

## PROTÓTIPO INICIAL DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA PROJETO E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO A GÁS NATURAL

### José Alexandre Matelli

Universidade Federal de Santa Catarina  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos  
Campus Universitário 88.040-900 Florianópolis SC  
[matelli@labcet.ufsc.br](mailto:matelli@labcet.ufsc.br)

### Edson Bazzo

Universidade Federal de Santa Catarina  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos  
Campus Universitário 88.040-900 Florianópolis SC  
[ebazzo@emc.ufsc.br](mailto:ebazzo@emc.ufsc.br)

**Resumo.** Neste artigo é apresentado um protótipo inicial de um sistema especialista (PISE) para projeto e otimização de sistemas de cogeração a gás natural. Sistemas especialistas (SE) são uma boa alternativa para abordagem do problema porque não se trabalha com todas as possíveis combinações de componentes. O PISE aqui apresentado é implementado em um “shell” e tem a base de conhecimento baseada em regras. Considerando-se como requerimentos de projeto 1.0 MW de energia elétrica e água quente a 50 °C, o PISE propõe rapidamente uma solução qualitativa, a qual consiste de um grupo moto-gerador com um circuito de recuperação de calor do óleo lubrificante para produção de água quente.

**Palavras chave:** Cogeração, Sistemas Especialistas, Gás Natural, Projeto, Otimização.

### 1. Introdução

O projeto de uma planta de cogeração é um problema de síntese sujeito a restrições termodinâmicas e que inclui a alocação e o dimensionamento de componentes (trocadores de calor, moto-geradores, turbo-geradores, máquinas de refrigeração, caldeiras de recuperação etc) de modo a satisfazer cargas elétricas e térmicas.

Um dos aspectos mais importantes para aplicações de cogeração (e um dos que mais contribuem para sua complexidade) é variação das cargas com o tempo, que é ilustrada com o exemplo a seguir. Em geral, a carga térmica referente ao conforto térmico de ambientes de um prédio comercial varia ao longo do dia. Durante o dia, devido à insolação, a carga térmica é maior do que durante a noite; durante os dias úteis, é maior do que nos feriados ou fins-de-semana; e, finalmente, ao longo do ano, é maior no verão do que no inverno. A variação da carga com o tempo é expressa através de curvas de carga conhecidas como perfis de demanda. Na Fig. 1 é ilustrado um típico perfil de demanda de ar condicionado. Essa discussão estende-se, naturalmente, às cargas elétricas e demais cargas térmicas. Uma discussão mais detalhada sobre curvas de demanda de energia é apresentada por Orlando (1996).

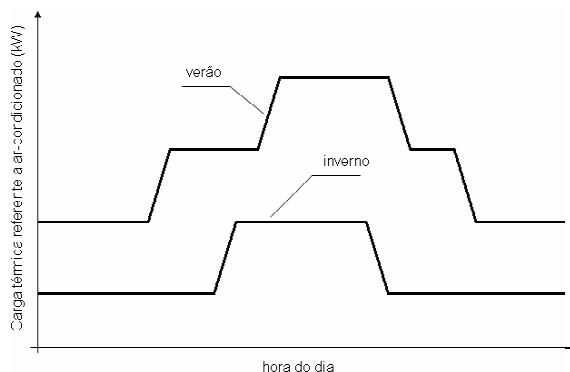


Figura 1. Típico perfil de demanda de ar condicionado.

O número de soluções possíveis – isto é, de possíveis combinações de componentes que satisfazem os perfis de demanda – pode crescer exponencialmente conforme o problema se torna mais complexo. Uma vez que a tendência em cogeração é na direção de plantas mais eficientes e frequentemente baseadas em ciclos mais complexos, torna-se muito difícil encontrar uma configuração ótima para uma planta cujo objetivo seja, por exemplo, minimizar o investimento inicial.

