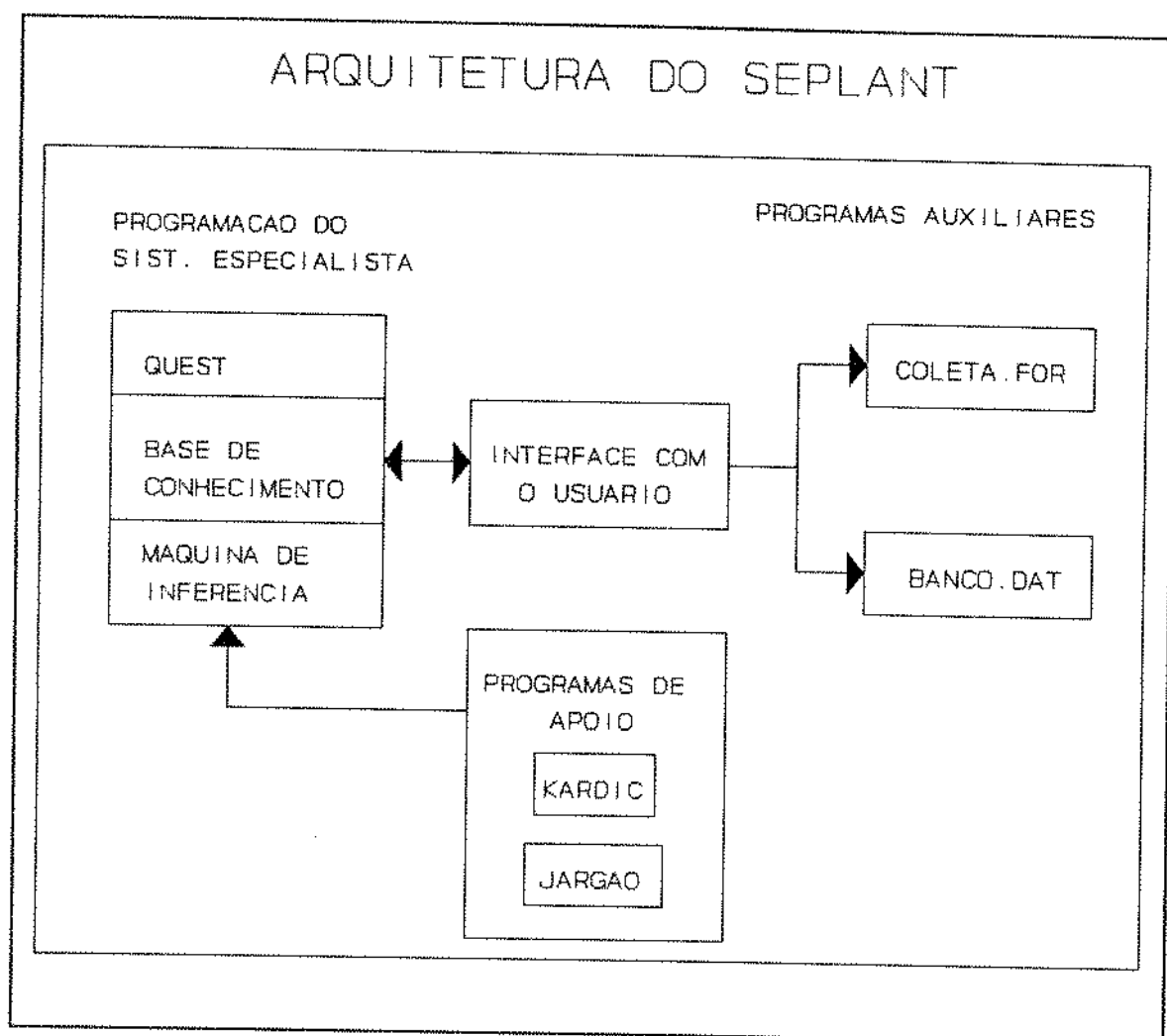


FIGURA 27 _ Arquitetura do Sistema Especialista SEPLANT

- 1 _ um sistema especialista contendo as regras obtidas através de pesquisas e entrevistas com operadores (especialistas e não especialistas), técnicos e engenheiros, ligados à operação.
- 2 _ uma interface amigável com o usuário, para orientá-lo quando da interpretação do processo.
- 3 _ cinco programas (Kardic, Jargão e Quest para suportes e Coleta.For e Banco.Dat como auxiliares), necessários à geração e organização dos dados.

Para os processos de prognóstico e diagnóstico do sistema, foi estabelecido um nível de performance onde ele tenta designar as condições normais de operação da planta. Depois do estabelecimento desses processos, o usuário é levado pelo sistema a analisar, através do mesmo, os dados coletados.

Após a análise do problema e da busca de metodologia para resolvê-lo, ficou evidente que o sistema especialista proposto requereria o particionamento destes problemas, para solução a nível hierárquico (exatamente como a operação convencional de uma planta instalada em uma plataforma), tendo então sido desenvolvido o SEPLANT usando superficialmente conceitos de IAD. Este sistema foi instalado em um micro classe PC-AT 286, com 1024 K de memória RAM e winchester de 40Mb.

A atuação do sistema frente a dados quantitativos, mostrou que quando prognosticada uma evidência que leva ao **shut down no gas lift** ou até mesmo na planta inteira, os parâmetros de operação da mesma são totalmente alterados no sentido de impedir a repetição do problema. Alguns parâmetros modificados são vazões, níveis, pressões, temperaturas e outros. O método adotado no sistema e consagrado também na indústria de automação do controle de processos [19], para avaliar se a planta não está operando corretamente, é a comparação dos dados quando do funcionamento anormal da mesma, com os dados assumidos como de operação normal. Assim, um modelo preciso da performance de cada planta é necessário para servir como marca característica de operações normais.

Com relação aos programas auxiliares, foram elaborados para leitura rápida e integrada dos parâmetros de processo e o correspondente arquivo de saída de dados, constituindo assim o conjunto de programas de análises dos dados.

5 _ APLICAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS

5.1 _ Comentários Sobre os Casos Testados

Com o objetivo de testar a confiabilidade e a disponibilidade (locais de implementação) de uso do sistema especialista desenvolvido, três das mais adequadas aplicações de plantas de processo instaladas em plataformas de produção, foram identificadas e acessadas. Isto não significa que outros arranjos de plantas marítimas de processamento, não possam ter performance igual ou até mesmo superior nos testes, que as selecionadas. Mas, se alguns aspectos construtivos como complexidade do controle e do processo e, condições de implementação e operação forem levados em conta, será difícil achar outros arranjos com tais características.

Nesta dissertação, todos os principais parâmetros de uma planta desta atividade, que poderiam afetar de alguma maneira a produção de óleo e gas (enfocando o **gas lift**), foram levados em conta tentando mimetizar da forma mais real possível o estado atual de operação da mesma.

Na hipótese de apresentação de um caso específico, o programa e o modelo desenvolvidos neste trabalho podem facilmente ser adaptados para mais ou menos dados e/ou diferentes considerações, tendo em conta que respostas consideradas "corretas" para muitos problemas, são atualmente soluções satisfatórias, mas certamente não exatas.

5.2 _ Discussão dos Resultados da Pesquisa

Com base na experiência adquirida no desenvolvimento deste sistema especialista, as seguintes considerações podem ser feitas, observando a construção de um sistema especialista qualquer para prognóstico e diagnóstico de problemas, e especificamente para este sistema.

