



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

MAPEAMENTO E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO USO DO GÁS NATURAL EM PROCESSOS TÉRMICOS INDUSTRIAIS

Maurício F. Henriques Jr., Fabrício Dantas, Marcelo Schwob

**Instituto Nacional de Tecnologia - INT, Av. Venezuela 82, Rio de Janeiro - RJ –
20.081-312, mauricfr@int.gov.br, fabricio@int.gov.br, marcelor@int.gov.br**

Resumo – O presente trabalho relata algumas experiências recentes dentro da linha de pesquisa do INT que trata do Mapeamento e do Desenvolvimento Tecnológico de Processos Térmicos Industriais com o Uso de Gás Natural. O desenvolvimento desta atividade tem se dado no sentido de estabelecer o estado da arte do emprego do gás natural nestes processos, buscando identificar questões de ordem tecnológica, em particular sobre alguns gargalos técnicos, que limitam ou que trazem baixa eficiência em alguns sistemas, e oportunidades de desenvolvimento e de aprimoramento de tecnologias dentro do setor industrial, visando um pleno desenvolvimento do mercado deste combustível.

Algumas oportunidades e inovações tecnológicas vêm sendo identificadas e nuclearam projetos específicos, onde foram desenvolvidos novos conceitos e adaptações de alguns equipamentos e processos.

Estão descritas a abordagem metodológica do mapeamento tecnológico, de forma resumida, e os casos recentemente desenvolvidos dentro dos sub-setores de alimentos e de cerâmica, em particular para alguns tipos de fornos e secadores. Estes trabalhos procuram trazer maior competitividade do gás natural, como também de novas aplicações em processos até então atendidos preferencialmente por outros insumos energéticos, em particular a energia elétrica e lenha.

Palavras-Chave: gás natural; indústria; processo térmico

Abstract – This paper describes some recent R&D experiences at INT in the area of “Technological Mapping and Development of Industrial Heating Processes Using Natural Gas”. This research activity has been developed with the goal of determining the state of the art of natural gas use in these processes, pursuing the identification of technological matters, particularly some technical bottlenecks, as well as opportunities for improvement and innovation of industrial technologies, in order to achieve full-development on the market for this fuel.

Some technological opportunities and innovations has been identified and, as such, seeded more straightforward projects, that targeted the development of new concepts or upgrading of specific process equipment.

The methodology used for this technological mapping procedure is briefly described, as well as the case-studies recently obtained in the food and ceramics sub-sectors, particularly for some furnaces and dryers. All these projects and studies had the objective of bringing grater competitiveness for natural gas as a fuel, either by improving its usual usage or by introducing it as a viable energy source in applications where other sources are traditional, particularly electricity and wood.

Keywords: natural gas, industry, thermal process

1. Introdução

As tecnologias de aquecimento fornecem calor para praticamente todos os processos industriais. Tanto na fabricação de produtos de uso intenso de energia, como aço, cimento, papel e celulose, quanto em processos de produtos de maior valor agregado, como eletrônicos, cosméticos e outros, os processos de aquecimento em geral constituem um ponto crítico na indústria.

No caso do Brasil, o setor industrial é responsável por 37,7% da energia total utilizada (MME, 2004), o que representa uma oportunidade considerável de se buscar um aumento na produtividade industrial, eficiência energética e competitividade global. Apesar de algumas melhorias alcançadas nas últimas duas décadas, por conta da elevação do custo da energia, os níveis de eficiência nos processos industriais ainda são baixos, mesmo em países desenvolvidos (ENERGETICS e CAPITAL SURINI, 2001; HENRIQUES JR., 1995). No entanto, diante de uma maior regulamentação no setor e pressões por maior competitividade, as indústrias vêm aumentando seu interesse por tecnologias de processos de aquecimento onde existam maior desempenho, menores impactos ambientais, maior flexibilidade e menor custo.

Nos últimos anos a matriz energética da indústria no Brasil vem passando por um contínuo processo de transformação, com a intensificação do emprego de fontes energéticas renováveis, como o bagaço de cana e outros, assim como através do emprego de combustíveis fósseis, como o carvão mineral, o coque de petróleo (importado) e o gás natural. Este último, no entanto, ainda tem uma participação tímida dentro do setor, respondendo por somente 8,6% do consumo total (MME, 2004). Além desse aspecto, o gás natural na indústria vem se concentrado em setores energointensivos (siderúrgico, petroquímico, vidro etc), não contemplando de modo equivalente, uma imensa quantidade de setores, em sua maioria constituídos por indústrias importantes, onde haveria uma grande potencialidade global de emprego de gás natural.