Na prática, as restrições termodinâmicas permitem que o problema seja resolvido em um tempo computacional razoável, porque elas limitam as possibilidades de acoplamento entre os componentes (por exemplo, uma corrente fria não pode ser resfriada por uma corrente mais quente). De fato, pode-se encontrar na literatura diversos métodos ou técnicas para projeto e otimização de sistemas térmicos/químicos, tais como o método nível-por-nível (Manninen e Zhu, 2001), a decomposição hierárquica (Douglas, 1988), a programação linear (Hostrup *et al*, 2001) e o método combinado (Mizsey e Fonyo, 1990).

Pode-se dizer que em todos esses trabalhos são apresentados métodos computacionais “cegos”, ou seja, métodos que não raciocinam como humanos. Apesar da complexidade, o problema de se projetar uma planta de cogeração sujeita a diversas restrições termodinâmicas e de cargas energéticas é resolvido de forma robusta por seres humanos. Isso sugere o uso de inteligência artificial (IA, técnicas computacionais que codificam e emulam os padrões de raciocínio da mente humana) para fazer um computador projetar uma planta de cogeração. Fujita *et al* (1996) propuseram um método baseado em algoritmos genéticos para encontrar configurações ótimas de plantas de cogeração. Kott *et al* (1989) consideraram a incorporação de técnicas de IA em seu projetista artificial autônomo de sistemas térmicos, mas somente com o propósito de reduzir o espaço de busca, ao invés de emular processos humanos de raciocínio.

Uma das mais importantes técnicas de IA é o sistema especialista (SE), que tem sido aplicado no projeto de sistemas térmicos. Akagi *et al* (1988) desenvolveram um SE para projeto de centrais energéticas de navios, onde o conhecimento é descrito na forma de orientação a objetos. Melli e Sciubba (1997) apresentaram um protótipo de SE chamado COLOMBO para a síntese conceitual de processos térmicos. COLOMBO trabalha com encadeamento reverso, considerando a meta do projeto como uma causa e tentando encontrar seus efeitos. Manolas *et al* (2001) apresentaram um “shell” para SE baseado em algoritmos genéticos que, quando combinado com uma base de dados adequada que contém as tecnologias disponíveis de conservação de energia para a indústria de processos, é capaz de identificar as melhores tecnologias entre aquelas disponíveis e calcular seus parâmetros ótimos.

No presente trabalho é apresentado um sistema especialista para projeto de plantas de cogeração. Ele difere dos trabalhos anteriormente mencionados em pelo menos dois aspectos: primeiro, o domínio é restrito a plantas de cogeração a gás natural; segundo, é utilizado um “shell”. As razões para isso são explicadas nas próximas seções.

## 2. A abordagem do problema através de SE

Prof. Edward Feigenbaum, da Universidade de Standford, define um SE como “...um programa de computador inteligente que utiliza conhecimento e procedimentos de inferência para resolver problemas difíceis o suficiente para requerer significativo conhecimento especializado para sua solução” (Giarratano e Riley, 1994). Na prática, o processo de projeto é fortemente baseado no conhecimento que especialistas têm em certo domínio, de modo que suas soluções são próximas do ótimo. Portanto é razoável supor que SE é uma abordagem apropriada para projeto de plantas de cogeração.

No presente trabalho é apresentado um protótipo inicial (ou rápido) de um sistema especialista (PISE) cujo objetivo é dar suporte ao projeto de plantas de cogeração. O protótipo inicial utiliza a flexibilidade e poder dos “shells” disponíveis para rapidamente criar um protótipo funcional daquilo que se pretende que seja o SE em sua forma final. (Gonzales e Dankel, 1993). O desenvolvimento do protótipo inicial é parte de um ciclo de vida modificado do desenvolvimento de software conhecido por modelo incremental (Fig. 2). Nesse modelo, o sistema especialista em sua forma inicial (o protótipo inicial) é desenvolvido ao longo do ciclo de vida, ou seja, o protótipo inicial em contínua evolução é o próprio sistema especialista.