As tarefas de desenvolvimento de um sistema especialista podem ser resumidas em duas principais a saber :

1 _ aquisição do conhecimento

2 _ desenvolvimento do sistema propriamente dito

As duas tarefas requerem diferentes detalhes, que por sua vez podem exigir diferentes pessoas para executá-los. Para construir o sistema com todas as ocorrências levantadas no período considerado e, acelerar o desenvolvimento do processo, seria necessária uma equipe heterogênia de pessoas envolvidas.

A tarefa de aquisição do conhecimento da área de IA, requer que um indivíduo se familiarize ao domínio do conhecimento do especialista e com isso, seja capaz de adquirir e representar o conhecimento numa forma organizada. Esse indivíduo, o entrevistador/eng. de conhecimento, é o responsável pelas conversas com os especialistas e as codificações dos conhecimentos extraídos, em uma base de conhecimento. Estas informações são então fornecidas às atividades de elaboração do sistema.

Também uma pessoa com conhecimento de IA e do domínio do problema, pode realizar este trabalho, o que é o mais usado atualmente, devido as dificuldades existentes entre engenheiro de conhecimento versus especialista [8].

O processo de construção de um sistema especialista, exige do autor alguma versatilidade em programação computacional e exige também orientação para o mesmo, na área da inteligência artificial. O sistema aqui desenvolvido requereu o uso intensivo de gráficos

tanto para informação visual do usuário, como para permitir a análise de dados gráficos. Isto exigiu consideráveis tempos de programação, o que seria realmente uma tarefa otimizada, se realizada por alguém mais afeto a área.

A intenção destes comentários é demonstrar que, para que a tarefa de construção de um sistema especialista seja executada rápida e eficientemente, o processo de desenvolvimento deve ser dividido em duas subtarefas que são a aquisição do conhecimento e a elaboração do sistema propriamente dito.

Na área de diagnósticos de problemas em plantas de processo, descobriu-se que procedimento de extração do conhecimento é bastante facilitado através do uso de casos de campo, onde seguramente está implícito o conhecimento do especialista. Muitas vezes o especialista encontra dificuldades para explicar verbalmente certas informações que seriam facilmente percebidas, se providas através de discussões com base em casos de campo. Assim, estes casos permitem ao especialista apontar visualmente e verbalmente características relevantes.

Dentre outras, uma das importâncias da validação é a identificação dos pontos fortes e fracos das regras de diagnósticos, através das quais se conclue que regras precisam ser mudadas e/ou adicionadas. Também, o emprego frequente de desigualdades nas pré-condições de alguma regras, implicaram em testes das mesmas frente a casos de campo para estimativa dos fatores de tolerância, quando da comparação de medidas de campo com os valores previstos destas medidas.

Na modelagem, o programador deve sempre ser capaz de identificar as hipóteses e as limitações do modelo e, os pontos fracos do sistema especialista devem também ser mostrados. Este trabalho pode ficar ainda mais próximo do processo de interpretação que é usado pelo especialista.

6 _ CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Esta dissertação demonstra a aplicação da tecnologia de desenvolvimento de um sistema especialista, para análise da performance de operação de uma planta marítima de processamento primário de óleo, gas e agua produzidos.

Com base no trabalho de construção do sistema especialista, as seguintes conclusões podem ser apresentados :

- 1 _ A principal conclusão é a confirmação de que é possível adquirir conhecimento a partir de documentos técnicos diversos e entrevistas, de forma clara e precisa e transferi-los para novos grupos de operação de plantas e/ou para sistemas especialistas.
- 2 _ As principais contribuições são:
 - _ um melhor entendimento do processo de operação de uma planta marítima de processamento primário de óleo, gas e água produzidos.
 - _ grafos explicando os fatores, dados e raciocínio nesse processo de explicitação do conhecimento.
 - _ uma metodologia para automatizar e organizar conhecimentos dessa área.
- 3 _ O conhecimento adquirido neste estudo pode ser considerado bem estruturado, principalmente devido a difusão já alcançada pela atividade explorada.
- 4 _ É possível desenvolver um sistema especialista com o conhecimento de diagnósticos de problemas, ocorridos em plantas com processos simples, médio e complexo.
- 5 _ O sistema especialista desenvolvido, SEPLANT, pode ser usado como uma

ferramenta de suporte aos operadores (técnicos e engenheiros), para análise da performance da planta.

- 6 _ O SEPLANT pode ser instalado em um simples computador classe PC-XT ou em um moderno **lap top** (portátil) podendo desta forma, ser empregado no apoio ao pessoal de operação embarcado em plataformas de produção, para a identificação dos problemas inerentes à planta.
- 7 _ A performance do sistema melhora com o acréscimo de novas regras, com o tempo de uso e com **feed back** apresentados na resolução de novos problemas, lembrando mais uma vez que, nas condições atuais, este sistema está apto para diagnosticar os problemas inerentes a ocorrência "gas lift fechado".
- 8 _ A discussão de casos reais de campo durante as entrevistas com os especialistas, ajudam bastante na aquisição do conhecimento quando da análise do processo.
- 9 _ As tarefas de codificação dos conhecimentos dos especialistas (e não especialistas) e, o desenvolvimento da base de conhecimento, podem ser executados tanto por técnicos especialistas como não especialistas.
- 10 _ Na atividade analisada - operação de plantas de processo - é possível a implementação de programas para atualização contínua das bases de dados e do conhecimento do sistema especialista.
- 11 _ As estratégias de prognósticos e diagnósticos desenvolvidas nesta dissertação, satisfazem os critérios para avaliação do SEPLANT, concluindo que o mesmo é capaz de diagnosticar um grande número de falhas na operação do **gas lift**, conforme demonstrado no subitem construção dos grafos de conhecimento.

12 _ Com o sistema especialista desenvolvido, os seguintes resultados podem ainda ser obtidos automaticamente do mesmo:

- . adaptação dos controles das plantas existentes e em operação (emissão de boletins e relatórios) de acordo com a nova situação proposta, organizando com isto a base de dados definitiva do sistema especialista.
- . identificação dos sistemas e dos equipamentos que mais falharam durante período de interesse do levantamento.
- . contabilização das perdas de óleo e gas natural através do processamento do Kardic, na ficha 03 que tem como título perdas.

Sugestões para Futuros Trabalhos

O sistema especialista SEPLANT está preparado apenas para diagnosticar problemas da ocorrência **gas lift fechado**, apesar das outras dezesseis ocorrências, tão importantes quanto essa para o funcionamento da planta, detectadas na base de dados. No entanto ele serve como um bom modelo de partida, para simulações e testes dos outros diagnósticos dessas outras ocorrências. Como quaisquer sistemas especialistas que modelam situações dinâmicas, este sistema deve ser continuamente atualizado para se adaptar aos avanços tecnológicos na área de processo. A programação do sistema especialista SEPLANT (e de seus programas auxiliares) deve ser expandida para permitir integração com vários outros programas quantitativos existentes fora da mesma.