Os motivos principais deste fato são de ordem econômica, ou seja, preço do gás diante de outros energéticos de baixo custo, notadamente a lenha; além da falta de uma ampla rede de distribuição, e ainda, numa menor escala, mas também relevante, algumas dificuldades técnicas em adaptações ou na disponibilidade de tecnologia adequada.

Segundo alguns estudos (SCHWOB e MORALES, 2002), são notórios ainda os casos de insucesso no emprego do gás natural em alguns setores, onde algumas unidades industriais, após iniciarem o emprego deste combustível, têm obtido resultados aquém do esperado, seja em termos técnicos ou econômicos, revertendo então suas instalações para o combustível original, geralmente óleo combustível ou lenha/serragem. Na maioria dos casos tais resultados decorreram da tentativa de realizar conversões não técnicas ou improvisadas, limitando-se a troca pura e simples de queimadores, desconsiderando algumas peculiaridades dos equipamentos ou dos processos, dos produtos e do próprio combustível – o gás natural.

2. Mapeamento Tecnológico – Metodologia

O mapeamento tecnológico vem sendo desenvolvido dentro de uma abordagem setorial, buscando identificar gargalos tecnológicos, problemas de conversão em determinados processos e oportunidades de aprimoramento e de desenvolvimento tecnológico. Todo o setor industrial vem sendo pesquisado, sendo que alguns segmentos específicos, dentro de projetos CTPETRO/Finep/Petrobras, foram priorizados numa primeira etapa para uma investigação mais detalhada, conforme será apresentado nos itens subsequentes, com a apresentação de casos para os setores de panificação industrial e de pequeno porte, torrefação de café, massas alimentícias e setor de cerâmica vermelha.

No caso do estudo geral de mapeamento tecnológico, parte-se de uma adaptação da metodologia Delphi (ROWE e WRIGHT, 1999), e percorre-se uma série de etapas: levantamento geral de dados dos sub-setores específicos, pesquisa de gargalos e de oportunidades junto a um grupo de especialistas previamente selecionado, pesquisa junto a indústrias, consulta a bases de dados e bancos de patentes, definição de estado da arte e uma validação final junto ao grupo de especialistas citado.

Ao longo deste trabalho surgem produtos específicos, como por exemplo:

- balanços energéticos dos principais processos industriais utilizados, ou seja, onde, como e o quanto empregam de cada tipo de energético (eletricidade, gás, lenha, óleo combustível etc);
- base de dados de consumo específico de energia (ex.: consumo de gás por produção física para certo tipo de processo) para definição de parâmetros ou referências de *best practice* para considerações posteriores;
- identificação dos casos em que há a necessidade de uma abordagem técnica mais refinada para um adequado processo de conversão ou substituição de equipamentos;
- definição das aplicações nas quais o gás natural não é competitivo e que demandam desenvolvimento tecnológico de novos equipamentos ou processos;
- definição dos casos onde existem indicações fortes de boa viabilidade técnico-econômica para a adoção secundária do gás natural, através de projetos de geração/cogeração, refrigeração por adsorção e outros empregos;

Como resultado final são apontados gargalos tecnológicos, tais como: problemas de projeto de engenharia e/ou operacionais, de adequação do gás às condições pré-existentes de outros combustíveis, inexistência de fornecedores de equipamentos nacionais, assistência técnica deficiente, tecnologia ultrapassada e outros. São ainda indicadas oportunidades de inovações e de aprimoramento tecnológico, vantagens e desvantagens do gás natural sobre outros energéticos, viabilidade técnica da conversão eco-eficiente dos equipamentos térmicos, possibilidades de troca por

equipamentos específicos, processos produtivos alternativos e de maior viabilidade no uso de gás natural e possibilidades de inovação tecnológica.

Neste último aspecto têm surgido propostas de temas específicos, tais como: projetos de queimadores, pesquisa de processos de produção alternativos, emprego de queima direta, novos desenhos de fornos, secadores e de outros equipamentos, indicação de sistemas de controle e de simulação; modelos apropriados para aproveitamento indireto (secundário) do gás no processo (cogeração, frio industrial e força motriz), além de novos temas de P&D, como é o caso de combustão em queimadores radiantes, combustão pulsante e enriquecimento de chama com oxigênio.