O SE aqui desenvolvido se encontra na etapa do protótipo inicial. Na etapa de avaliação, as conclusões obtidas dos testes e da análise crítica do PISE guiarão as etapas seguintes mostradas na Fig. 2.

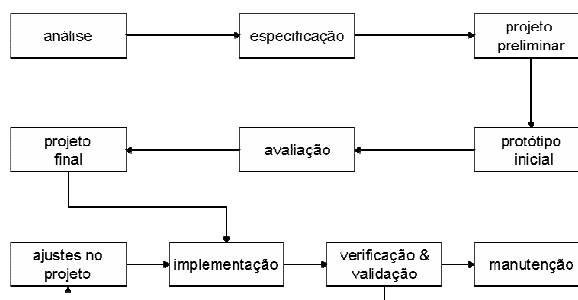


Figura 2. Ciclo de vida de um SE: modelo incremental (adaptado de Gonzales e Dankel, 1993).

### 3. O escopo do PISE

De acordo com Kingston (2004), é importante olhar para quão complexa será a solução proposta pelo SE, porque esses sistemas variam muito com relação aos níveis de complexidade; a quantidade de esforço requerida para implementar um SE comercial pode variar de umas poucas semanas até muitos anos-homem. Ainda de acordo com o autor, tarefas de síntese (tais como planejamento, configuração e projeto) são tipicamente mais complexas do que as de análise (tais como diagnóstico).

Baseado nesses argumentos e visando reduzir tempo e esforço de implementação, o escopo do PISE é limitado a plantas de cogeração a gás natural, ao invés dos sistemas térmicos/químicos mais genéricos reportados nos trabalhos de Manninen e Zhu (2001), Douglas (1988), Hostrup *et al* (2001), Mizsey e Fonyo (1990), Kott *et al* (1989) e Melli e Sciubba (1997). Além disso, as utilidades são limitadas a energia elétrica, vapor saturado, água quente e ar condicionado; os acionadores primários são limitados a conjuntos geradores baseados em motores de combustão interna (moto-geradores) ou baseados em turbinas a gás (turbo-geradores).

A limitação no escopo permite um maior nível de detalhamento que o SE deve representar. Aqui, o detalhamento deve alcançar as funções macro dos componentes, sem, no entanto, considerar seus detalhes internos. Por outro lado, especificações gerais sobre a aplicação dos componentes e suas especificações técnicas devem ser fornecidas pelo SE.

### 4. O “shell”

Uma das principais características de SE's é a separação do conhecimento do modo como ele é utilizado. Isso significa que a estrutura básica manipuladora do conhecimento pode ser utilizada em qualquer domínio. Essa estrutura é chamada de motor de inferência. Na Fig. 3 é ilustrada a relação entre os elementos básicos de um SE.

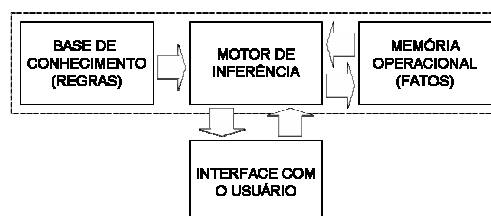


Figura 3. Elementos básicos de um SE.

Esta característica conduz naturalmente ao desenvolvimento de ferramentas que contenham o motor de inferência e outros elementos do SE, com a óbvia exceção da base de conhecimento. Tais ferramentas são chamadas de “shell” e sua existência é típica na área de SE. A programação do motor de inferência é muito técnica e difícil, já que envolve aspectos relacionados a esquemas de resolução de conflitos e raciocínio não monotônico. Esses aspectos não são explicitamente discutidos nos trabalhos de Akagi *et al* (1988), Melli e Sciubba (1997) e Manolas *et al* (2001), nos quais os autores programaram seus próprios motores de inferência. Diferentemente desses trabalhos, aqui é adotado um “shell”; assim poupa-se tempo e esforço e ganha-se com relação à confiabilidade e manutenção do motor de inferência. Existem diversos “shells” disponíveis, de modo que sua escolha deve levar em conta a cadeia de inferência e a forma de representação do conhecimento. Essa discussão é conduzida adiante na seção 5.3.