Deve ser analisada também, a viabilidade do desenvolvimento de uma versão completa do SEPLANT para implementação definitiva no campo, com todas as ocorrências possíveis em uma planta considerada complexa, segundo a classificação deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] _ Brill, J.P. & Beggs, H.D.
1986. "Two Phase Flow in Pipes 5", Ed. The University of Tulsa, Oklahoma.
- [2] _ Capucci, E.C.
1990. "Simulação de Descarga de Poços Através de Válvulas de **Gas Lift**".
Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.
- [3] _ Derek, H.J.
1988. "Sucker Rod Pumping Unit Diagnostics Using and Expert System and
Pattern Recognition Technique", MS Thesis, Texas A & M University,
College Station, Tx.
- [4] _ Duns, H. & Ros, N.C.J.
1963. "Vertical Flow of Gas and Liquid Mixtures in Wells". Proc. 6th World
Pet. Congress.
- [5] _ Holtz, F.
1991. "Sistemas Especialistas _ Programando em Turbo C". (Trad. Cabral, F.
Ed. Campus, Rio de Janeiro).
- [6] _ Homem, F. C. F.
1991. "Offshore Power Generation Reliability and Availability", MS Thesis,
Cranfield Institute of Technology, London.

[7] _ Kane, L. A.

1989. "Handbook of Advanced Process Control Systems and Instrumentation". Second Printing.

[8] _ Lideniro, A.

1990. "The Potencial Application of Artificial Intelligence to the Petroleum Industry", SPE 21138, in: SPE Latin American Petroleum Conference, Rio de Janeiro, Brasil.

[9] _ Machado, R. J. et Rocha, A. F.

1988. "Calculating the Mean Knowledge Representation from Multiple Experts", in: V Brazilian Symposium on A. I., Nov./7-11/1988, Natal - RN.

[10] _ Minsky, M.

1985. "The Society of Mind", Simon & Schuster, New York.

[11] _ Miura, K.

1992. "Um Método para Aquisição e Representação de Conhecimento Sobre Procedimentos Operacionais em Serviço de Completação de Poços Marítimos", Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

[12] _ Namiti, G.

1991. "Modelo de Utilização do Paradigma **Blackboard**". Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

[13] _ Palowitch, B. J. L.

1987. "Fault Diagnostic of Processing Plants Using Causal Models", PhD Thesis, MIT, Massachussetts.

- [14] _ Rich, E.
1988. "Inteligência Artificial", Ed. Mc Graw Hill, São Paulo.
- [15] _ Rocha, A. F.
1985. "Disclosing Properties of Medical Reasoning", Unicamp, Dep. de Fisiologia e Biofísica.
- [16] _ Rocha, A. F.
1992. "Lecture Notes in Artificial Intelligence", Unicamp, Dep. de Fisiologia e Biofísica.
- [17] _ Rocha, A. F.
1992. "Neural Nets _ A Theory for Brains and Machines", Unicamp, Dep. de Fisiologia e Biofísica.
- [18] _ Santos, O.L.A.
1989. "A Dinamic Model of Diverter Operations for Handling Shallow Gas Harzards in Oil and Gas Exploratory Drilling". Ph.D. Dissertation, Louisiana State University.
- [19] _ Shighieri, L.
1987. "Controle Automático de Processos Industriais", Ed. Edgard Blucher, São Paulo.
- [20] _ Telles, P.C.S. & Barros, D.G.P.
1978. "Tabelas e Gráficos _ Projetos de Tubulações". Ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- [21] _ Vasconcelos, S.M.
1991. "Efeitos Transientes no Projeto e Análise de **Gas Lift** Contínuo".
Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

APÊNDICE A

MODELAGENS FÍSICA E MATEMÁTICA DO CASO TEÓRICO

Para construção do caso teórico (vide alguns dados apresentados na tabela 11), foram usados apenas para ilustração, resultados dos trabalhos de Vasconcelos S.M. [21] (1991) e Capucci E. C. [2] (1990), ajustados para este trabalho, visando principalmente para esta dissertação, os componentes de uma planta de processo inerentes ao sistema especialista desenvolvido que já foram e/ou podem ser modelados:

1 _ RESERVATÓRIO

Foi modelado como sendo uma fonte de massa para o poço (coluna de produção) e representado pela curva de IPR deste poço. Para resolução (reservatório - poço) foram considerados dois volumes de controle representados pela coluna de produção e pelo espaço anular.

1.1 _ Coluna de produção

Foi utilizada a equação da continuidade (exposta a seguir), na forma unidimensional, para uma mistura gas-líquido com fluxo transiente, com um termo que incorpora a fonte;

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_k H_k) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_k V_{sk}) + \dot{m}_{vk} = 0 \quad (2)$$

onde;

ρ_k _ Massa Específica da fase **k**

H_k _ "Hold up" com escorregamento da fase **k**

V_{sk} _ Velocidade superficial da fase **k**

t _ Variável independente (tempo)

z _ Variável independente (espaço)

O cálculo da mistura gas-líquido foi executado usando a seguinte equação:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_l V_{sl} + \rho_g V_{sg}) + \frac{\partial}{\partial z} (\frac{\rho_l V_{sl}^2}{H_l} + \frac{\rho_g V_{sg}^2}{1 - H_l}) + \frac{\partial p}{\partial z_{elev}} + \frac{\partial p}{\partial z_{atrito}} = - \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3)$$

onde;

P _ Pressão (função do tempo e do espaço)

$\partial P / \partial z$ _ Gradiente total de pressão

$$\partial P / \partial z_{elev} = g \rho_m \text{ sen } \theta = g [\rho_g (1 - H_l) + \rho_l H_l] \text{ sen } \theta$$

(Gradiente hidrostático)

$$\partial P / \partial z_{atrito} = (F_{TP} \rho_{ms} \text{ square } V_m) / 2D \quad \text{sendo,}$$

$$\rho_{ms} = (\rho_l V_{sl} + \rho_g V_{sg}) / (V_{sl} + V_{sg}) \quad \text{e,}$$

$$V_m = V_{sl} + V_{sg}$$

(Gradiente de Fricção)

As correlações utilizadas foram as de Beggs & Brill [16], Duns & Ross [17] e Santos O. A [18]. As equações de estados usadas, foram as mesmas que as empregadas na segunda metodologia citada.

1.2 _ Espaço Anular

O espaço anular foi considerado como uma única região, acoplada à coluna de produção através das válvulas de **gas lift** [15]. A equação usada foi a de balanço de massa global no anular, onde os termos estão definidos e/ou indicados na nomenclatura.

$$\frac{dP}{dt_{superf}} = \frac{\rho_{gp} (Q_{gs} - \sum Q_{gv}) - \rho_g \sum Q_{lv}}{V_g \frac{d\rho_g}{dP_{superf}}} \quad (4)$$

2 _ Planta de Processo

Para a simulação do processo dos separadores (produção e teste) e outros vasos de pressão, foi montado o seguinte sistema de equações :

$$\frac{dm_o}{dt} = (\dot{m}_{oi} - \dot{m}_{oo}) dt \quad (5)$$

$$\frac{dm_g}{dt} = (\dot{m}_{gi} - \dot{m}_{go}) dt \quad (6)$$

m_o _ Massa de óleo contida no separador (kg)

\dot{m}_{oi} _ Vazão mássica de óleo que entra (kg/s)

\dot{m}_{oo} _ Vazão mássica do óleo que sai (kg/s)

m_g _ Massa de gas contida no separador (kg)

\dot{m}_{gi} _ Vazão mássica do gas que entra (kg/s)

\dot{m}_{go} _ Vazão mássica do gas que sai (kg/s)

t _ Tempo (s)

As vazões mássicas de óleo e gas na entrada foram consideradas funções arbitrárias e conhecidas.