3. Estudo de Casos

3.1. Fabricação de Queimadores Industriais

O mercado brasileiro de queimadores carece de soluções e alternativas uma vez que, dos 40 fabricantes e representantes relevantes, apenas um emprega tecnologia nacional. Os demais importam os principais componentes ou os fabricam sob licença, além do que apenas um laboratório certifica queimadores (TAPIA, REGO e DANTAS, 2002).

O aumento do rigor na regulamentação ambiental no País traz oportunidades para o desenvolvimento nacional de tecnologias de combustão específicas para o gás natural, como queimadores DLN (baixa emissão de NO_x), combustão catalítica e queimadores radiantes, as quais entraram no mercado internacional há pouco tempo ou ainda apresentam limitações, havendo suficiente margem para nacionalização da tecnologia.

3.2. Torrefação de Café

Na fabricação de café torrado foram avaliadas três gerações de equipamentos empregados no setor – a primeira, mais antiga e desprovida de sofisticação tecnológica, e consequentemente de baixos desempenho energético e produtividade; uma intermediária, e a última e mais recente, onde inúmeros sistemas estão incorporados, garantindo alta performance.

A Tabela 1 mostra os dados de performance de cada uma das tecnologias. Em algumas conversões para o gás natural, o baixo desempenho dos equipamentos de gerações antigas tem prejudicado a adoção do gás natural, já que o potencial técnico de pleno uso do gás não é totalmente aproveitado (INT, 2005). As principais adaptações a serem incorporadas nos equipamentos de 1ª e 2ª gerações contemplam: melhoria de isolamento térmico, aumento do volume de gases a serem recirculados e incorporação de sistemas de controle, automação e segurança. Estas medidas tornam o equipamento 12% mais econômico em termos energéticos e promovem um aumento da produtividade de 30%.

Tabela 1. Comparação entre as três gerações de torradores de café ao operar com gás natural em uma batelada típica (480kg de grãos crus fornecendo 432kg de grãos torrados)

Item	1ª Geração		2ª Geração		3ª Geração (referência)
	Padrão	Otimizado	Padrão	Otimizado	
Tempo de torra (min)	20	15	20	15	12
Sist. controle (queima, emissões, resfriamento)	Manual	Automático	Manual	Automático	Aut. comp.*
Consumo específico (kcal/kg grão_torrado)	1.023	869	1.023	869	674
Controle de emissões (películas e odor)	Incineração	Recirculação	Recirculação	Recirculação	Recirculação
Recuperação de calor (%)	7	35	35	35	36
Sist. autom. de segurança (explosão e incêndio)	Ausente	Simplificado	Presente	Presente	Presente
Perda térmica total (%)	91	88	90	88	85

* Sistema automático computadorizado de controle e monitoramento.

Fonte: elaboração própria a partir de INT, 2005

3.2. Panificação Industrial

Alguns fornos de panificação industrial vêm sendo convertidos ou adaptados para o uso do gás natural. Alguns detalhes técnicos no entanto não são atendidos, o que tem causado uma perda de produtividade e uma situação por vezes desfavorável no confronto deste equipamentos com os similares elétricos. As pesquisas de campo revelaram que é possível ter equipamentos a gás tão bons ou superiores aos similares elétricos, desde que atendidos os seguintes itens: adaptações e redesenho de queimadores para compensação de perdas de calor em determinadas partes do forno, melhoria de combustão, aumento do nível de recuperação de calor, melhoria do isolamento térmico, cobertura do retorno da esteira transportadora de modo a evitar perdas de calor, redução de peso (massa) da esteira e melhoria dos sistemas de automação e controle (velocidade, temperatura e outros).

3.3. Secador de Massas

A secagem de massas é processada tradicionalmente em equipamentos atendidos por um sistema de água quente em trocadores / aquecedores de ar, proveniente de caldeira (sistema centralizado de geração de calor). Neste caso, o estudo desenvolvido foi o de um equipamento com o aquecimento direto de ar através da queima de gás natural, isto é, considerando o uso descentralizado do calor, que tornaria desnecessário todo o sistema de água quente e seu

custo e ineficiência intrínsecos. A Figura 1 apresenta um croqui do projeto idealizado comparando com o sistema tradicional.