## 5. O desenvolvimento do PISE

### 5.1. Construção da base de conhecimento

Um conjunto pré-determinado de regras é o núcleo da base de conhecimento do PISE. As regras são obtidas a partir da aquisição do conhecimento do especialista. A importância do especialista no desenvolvimento do SE é deveras óbvia e largamente enfatizada na literatura. Existem diversas técnicas de aquisição de conhecimento, como as apresentadas por Gonzales e Dankel (1993) e Kidd (1987). Aqui, uma única entrevista não estruturada (suficiente para os propósitos do trabalho) com o especialista foi conduzida para adquirir conhecimentos relativos ao projeto de plantas de cogeração, após o que o conhecimento foi organizado e representado na forma de regras.

Uma regra corresponde a um pequeno módulo do conhecimento e é, portanto, um modo natural de representá-lo. Regras são apresentadas em sentenças do tipo SE-ENTÃO. A parte associada ao SE é uma condição que testa o valor de um conjunto de fatos; se esse valor é verdadeiro, a parte associada ao ENTÃO infere um novo conjunto de fatos.

Um novo conjunto de fatos obtidos de uma regra pode ser usado como nova condição para uma nova regra e assim sucessivamente, até que uma conclusão seja obtida. Esse processo é conhecido como cadeia de inferência; consiste de uma série de inferências que estabelece um caminho entre a definição do problema e sua solução. A cadeia de inferência difere da lógica tradicional por que: i) é, em geral, um processo não-monotônico, isto é, um processo que desconsidera fatos não verdadeiros; ii) aceita incertezas no processo dedutivo. Em um problema de síntese, tal como o

projeto de plantas de cogeração, o processo de inferência é de encadeamento direto, ou seja, parte de dados conhecidos (requerimentos de projeto) em direção a uma solução (planta de cogeração).

## 5.2. As regras

Na Tab. 1 é apresentado o conhecimento organizado através de uma técnica chamada saída-entrada-meio (Gonzales e Dankel, 1993).

Tabela 1. Organização do conhecimento.

<b>Saída:</b>	
Possíveis descrições textuais de plantas de cogeração a gás natural	
<b>Entrada:</b>	
1. Carga média	1.1. Energia elétrica (MW)
	1.2. Água quente
	1.2.1. Temperatura (°C)
	1.2.2. Vazão (kg/s)
	1.3. Vapor saturado
	1.3.1. Pressão (MPa)
	1.3.2. Vazão (kg/s)
2. Modo de operação	1.4. Ar condicionado (MW)
	2.1. Pico
3. Disponibilidade	2.2. Base
	3.1. 7 dias/semana
	3.2. Menos de 7 dias/semana
<b>Meio:</b>	
Regra 1	SE (demanda eletricidade < 25 MW) ENTÃO (acionador primário = moto-gerador)
	PORQUE? Para carga inferior a 25 MWe, o custo de instalação de um moto-gerador (in \$/MW) é menor que o de um turbo-gerador. Em geral, motores são mais eficientes e menos sensíveis a variações ambientes do que turbinas.
Regra 2	SE (demanda eletricidade > 25 MW) (modo operação = base) (disponibilidade = 7 dias/semana) ENTÃO (acionador primário = turbo-gerador)
	PORQUE? Para cargas maiores que 25 MW, o custo de instalação de um moto-gerador (in \$/MW) é maior que o de um turbo-gerador. Em geral, turbinas apresentam alta disponibilidade, alta confiabilidade e baixos custos de manutenção. Entretanto, seu desempenho é fortemente influenciado pelas condições ambientes e pela operação em carga parcial.
Regra 3	SE (demanda eletricidade > 25 MW) (OU (modo operação = pico) (disponibilidade < 7 dias/semana)) ENTÃO (acionador primário = moto-gerador)
	PORQUE? Apesar do maior custo de instalação para essa potência, moto-geradores são mais adequados para aplicações de pico devido à sua melhor resposta às variações de carga. Apresentam também partida mais fácil e rápida, o que é crucial em aplicações intermitentes.