As massas iniciais de óleo e gas também foram tidas como conhecidas.

O nível de óleo foi calculado conhecendo-se a massa e a densidade do óleo, e a geometria do vaso.

A pressão foi calculada conhecendo-se a massa do gas, o volume disponível do

mesmo (volume não ocupado pelo óleo), a densidade e a temperatura deste gas. Com estes dados, e considerando-se o comportamento do gas como ideal, a pressão foi determinada.

Conhecendo-se o nível e a pressão num instante t , foi possível calcular as aberturas das válvulas de nível e de pressão. Com a pressão e as aberturas das válvulas, as vazões de óleo e gas na saída foram determinadas.

Conhecidos todos estes dados, foi possível estimar, através das equações diferenciais, as massas de óleo e gas no instante $t+dt$, e repetir o cálculo sucessivamente, verificando-se assim a acuracidade do controle ao longo do tempo, dada uma entrada arbitrária de fluidos.

3 _ Linhas de Óleo, Gas Natural e Água

Para dimensionamentos e simulações das linhas de óleo, gas natural e água internas à planta e, dos gasodutos e oleodutos de chegada e saída da plataforma, os procedimentos a seguir, foram observados de acordo com a especificidade de cada objetivo :

.Óleo

Foram usados os simuladores SIMULT e o PIPESIM (com resultados bem próximos), considerando em alguns casos a possibilidade da presença de parafina.

.Gas natural

Utilizou-se o program COND (versão atualizada) e a equação de Weymouth na forma

$$Q_g = 433,45 \frac{T_s}{P_s} d^{2,667} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{LST} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

onde;

Q_g _ Vazão de gas em Nm³/dia

d _ Diâmetro interno em polegadas

P_1 _ Pressão inicial (Pa)

P_2 _ Pressão final (Pa)

L _ Comprimento em metros

S _ Densidade

T_s _ Temperatura standard em K

P_s _ Pressão standard em Pa

.Água

Foi empregado o método de dimensionamento sugerido em Teles S. [19].

APÊNDICE B

A programação completa do sistema especialista SEPLANT, não foi incluída na Tese devido ao tamanho da mesma (grande número de grafos com seus respectivos nodos).

Assim, estão mostrados apenas neste anexo, os grafos 1 e 6 dos casos teórico e real 1, observando a hierarquia do sistema distribuído que é a "operação" e "supervisão".

A configuração desta programação cujo programa principal está listado nas páginas 90 a 122 pode ser executado no módulo QUEST, dentro do KARDIC (diretório próprio) do sistema KARDS.

```

1000 ; tamanho do registro»
|»
;-----»
;nodo 1»
1 _ Testes Previos (Valvulas de G.L): »
|»
; comentario»
  Digite S ou N (Consultar Base de Dados)»
|»
; metodos»
  !COL S|0;@s|0;@N|1;@n|1;@F ESP 30|31@F»
|»
;-----»
;nodo 2»
2 _ Sujeira (Valvulas de G.L): »
|»
; comentario»
  Valor Normal da Vazao de Oleo dos Pocos 1000m3/dia»
|»
; metodos»
  !CON 0|1;@800|1;@1000|0;@2000|0;@F»
|»
;-----»
;nodo 3»
3 _ Decisao 1: »
|»
; comentario»
  Decide Anormalidade ou Nao»
|»
; metodos»
  !SLT .6|5;@0|4;@F /2 !MAX 1|2@»
|»
;-----»
;nodo 4»
4 _ Sem Problemas: »
|»
; comentario»
  Aperte Enter para Comecar Outro Ciclo»
|»

```

```

1000 ; tamanho do registro»
\»
;-----»
;nodo 1»
  1 _ Testes Previos (Valvulas de G.L): »
\»
; comentario»
  Digite S ou N (Consultar Base de Dados)»
\»
; metodos»
  !COL S|0; @s|0; @N|1; @n|1; @F ESP 30|31 @F»
\»
;-----»
;nodo 2»
  2 _ Sujeira (Valvulas de G.L): »
\»
; comentario»
  Valor Normal da Vazao de Oleo dos Pocos 1000m3/dia»
\»
; metodos»
  !CON 0|1; @ 800|1; @ 1000|0; @ 2000|0; @F»
\»
;-----»
;nodo 3»
  3 _ Decisao 1: »
\»
; comentario»
  Decide Anormalidade ou Nao»
\»
; metodos»
  !SLT .6|5; @0|4; @F /2 !MAX 1|2@»
\»
;-----»

```



```

;nodo 4»
 4 _ Sem Problemas: »
|»
; comentario»
  Aperte Enter para Começar Outro Ciclo»
|»
; metodos»
 !CDT Pocos Produzindo@ !INI 1@F»
|»
;-----»
;nodo 5»
 5 _ Pressao de Operacao ( Sistema de G.L): »
|»
; comentario»
  Valor Normal 1500psig»
|»
; metodos»
 !CON 0|0;@1500|0;@1600|1;@2000|1;@F /2 !CA2 ( .8 * #0;5 )»
|»
;-----»
;nodo 6»
 6 _ Volume de Gas Injetado (Pocos de G.L): »
|»
; comentario»
  Valor Normal 150000m3/dia»
|»
; metodos»
 !CON 0|0;@150000|0;@200000|1;@300000|1;@F /2 !CA2 ( .6 * #0;6 )»
|»
;-----»

```

```

;nodo 7»
 7 _ Decisao 2: »
\»
; comentario»
  Decide Descalibracao ou Nao»
\»
; metodos»
 !SLT .6|8; @0|4; @F /2 !MAX 5|6@»
\»
;-----»
;nodo 8»
 8 _ Pressao de Calibracao (Valvulas de G.L): »
\»
; comentario»
  Valores Normais Abaixo de 1500psig»
\»
; metodos»
 !CON 0|0; @1450|0; @1550|1; @1800|1; @F»
\»
;-----»
;nodo 9»
 9 _ Vazamento (Valvulas de G.L): »
\»
; comentario»
  Valor Normal da Pressao do Revestimento 1500psig»
\»
; metodos»
 !CON 0|1; @1150|1; @1500|0; @1800|0; @F»
\»
;-----»

```

```

;nodo 10»
  10 _ Cluster 1: »
  \»
  ; comentario»
  Pop cai abaixo da Pcal e Prev cai abaixo da Pfv e a valv. nao fecha»
  \»
  ; metodos»
  /2 !CA0 ( ( (.7 * #0;8 ) + (.8 * #0;9 ) ) / 1.5 )»
  \»
  ;-----»
;nodo 11»
  11 _ Cluster 2: »
  \»
  ; comentario»
  Junto com 3, informa estado das valvulas»
  \»
  ; metodos»
  /2 !CA0 ( ( (.6 * #0;7 ) + (.7 * #0;10 ) ) / 1.3 )»
  \»
  ;-----»
;nodo 12»
  12 _ Decisao 3 (problemas nas valvulas): »
  \»
  ; comentario»
  Decide Gas Lift Fechado ou Pocos Produzindo»
  \»
  ; metodos»
  !SLT .8|13;@.6|14;@0|4;@F /2 !MIN 11|3@»
  \»
  ;-----»