O meio é o núcleo do conhecimento do especialista, já que representa o elo entre a entrada e a saída, ou seja, as regras em si. Por simplicidade, na Tab. 1 são apresentadas somente três regras associadas à seleção do acionador primário, já que uma pequena base de conhecimento pode conter até cinquenta regras (o PISE aqui apresentado possui vinte regras). Note que os fatos são colocados entre parênteses e que o operador E é padrão. Quando o operador OU é requerido, ele é escrito como mostrado na regra 3. Todas essas características fazem referência à linguagem LISP, da qual o “shell” utilizado aqui herda alguns aspectos sintáticos (Giarratano, 2002).

### 5.3. Implementação

Como mencionado anteriormente, optou-se por não programar o motor de inferência. Ao invés disso, a implementação do PISE é conduzida através de um “shell”. Sua escolha deve levar em conta a cadeia de inferência e a forma de representação do conhecimento. Considerando-se que o conhecimento relacionado ao projeto de plantas de cogeração é representado na forma de regras e que o processo de inferência é de encadeamento direto, escolheu-se o CLIPS como “shell” para implementar o PISE. O CLIPS foi originalmente desenvolvido pela Divisão de Engenharia de Software da Agência Espacial dos EUA. Hoje em dia é um software de domínio público mantido independentemente. O CLIPS é um “shell” de encadeamento direto baseado na arquitetura de casamento de padrões (*pattern-matching*) (Gonzales e Dankel, 1993), onde o conhecimento pode ser representado na forma de regras, funções e programação orientada a objetos.

A implementação é relativamente simples. A base de conhecimento contendo as regras é escrita na linguagem CLIPS. Algumas regras adicionais e funções relacionadas com a interface são escritas também, todas reunidas em um único arquivo txt.

### 6. Executando o PISE

O arquivo txt é carregado no ambiente CLIPS e executado. O PISE então pergunta as cargas elétricas e térmicas, o modo de operação e a disponibilidade da planta. Esses dados de entrada são os fatos. O motor de inferência do CLIPS verifica quais das regras da base de conhecimento casam com os fatos, iniciando assim o processo de inferência. Se um conjunto de fatos casa com mais de uma regra, diz-se no jargão do CLIPS que essas regras são ativadas. Então a estratégia de resolução de conflitos do CLIPS decide qual dessas regras deve primeiramente executar sua ação, ou seja, declarar um novo conjunto de fatos (no jargão do CLIPS, qual das regras deve ser disparada). O processo de inferência continua até que não haja mais nenhuma ativação. Então uma solução qualitativa é proposta e uma mensagem de texto contendo uma descrição da planta de cogeração é exibida. Considerando-se os requerimentos de projeto de uma planta de cogeração que deve fornecer 1.0 MWe e água quente a 50 °C (ver Tab. 2), o PISE apresenta a seguinte solução:

*Para essa aplicação recomenda-se um moto-gerador com um circuitio de recuperação de calor do óleo lubrificante para produção de água quente. A justificativa é a que segue:*

*O calor associado ao óleo lubrificante é tipicamente adequado para produção da quantidade de água quente requerida para grande parte das aplicações. Para carga inferior a 25 MWe, o custo de instalação de um moto-gerador (in \$/MW) é menor que o de um turbo-gerador. Em geral, motores são mais eficientes e menos sensíveis a variações ambientes do que turbinas.*

Tabela 2. Fatos informados pelo usuário.

Fatos (dados de entrada)	Valor
Carga de energia elétrica	1.0 MW
Temperatura da água quente	50.0 °C
Vazão da água quente	desconhecida
Pressão do vapor saturado	0.0 MPa
Vazão do vapor saturado	0.0 kg/s
Carga de ar condicionado	0.0 MW
Modo de operação	base
Disponibilidade	7 dias/semana

É interessante notar que, nesse exemplo, a vazão de água quente é desconhecida. Essa é uma situação muito comum em projetos de plantas de cogeração, onde dados completos ou exatos referentes à carga térmica raramente existem. Na prática, esses dados são estimados a partir do consumo de combustível, mas as incertezas são grandes. Mesmo assim, o PISE é capaz de propor uma solução. De fato, parcialmente em virtude de sua natureza heurística, a solução de problemas envolvendo dados incompletos é uma das características chave de SE (Gonzales e Dankel, 1993). Uma vez que a vazão de água não foi informada, o PISE sugere – baseado no conhecimento do especialista de que essa solução é adequada em muitas aplicações – que o calor seja recuperado do circuito de resfriamento do óleo lubrificante. Outra característica de SE mostrada aqui é a explicação da solução. Isso é interessante, pois permite que o SE seja explorado

como um tutor inteligente para engenheiros novatos ou como uma “segunda opinião” para engenheiros mais experientes.

Não há nenhuma garantia que a planta proposta pelo PISE seja ótima, mas é provavelmente próxima da ótima, pois a solução é baseada em conhecimento especializado no domínio da cogeração. Um especialista possui a habilidade de concluir a partir de experiências, focalizando rapidamente o núcleo de um problema e evitando uma busca sistemática e procedural que pode requerer uma quantidade de tempo e de esforço inaceitáveis. Assim, ao invés de buscar a solução ótima, o PISE busca por uma ou mais soluções aceitáveis, sendo que as melhores soluções aceitáveis são aquelas propostas por especialistas.

## 7. Próximos passos de desenvolvimento do PISE

Regras referentes ao dimensionamento dos componentes são necessárias para permitir soluções quantitativas. Isso, no entanto, não esgota as possibilidades de desenvolvimento do sistema. Regras não são poderosas o suficiente para representar o conhecimento associado a tarefas de síntese (Dym e Levitt, 1991), porque elas não permitem uma adequada representação das entidades associadas a um problema de síntese quando este possui diversos atributos e procedimentos.]

Os dados utilizados durante o projeto de plantas de cogeração podem ser muito complicados. Cada parte da planta, como o moto-gerador, possui suas próprias especificações. Cada parte contém também é subdividida em partes menores, tal como o moto-gerador é dividido em motor de combustão interna e gerador. As partes menores também possuem suas próprias especificações e também pode ser subdividida em partes ainda menores. Portanto, os dados de projeto precisam ser arranjados de um modo ordenado que é prontamente acessível e compreensível para o usuário. Projeto orientado a objetos (POO) é útil para armazenar os volumosos, complexos e hierarquicamente arranjados dados produzidos durante o projeto de uma planta. Mais ainda, POO permite modelar o conhecimento de modo muito próximo ao modelo físico de uma planta de cogeração.

Outro passo no desenvolvimento do PISE é representar o conhecimento na forma de regras e POO. Isso não implica em mudar o “shell”, porque o CLIPS possui um módulo chamado COOL (de *CLIPS Object-Oriented Language*) que permite a aplicação dos princípios fundamentais do POO (abstração, herança, polimorfismo e encapsulamento). POO foi utilizado nos trabalhos de Akagi *et al* (1988) e de Melli e Sciubba (1997). Uma possível representação baseada em POO de uma planta de cogeração é mostrada na Fig. 4, a qual foi escrita em UML®.