```

```

;nodo 13»
  13 _ Gas Lift Fechado: »
  \»
; comentario»
  Digite Enter para Comecar Outro Cielo»
  \»
; metodos»
  !CDT Falhas Oparacao@ !RSC 1|100&@F !CHA 02@F !INI 1@F»
  \»
;-----»
;nodo 14»
  14 _ Razao Gas Oleo: »
  \»
; comentario»
  Valores Normais Abaixo de 500m3/m3»
  \»
; metodos»
  !CON 0|0;@ 500|0;@ 550|1;@ 1000|1;@F»
  \»
;-----»
;nodo 15»
  15 _ Producao: »
  \»
; comentario»
  Reducao brusca na vazao de oleo(1000 para 400m3/dia)»
  \»
; metodos»
  !CON 0|1;@ 400|1;@ 1000|0;@ 1500|0;@F»
  \»
;-----»»;

```

```

nodo 16»
  16 _ Cluster 3: »
  \»
  ; comentario»
  Informa anormalidades nas producoes»
  \»
  ; metodos»
  /2 !CA0 ( ( (.8 * #0;14 ) + (.6 * #0;15 ) ) / 1.4 )»
  \»
  ;-----»
;nodo 17»
  17 _ Decisao 4 (Troca de Valvulas de G.L): »
  \»
  ; comentario»
  Decide Gas Lift Fechado ou Pocos Produzindo»
  \»
  ; metodos»
  !SLT .7|13;@.5|18;@0|4;@F /2 !CA0 ( ( (.7 * #0;16 ) + (.7 * #0;12 ) ) / 1.4 )»
  \»
  ;-----»
;nodo 18»
  18 _ Vazamento (Mandris): »
  \»
  ; comentario»
  Valor Normal da Vazao de gas Produzido 170000m3/d»
  \»
  ; metodos»
  !CON 0|1;@20000|1;@170000|0;@250000|0;@F»
  \»
  ;-----»

```

```

;nodo 19»
  19 _ Assentamento (Mandris): »
|»
; comentario»
  Pressao Normal da Cabeça dos Pocos 100psig»
|»
; metodos»
  !CON 0|1;@40|1;@100|0;@150|0;@F»
|»
;-----»
;nodo 20»
  20 _ Cluster 4: »
|»
; comentario»
  Verifica Anormalidades nos Mandris»
|»
; metodos»
  /2 !CA0 ( ( .8 * #0;18 ) + ( .8 * #0;19 ) ) / 1.3 )»
|»
;-----»
;nodo 21»
  21 _ Decisao 5 (Problemas em Mandris) | »
|»
; comentario»
  Decide Gas Lift Fechado ou Pocos Produzindo»
|»
; metodos»
  !SLT .8|13;@.6|22;@0|4;@F /2 !CA0 ( ( .8 * #0;20 ) + ( .8 * #0;17 ) ) / 1.6 )»
|»
;-----»

```

```

;nodo 22»
 22 _ Eficiencia do Gas Lift: »
|»
; comentario»
  Volume Normal de Gas Injetado 150000m3/dia»
|»
; metodos»
 !CON 0|1;@100000|1;@150000|0;@180000|0;@F»
|»
;-----»
;nodo 23»
 23 _ Condiçoes de descarga dos pocos: »
|»
; comentario»
  Digite S OU N (Consultar Base de Dados)»
|»
; metodos»
 !COL S|0;@s|0;@N|1;@n|1;@F»
|»
;-----»
;nodo 24»
 24 _ Cluster 5: »
|»
; comentario»
  Checa Problemas na Operacao»
|»
; metodos»
 /2 !CA0 ( ( ( .8 * #0;22 ) + ( .9 * #0;23 ) ) / 1.7 )»
|»
;-----»

```

```

;nodo 25»
 25 _ Decisao 6 (Problemas de Operacao do G.L): »
|»
; comentario»
Decide Gas Lift Fechado ou Pocos Produzindo»
|»
; metodos»
!SLT .8|13;@.6|26;@0|4;@F /2 !CA0 ( ( .8 * #0;24 ) + ( .8 * #0;21 ) ) / 1.6 )»
|»
;-----»
;nodo 26»
 26 _ Pocos com Golfadas: »
|»
; comentario»
Producao de Oleo Intermitente(1000 para 50)»
|»
; metodos»
!CON 0|1;@50|1;@1000|0;@1550|0;@F»
|»
;-----»
;nodo 27»
 27 _ Pocos Sem Produzir: »
|»
; comentario»
Digite S ou N (Vazoes de Oleo e Gas Zeradas)»
|»
; metodos»
!COL S|1;@s|1;@N|0;@n|0;@F»
|»
;-----»

```



```

;nodo 28»
 28 _ Otimizacao do Gas Lift: »
|»
; comentario»
  A Vazao de Oleo Cai a Metade(1000 para 500m3/dia)»
|»
; metodos»
 !CON 0|1;@500|1;@1000|0;@2000|0;@F»
|»
;-----»
;nodo 29»
 29 _ Cluster 6: »
|»
; comentario»
 Informa Anormalidades no Gas»
|»
; metodos»
 /2 !CA0 ( ( ( .9 * #0;26 ) + ( 1 * #0;27 ) + ( .9 * #0;28 ) ) / 2.7 )»
|»
;-----»
;nodo 30»
 30 _ Decisao 7 (Operacao no Gas): »
|»
; comentario»
 Decide Gas Lift Fechado ou Pocos Produzindo»
|»
; metodos»
 !SLT .6|13;@.4|31;@0|4;@F /2 !CA0 ( ( ( .9 * #0;29 ) + ( .6 * #0;25 ) ) / 1.5 )»
|»
;-----»

```

```
;nodo 31»  
31 _ Paralelismo: »  
|»  
; comentario»  
Vou verificar grafo 2»  
|»  
; metodos»  
!CHA 02@F !COP 1@F»  
|»  
;-----»  
.FIM
```

```

1000 ; tamanho do registro»
\»
;-----»
;nodo 1»
1 _ Pocos de Gas Lift Fechado : »
\»
; comentario»
Digite S ou N»
\»
; metodos»
!COL Falhas Operacao|1;@s|1;@N|0;@n|0;@F !SCR 1|100&@F !PUL ESP
30|15@F»
\»
;-----»
;nodo 2»
2 _ Pocos Surgentes Parados: »
\»
; comentario»
Digite S ou N»
\»
; metodos»
!COL S|1;@s|1;@N|0;@n|0;@F»
\»
;-----»
;nodo 3»
3 _ Decisao 1: »
\»
; comentario»
Verifica Situacao do Modulo dos Pocos»
\»
; metodos»
!SLT .6|8;@.4|4;@F /2 !CA0 ( ( (.9 * #0;1 ) + ( .8 * #0;2 ) ) / 1.7 )»
\»
;-----»

```

```
;nodo 4»  
 4 _ Separacao O/G/A: »  
  \»  
  ; comentario»  
  Nivel de Oleo Normal 45%»  
  \»  
  ; metodos»  
  !CON 0|1;@35|1;@45|0;@55|0;@F»  
  \»  
  ;-----»  
;nodo 5»  
 5 _ Tratamento de Oleo: »  
  \»  
  ; comentario»  
  Nivel de Agua Normal 40%»  
  \»  
  ; metodos»  
  !CON 0|1;@30|1;@40|0;@50|0;@F»  
  \»  
  ;-----»  
;nodo 6»  
 6 _ Sistema de Bombeio: »  
  \»  
  ; comentario»  
  Digite O ou P»  
  \»  
  ; metodos»  
  !COL O|1;@o|1;@P|0;@p|0;@F»  
  \»  
  ;-----»
```

```

;nodo 7»
 7 _ Cluster 1: »
|»
; comentario»
  Informa Problemas em Vasos e Bombas»
|»
; metodos»
 /2 !CA0 ( ( ( .4 * #0;4 ) + ( .4 * #0;5 ) ) + ( .9 * #0;6 ) ) / 1.7 )»
|»
;-----»
;nodo 8»
 8 _ Decisao 2: »
|»
; comentario»
  Decide Anormalidade ou Nao»
|»
; metodos»
 !SLT .7|10;@.4|11;@0|9;@F /2 !CA0 ( ( ( .6 * #0;3 ) + ( .6 * #0;7 ) ) / 1.2 )»
|»
;-----»
;nodo 9»
 9 _ Vai para o Trem de Gas: »
|»
; comentario»
  Invstiga Problemas no Trem de Gas »
|»
; metodos»
 !CHA 07@F !COP 6@»
|»
;-----»

```

```

;nodo 10»
 10 _ Trem de Oleo Parado: »
\»
; comentario»
 Digite Enter para Iniciar Outro Ciclo»
\»
; metodos»
 !CDT Parar Bombas e Manter Nivel dos Vasos !DAD !Run Kardic@F !CHA 7@F»
\»
;-----»
;nodo 11»
 11 _ Medicao: »
\»
; comentario»
 Vazao Normal de Oleo 1000m3/dia»
\»
; metodos»
 !CON 0|1;@800|1;@1000|0;@1200|0;@F»
\»
;-----»
;nodo 12»
 12 _ Escoamento: »
\»
; comentario»
 Digite S OU N»
\»
; metodos»
 !COL S|0;@s|0;@N|1;@n|1;@F»
\»
;-----»

```

```

;nodo 13»
  13 _ Cluster 2: »
  \»
; comentario»
  Verifica Existencia de Fluxo»
  \»
; metodos»
  /2 !MAX 11|12@»
  \»
;-----»
;nodo 14»
  14 _ Decisao 3: »
  \»
; comentario»
  Decide Trem de Oleo Parado ou Investigar Trem de Gas»
  \»
; metodos»
  !SLT .7|10;@.4|15;@0|9;@F /2 !CA0 ( ( (.7 * #0;8 ) + (.5 * #0;13 ) ) / 1.2 )»
  \»
;-----»
;nodo 15»
  15 _ Paralelismo: »
  \»
; comentario»
  Vou Verificar Grafo 7»
  \»
; metodos»
  !CHA 07@F !COP 6@F»
  \»
;-----»
.FIM

```

```

1000 ; tamanho do registro»
\»
;-----»
;nodo 1»
 1 _ Testes Previos (Valvulas de G.L): »
\»
; comentario»
  Digite S ou N (Consultar Base de Dados)»
\»
; metodos»
 !COL S|0;@s|0;@N|1;@n|1;@F ESP 30|31@F»
\»
;-----»
;nodo 2»
 2 _ Sujeira (Valvulas de G.L): »
\»
; comentario»
  Valor Normal da Vazao de Oleo dos Pocos 204m3/dia (1283bbl/dia)»
\»
; metodos»
 !CON 0|1;@180|1;@204|0;@250|0;@F»
\»
;-----»
;nodo 3»
 3 _ Decisao 1: »
\»
; comentario»
  Decide Anormalidade ou Nao»
\»
; metodos»
 !SLT .6|5;@0|4;@F /2 !MAX 1|2@»
\»
;-----»

```



```

;nodo 4»
 4 _ Sem Problemas: »
|»
; comentario»
Aperte Enter para Começar Outro Ciclo»
|»
; metodos»
!CDT Pocos Produzindo@ !INI 1@F»
|»
;-----»
;nodo 5»
 5 _ Pressao de Operacao ( Sistema de G.L): »
|»
; comentario»
Valor Normal 980psig(67.57 * E+05Pa)»
|»
; metodos»
!CON 0|0;@980|0;@1100|1;@1300|1;@F /2 !CA2 ( .8 * #0;5 )»
|»
;-----»
;nodo 6»
 6 _ Volume de Gas Injetado (Pocos de G.L): »
|»
; comentario»
Valor Normal 136660m3/dia(4.826 MMSCFD)»
|»
; metodos»
!CON 0|0;@136660|0;@145000|1;@180000|1;@F /2 !CA2 ( .6 * #0;6 )»
|»
;-----»

```

```

;nodo 7»
 7 _ Decisao 2: »
|»
; comentario»
  Decide Descalibracao ou Nao»
|»
; metodos»
 !SLT .6|8;@0|4;@F /2 !MAX 5|6@»
|»
;-----»
;nodo 8»
 8 _ Pressao de Calibracao (Valvulas de G.L): »
|»
; comentario»
  Valores Normais Abaixo de 950psig(65.5 * E+05Pa)»
|»
; metodos»
 !CON 0|0;@950|0;@ 1050|1;@ 1200|1;@F»
|»
;-----»
;nodo 9»
 9 _ Vazamento (Valvulas de G.L): »
|»
; comentario»
  Valor Normal da Pressao do Revestimento 975psig(67.2 * E+05Pa)»
|»
; metodos»
 !CON 0|1;@ 650|1;@975|0;@ 1200|0;@F»
|»
;-----»

```

```

;nodo 10»
  10 _ Cluster 1: »
  \»
  ; comentario»
  Pop cai abaixo da Pcal e Prev cai abaixo da Pfv e a valv. nao fecha»
  \»
  ; metodos»
  /2 !CA0 ( ( (.7 * #0;8 ) + (.8 * #0;9 ) ) / 1.5 )»
  \»
  ;-----»
;nodo 11»
  11 _ Cluster 2: »
  \»
  ; comentario»
  Junto com 3, informa estado das valvulas»
  \»
  ; metodos»
  /2 !CA0 ( ( (.6 * #0;7 ) + (.7 * #0;10 ) ) / 1.3 )»
  \»
  ;-----»
;nodo 12»
  12 _ Decisao 3 (problemas nas valvulas): »
  \»
  ; comentario»
  Decide Gas Lift Fechado ou Pocos Produzindo»
  \»
  ; metodos»
  !SLT .7|13;@.6|14;@0|4;@F /2 !MIN 11|3@»
  \»
  ;-----»