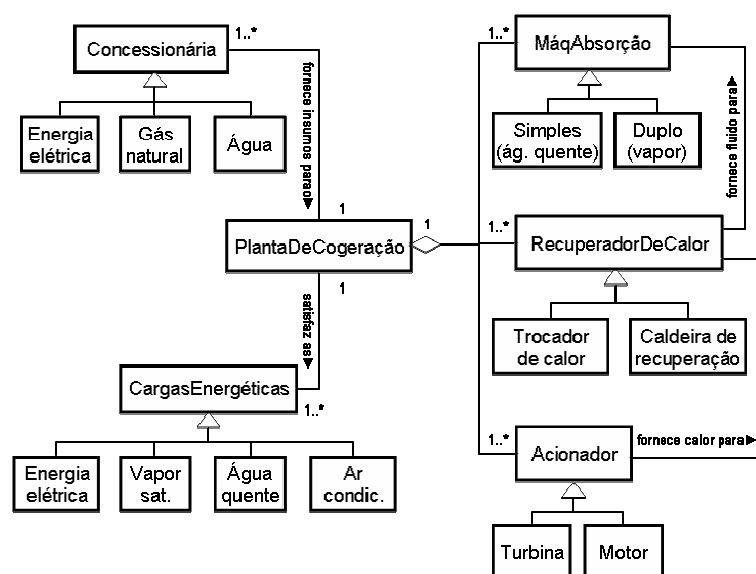


Figura 4. Representação em UML® de uma planta de cogeração a gás natural.

Outro aspecto chave a ser desenvolvido é a interface. A interface do usuário do CLIPS é muito pobre e pouco amigável, e não permite a exibição de gráficos para mostrar o diagrama da planta proposta pelo PISE. Embora a descrição textual seja razoável, ela pode conduzir a dúvidas. Assim, um diagrama é essencial para evitar mal-entendidos. Um diagrama associado à solução apresentada na seção 6 é mostrado na Fig. 5.

Uma interface mais sofisticada está em desenvolvimento através de um recurso externo disponível para o CLIPS chamado CLIPS OCX. Ele permite que se programe em CLIPS dentro do ambiente de programação do Visual Basic® ou do Delphi®, que são muito mais poderosos para se elaborar interfaces.

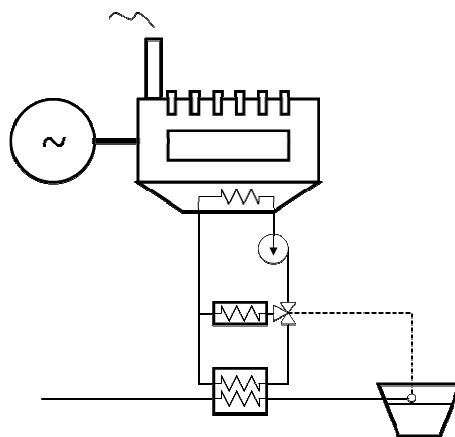


Figura 5. Planta de cogeração para produção de energia elétrica e água quente: recuperação de calor do circuito de arrefecimento do óleo lubrificante

## 8. Conclusão

A técnica de sistemas especialistas é uma boa alternativa para se abordar o problema de projeto e otimização de plantas de cogeração porque ele não trabalha com todas as possíveis combinações de componentes, provendo rapidamente uma solução confiável e robusta. Entretanto, a solução pode não ser ótima, mas é provavelmente próxima da ótima, pois é baseada em conhecimento especializado no domínio da cogeração. Apesar da incipiência das soluções propostas pelo PISE, deve-se ter em mente que esse é um processo natural no desenvolvimento de sistemas especialistas. É importante enfatizar que o sistema especialista aqui apresentado está em desenvolvimento; soluções mais robustas e confiáveis são esperadas assim que a POO seja utilizada para complementar o conhecimento baseado em regras.