```

```
;nodo 13»
 13 _ Gas Lift Fechado: »
\»
; comentario»
  Digite Enter para Começar Outro Ciclo»
\»
; metodos»
 !CDT Trocar Valv. G.L@ !RSC 1|100&@F !CHA 02@F !INI 1@F»
\»
;-----»
;nodo 14»
 14 _ Razao Gas Oleo: »
\»
; comentario»
  Valores Normais Abaixo de 950m3/m3(5335scf/bbl)»
\»
; metodos»
 !CON 0|0;@950|0;@1000|1;@1500|1;@F»
\»
;-----»
;nodo 15»
 15 _ Producao: »
\»
; comentario»
  Reducao brusca na vazao de oleo,de 204 para 80m3/dia(1283 para 503bbl/d)»
\»
; metodos»
 !CON 0|1;@80|1;@204|0;@250|0;@F»
\»
;-----»
```

```

;nodo 16»
  16 _ Cluster 3: »
  \»
  ; comentario»
  Informa anormalidades nas producoes»
  \»
  ; metodos»
  /2 !CA0 ( ( (.8 * #0;14 ) + (.6 * #0;15 ) ) / 1.4 )»
  \»
  ;-----»
;nodo 17»
  17 _ Decisao 4 (Troca de Valvulas de G.L): »
  \»
  ; comentario»
  Decide Gas Lift Fechado ou Pocos Produzindo»
  \»
  ; metodos»
  !SLT .7|13;@.5|18;@0|4;@F /2 !CA0 ( ( (.7 * #0;16 ) + (.7 * #0;12 ) ) / 1.4 )»
  \»
  ;-----»
;nodo 18»
  18 _ Vazamento (Mandris): »
  \»
  ; comentario»
  Valor Normal da Vazao de gas Produzido 232946m3/d(8.226MMSCFD)»
  \»
  ; metodos»
  !CON 0|1;@20000|1;@170000|0;@250000|0;@F»
  \»
  ;-----»

```

```

;nodo 19»
  19 _ Assentamento (Mandris): »
  \»
; comentario»
  Pressao Normal da Cabeça dos Pocos 176psig(12.13 * E+05Pa)»
  \»
; metodos»
  !CON 0|1;@120|1;@176|0;@190|0;@F»
  \»
;-----»
;nodo 20»
  20 _ Cluster 4: »
  \»
; comentario»
  Verifica Anormalidades nos Mandris»
  \»
; metodos»
  /2 !CA0 ( ( (.8 * #0;18 ) + (.8 * #0;19 ) ) / 1.3 )»
  \»
;-----»
;nodo 21»
  21 _ Decisao 5 (Problemas em Mandris)| »
  \»
; comentario»
  Decide Gas Lift Fechado ou Pocos Produzindo»
  \»
; metodos»
  !SLT .8|13;@.6|22;@0|4;@F /2 !CA0 ( ( (.8 * #0;20 ) + (.8 * #0;17 ) ) / 1.6 )»
  \»
;-----»

```

```

;nodo 22»
 22 _ Eficiencia do Gas Lift: »
|»
; comentario»
Volume Normal de Gas Injetado 136660m3/dia(4.826MMSCFD)»
|»
; metodos»
!CON 0|1;@100000|1;@136660|0;@180000|0;@F»
|»
;-----»
;nodo 23»
 23 _ Condiçoes de descarga dos pocos: »
|»
; comentario»
Digite S OU N (Consultar Base de Dados)»
|»
; metodos»
!COL S|0;@s|0;@N|1;@n|1;@F»
|»
;-----»
;nodo 24»
 24 _ Cluster 5: »
|»
; comentario»
Checa Problemas na Operacao»
|»
; metodos»
/2 !CA0 ( ( (.8 * #0;22 ) + (.9 * #0;23 ) ) / 1.7 )»
|»
;-----»

```

```

;nodo 25»
 25 _ Decisao 6 (Problemas de Operacao do G.L): »
\»
; comentario»
  Decide Gas Lift Fechado ou Pocos Produzindo»
\»
; metodos»
 !SLT .8|13;@.6|26;@0|4;@F /2 !CA0 ( ( (.8 * #0;24 ) + ( .8 * #0;21 ) ) / 1.6 )»
\»
;-----»
;nodo 26»
 26 _ Pocos com Golfadas: »
\»
; comentario»
  Producao de Oleo Intermitente de 204 para 50m3/dia(1283 para 314bll/d)»
\»
; metodos»
 !CON 0|1;@50|1;@204|0;@250|0;@F»
\»
;-----»
;nodo 27»
 27 _ Pocos Sem Produzir: »
\»
; comentario»
  Digite S ou N (Vazoes de Oleo e Gas Zeradas)»
\»
; metodos»
 !COL S|1;@s|1;@N|0;@n|0;@F»
\»
;-----»

```



```

;nodo 28»
 28 _ Otimizacao do Gas Lift: »
\»
; comentario»
  A Vazao de Oleo Cai a Metade de 204 para 102m3/dia(1283 para 641bbl/d) ou
  menos»
\»
; metodos»
 !CON 0|1;@180|1;@204|0;@250|0;@F»
\»
;-----»
;nodo 29»
 29 _ Cluster 6: »
\»
; comentario»
 Informa Anormalidades no Gas»
\»
; metodos»
 /2 !CA0 ( ( ( .9 * #0;26 ) + ( 1 * #0;27 ) + ( .9 * #0;28 ) ) / 2.7 )»
\»
;-----»
;nodo 30»
 30 _ Decisao 7 (Operacao no Gas): »
\»
; comentario»
 Decide Gas Lift Fechado ou Pocos Produzindo»
\»
; metodos»
 !SLT .7|13;@.4|31;@0|4;@F /2 !CA0 ( ( ( .9 * #0;29 ) + ( .6 * #0;25 ) ) / 1.5 )»
\»
;-----»

```

```
;nodo 31»  
 31 _ Paralelismo: »  
 \»  
; comentario»  
 Vou verificar grafo 2»  
 \»  
; metodos»  
 !CHA 02@F !COP 1@F»  
 \»  
;-----»  
.FIM
```

```

1000 ; tamanho do registro»
\»
;-----»
;nodo 1»
1 _ Pocos de Gas Lift Fechado : »
\»
; comentario»
  Digite S ou N»
\»
; metodos»
  !COL Trocar Valv. G.L|1;@s|1;@N|0;@n|0;@F !SCR 1|100&@F !PUL !CDT
  Manter Niveis (Oleo) ESP 30|15@F»
\»
;-----»
;nodo 2»
2 _ Pocos Surgentes Parados: »
\»
; comentario»
  Digite S ou N»
\»
; metodos»
  !COL S|1;@s|1;@N|0;@n|0;@F»
\»
;-----»
;nodo 3»
3 _ Decisao 1: »
\»
; comentario»
  Verifica Situacao do Modulo dos Pocos»
\»
; metodos»
  !SLT .6|8;@.4|4;@F /2 !CA0 ( ( (.9 * #0;1 ) + ( .8 * #0;2 ) ) / 1.7 )»
\»
;-----»

```

```
;nodo 4»
 4 _ Separacao O/G/A: »
|»
; comentario»
Nivel de Oleo Normal 60%»
|»
; metodos»
!CON 0|1;@35|1;@55|0;@60|0;@F»
|»
;-----»
;nodo 5»
 5 _ Tratamento de Oleo: »
|»
; comentario»
Nivel de Agua Normal 20%»
|»
; metodos»
!CON 0|1;@10|1;@20|0;@50|0;@F»
|»
;-----»
;nodo 6»
 6 _ Sistema de Bombeio: »
|»
; comentario»
Digite O ou P»
|»
; metodos»
!COL O|1;@o|1;@P|0;@p|0;@F»
|»
;-----»
```

```

;nodo 7»
 7 _ Cluster 1: »
\»
; comentario»
 Informa Problemas em Vasos e Bombas»
\»
; metodos»
 /2 !CA0 ( ( ( .4 * #0;4 ) + ( .4 * #0;5 ) ) + ( .9 * #0;6 ) ) / 1.7 )»
\»
;-----»
;nodo 8»
 8 _ Decisao 2: »
\»
; comentario»
 Decide Anormalidade ou Nao»
\»
; metodos»
 !SLT .7|10;@.4|11;@0|9;@F /2 !CA0 ( ( ( .6 * #0;3 ) + ( .6 * #0;7 ) ) / 1.2 )»
\»
;-----»
;nodo 9»
 9 _ Vai para o Trem de Gas: »
\»
; comentario»
 Investiga Problemas no Trem de Gas »
\»
; metodos»
 !CHA 07@F !COP 6@»
\»
;-----»

```

```

;nodo 10»
 10 _ Trem de Oleo Parado: »
\»
; comentario»
  Digite Enter para Iniciar Outro Ciclo»
\»
; metodos»
!CDT Parar Bombas e Manter Nivel dos Vasos !DAD !Run Kardic@F !CHA 7@F»
\»
;-----»
;nodo 11»
 11 _ Medicao: »
\»
; comentario»
  Vazao Normal de Oleo 204m3/dia(1283 bbl/dia)_so para Observacao»
\»
; metodos»
!CON 0|1;@180|1;@204|0;@280|0;@F»
\»
;-----»
;nodo 12»
 12 _ Escoamento: »
\»
; comentario»
  Digite S OU N_ tambem so para Observacao»
\»
; metodos»
!COL S|0;@s|0;@N|1;@n|1;@F»
\»
;-----»

```

```

;nodo 13»
 13 _ Cluster 2: »
\»
; comentario»
 Verifica Existencia de Fluxo»
\»
; metodos»
 /2 !MAX 11|12@»
\»
;-----»
;nodo 14»
 14 _ Decisao 3: »
\»
; comentario»
 Decide Trem de Oleo Parado ou Investigar Trem de Gas»
\»
; metodos»
 !SLT .7|10;@.4|15;@0|9;@F /2 !CA0 ( ( ( .7 * #0;8 ) + ( .5 * #0;13 ) ) / 1.2 )»
\»
;-----»
;nodo 15»
 15 _ Paralelismo: »
\»
; comentario»
 Vou Verificar Grafo 7»
\»
; metodos»
 !CHA 07@F !COP 6@F»
\»
;-----»
.FIM

```

APENDICE C

As tabelas a seguir, apresentam os diversos valores de navegação dos grafos de conhecimento do sistema SEPLANT, correspondentes aos casos teórico, real 1, real 2 e real 3.

TABELA 12: Valores de Navegação dos Grafos 1

GRAFO 1	CASO T.		CASO R.1		CASO R.2		CASO R.3	
	1	N	1	S	1	S	1	S
	2	1000	2	190	2	6200	2	3450
	5	1600	5	1100	5	1468	5	1540
	6	150000	6	136660	6	800000	6	1080000
	8	1510	8	940	8	1280	8	1415
	9	1280	9	650	9	780	9	870
	14	525	14	700	14	119	14	80
	15	700	15	70	15	500	15	500
	18	80000	18	100000	18	350000	18	210000
	19	63	19	123	19	135	19	127
	22	125000	22	111660	22	405000	22	695000
	23	N	23	N	23	N	23	N
	26	600	26	120	26	500	26	500
	27	S	27	S	27	S	27	S
	28	850	28	185	28	3350	28	1914

TABELA 13: Valores de Navegação dos Grafos 2

GRAFO 2	CASO T.		CASO R.1		CASO R.2		CASO R.3	
	1	A	1	A	1	A	1	A
	2	65	2	140	2	172	2	145
	3	650	3	190	3	3350	3	1500
	4	1200	4	860	4	1190	4	1330
	8	S	8	S	8	S	8	S
	9	P	9	P	9	P	9	P
	12	12	12	NP	12	N	12	S
	13	11	13	11	13	10	13	11
	16	P	16	NT	16	N	16	S
	17	F	17	A	17	S	17	S
	20	30	20	65	20	50	20	50
	21	30	21	0.035	21	0.001	21	0.001
	22	300	22	50	22	2010	22	1200

TABELA 14: Valores de Navegação dos Grafos 3

GRAFO 3	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
	1 525	1 390	1 654	1 725
	2 70000	2 115000	2 400000	2 245000
	3 40	3 80	3 84	3 72
	8 150	8 195	8 250	8 210
	9 190000	9 262000	9 600000	9 1080000
	12 900	12 195	12 3350	12 1914
	13 700	13 124	13 4200	13 2050
	16 1525	16 1020	16 1400	16 1505
	17 75	17 60	17 45	17 95
	18 550	18 100	18 500	18 500
	20 24	20 11	20 20	20 25
	21 1475	21 1030	21 1350	21 1510
	26 42	26 30	26 50	26 50
	27 14	27 8	27 8	27 8

TABELA 15: Valores de Navegação dos Grafos 4

GRAFO 4	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
	1 1405	1 960	1 1260	1 1400
	2 S	2 N	2 N	2 N
	3 S	3 N	3 N	3 N
	8 840	8 600	8 950	8 1205
	9 1495	9 1030	9 1400	9 1495
	10 150000	10 210000	10 400000	10 843000
	11 67	11 65	11 60	11 63
	15 65	15 75	15 86	15 72
	16 130000	16 116660	16 405000	16 850000
	18 14	18 30	18 37	18 47
	19 145000	19 106660	19 395000	19 845000
	20 15	20 30	20 32	20 25
	24 1540	24 1120	24 1448	24 1555
	25 1425	25 925	25 1435	25 1280

TABELA 16: Valores de Navegação dos Grafos 5

GRAFO 5	CASO T.		CASO R.1		CASO R.2		CASO R.3	
	1	O	1	NO	1	NO	1	NO
	2	N	2	N	2	N	2	N
	3	60	3	50	3	45	3	55
	6	26	6	80	6	100	6	100
	7	85	7	82	7	81	7	83
	10	N	10	N	10	N	10	N
	11	1470	11	1030	11	1360	11	1490
	14	N	14	N	14	N	14	N
	15	5	15	5	15	4	15	5

TABELA 17: Valores de Navegação dos Grafos 6

GRAFO 6	CASO T.		CASO R.1		CASO R.2		CASO R.3	
	1	S	1	S	1	S	1	S
	2	N	2	N	2	N	2	N
	4	40	4	60	4	50	4	45
	5	40	5	NT	5	37	5	40
	6	O	6	P	6	P	6	P
	11	930	11	190	11	6500	11	3228
	12	S	12	S	12	S	12	S

TABELA 18: Valores de Navegação dos Grafos 7

GRAFO 7	CASO T.	CASO R.1	CASO R.2	CASO R.3
	2 52	2 52	2 NT	2 72
	3 N	3 NT	3 NT	3 S
	4 N	4 NT	4 NT	4 S
	8 S	8 NT	8 NT	8 N
	9 55	9 NT	9 NT	9 S
	13 32	13 7	13 19	13 32
	14 100000	14 200000	14 700000	14 410000
	15 N	15 S	15 S	15 S

TABELA 19: Valores de Navegação dos Grafos 8

GRAFO 8	CASO T.		CASO R.1		CASO R.2		CASO R.3	
	2	N	2	N	2	NT	2	S
	3	105	3	90	3	NT	3	108
	7	O	7	O	7	O	7	O
	8	3	8	3	8	4	8	4
	9	O	9	O	9	O	9	O
	12	NO	12	NO	12	NO	12	NO
	13	O	13	O	13	O	13	O