## 9. Referências

- Orlando, J. A. *Cogeneration design guide*. Atlanta. ASHRAE. 1996.
- Manninen, J. and Zhu, X. X. *Level-by-level Flowsheet Synthesis Methodology for Thermal System Design*. *AiChE Journal*. 2001. 47(1): 142-159.
- Douglas, J. M. *Conceptual design of chemical process*. New York. McGraw-Hill. 1988.
- Hostrup, M., Gani, R., Kravanja, Z., Sorsak, A., Grossman, I. *Integration of thermodynamic insights and MINLP optimization for the synthesis, design and analysis of process flowsheets*. *Computers & Chemical Engineering*. 2001. 25: 73-83.
- Mizsey, P. and Fonyo, Z. *Toward a more realistic overall process synthesis – the combined approach*. *Computers & Chemical Engineering*. 1990. 14: 1213-1236.
- Fujita, K.; Akagi, S.; Yoshida, K.; Hirokawa, N. *Genetic algorithm based optimal planning method of energy plant configurations*. In *Proceedings of the 1996 ASME design engineering: technical conferences, Irvine, USA, 1996, 96-DETC/DAC-1464*. pp. 1-12.
- Kott, A. S., May, J. H., Hwang, C. C. *An autonomous artificial designer of thermal energy systems: Part 1 – Theoretical considerations*. *Transactions of ASME: Journal of Gas Turbine and Power*. 1989. 111(4): 728-733.
- akagi, S.; Fujita, K.; Kubonish, H. *Building an expert system for power plant design*. *Proceedings of the 1988 ASME design automation conferences, 1988, Kissimmee, USA, DE-14*, pp 297-302.
- Melli, R. and Sciubba, E. *A prototype expert system for the conceptual synthesis of thermal processes*. *Energy Conversion and Management*. 1997. 38(15-17): 1737-1749.
- Manolas, D. A., Efthimeros, G. A., Tsahalis, D. T. *Development of an expert system shell based on genetic algorithms for the selection of the energy best available technologies and their optimal operating conditions for the process industry*. *Expert Systems*. 2001. 18(3). 124-130.
- Giarratano, J. C. and Riley, G. *Expert systems: principles and programming*. Boston. 2. ed.: PWS. 1994.
- Gonzales, A. J. and Dankel, D. D. *The engineering of knowledge-based systems: theory and practice*. Englewood Cliffs. Prentice Hall. 1993.
- Kingston, J. *Conducting feasibility studies for knowledge based systems*. *Knowledge-Based Systems*. 2004. 17(2-4). 157-164.
- Kidd, A. L. *Knowledge acquisition for expert systems: a practical handbook*. New York. Plenum Press. 1987.
- CLIPS User's Guide 6.20 (March 31st 2002)*. Giarratano, J. C. Available at: <http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>.
- Dym, C. L. and Levitt, R. E. *Knowledge-based systems in engineering*. New York. McGraw-Hill. 1991
- UML: The Unified Modeling Language. Available at: <http://www.uml.org>.

## **AN EXPERT SYSTEM INITIAL PROTOTYPE FOR NATURAL GAS COGENERATION SYSTEMS DESIGN AND OPTIMIZATION**

José Alexandre Matelli  
Federal University of Santa Catarina  
Department of Mechanical Engineering  
Laboratory of Combustion and Thermal System Engineering  
Campus Universitário 88.040-900 Florianópolis, SC BRAZIL  
[matelli@cet.ufsc.br](mailto:matelli@cet.ufsc.br)

Edson Bazzo  
Federal University of Santa Catarina  
Department of Mechanical Engineering  
Laboratory of Combustion and Thermal System Engineering  
Campus Universitário 88.040-900 Florianópolis, SC BRAZIL  
[ebazzo@emc.ufsc.br](mailto:ebazzo@emc.ufsc.br)

### **Abstract**

In this work is presented an expert system initial prototype (ESIP) for cogeneration plant design. Expert system (ES) technique is a good alternative to approach the cogeneration design and optimization problem because it does not deal with all the possible component combinations. The ESIP presented here is implemented in an ES shell and has a knowledge base based on rules. Considering 1.0 MWe of power and hot water at 50 °C as design requirements, the ESIP provided quickly a qualitative solution, which consists of a engine-based genset with a thermal circuit that recovers the heat associated to the lube oil.

Keywords: Cogeneration, Expert Systems Natural Gas, Design, Optimization