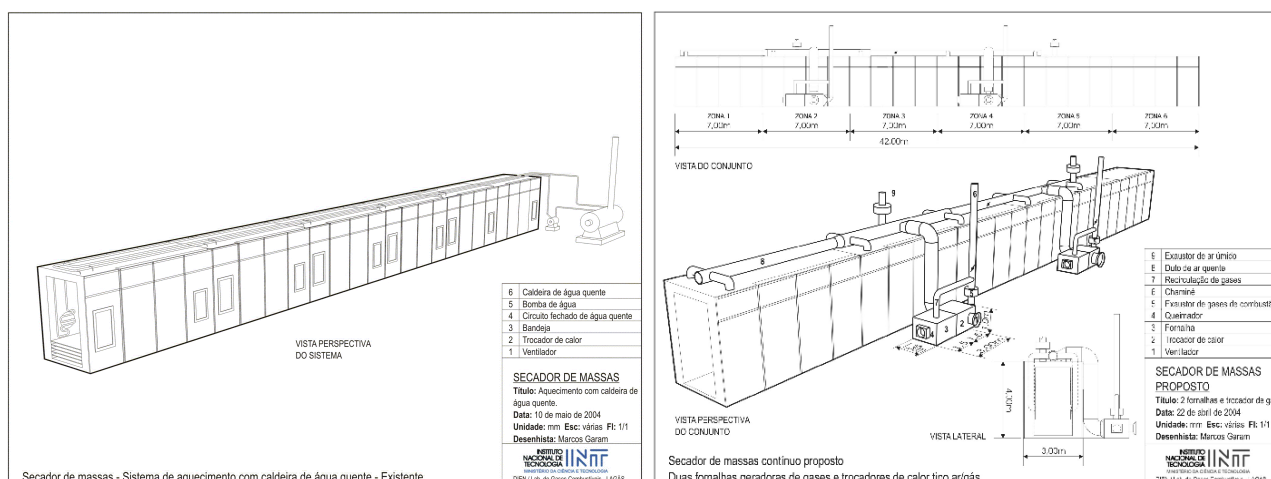


Figura 1 - Secador de massas contínuo tradicional (aquecimento com água quente; à esquerda) e o projeto proposto pelo INT (queima direta de gás natural; à direita)

O ganho operacional deste novo sistema poderia ser de cerca de 23% sobre o custo energético operacional de um sistema tradicional com o uso de água quente, fora outros ganhos advindos de uma menor manutenção exigida pelo novo conceito (INT, 2005).

3.4. Cerâmica Vermelha

No setor de cerâmica vermelha ainda há um estudo em curso, porém com algumas conclusões já bastante claras (SCHWOB, 2005). Neste segmento o gás natural vem tendo uma dificuldade muito grande de inserção, motivada principalmente pelo custo muito baixo da lenha, que é usada intensivamente nas empresas. No entanto, em algumas empresas onde houve ou há o uso do gás, foram identificados alguns problemas técnicos típicos de conversões inadequadas. Os fornos empregados foram dimensionados originalmente para combustíveis sólidos e/ou líquidos, e quando há a adaptação para o gás tem ocorrido com frequência problemas de incidência muito localizada de chamas e de temperatura excessivamente alta ou baixa em alguns pontos. Contribuem para o agravamento desta situação a ausência de dispositivos de monitoramento e controle, inexistência de recuperação de calor para secagem de produtos e outros. Todos estes aspectos reunidos trazem perda de produtividade e, por vezes, afetam negativamente a qualidade dos produtos e afastam as empresas potencialmente usuárias do gás natural (TAPIA, REGO e DANTAS, 2002).

A tabela 2 exemplifica a diversidade de desempenhos energéticos com o emprego do gás natural no segmento. As variações passam de 70% e comprovam a possibilidade de desenvolvimento de soluções para aumento da eficiência.

Tabela 2. Consumo de combustíveis dos principais fornos empregados no setor de cerâmica vermelha.

Tipo de Forno (capacidade)	Consumo Específico (kcal/kg)
Túnel (2 milhões peças/mês)	350 a 400
Túnel – médio (900 mil peças/mês)	450 a 600
Túnel – pequeno (400 a 600 mil peças/mês)	600 a 650
Hoffmann s/ secagem (600 a 900 mil/peças/mês)	350 a 400
Hoffmann c/ secagem (600 a 900 mil/peças/mês)	500 a 600

Fonte: elaboração própria a partir de SCHWOB, 2005; TAPIA, REGO e RODRIGUES, 2002.

3.5. Panificação de Pequeno Porte (desenvolvimento de protótipo)

No caso das panificações de pequeno porte foi feita uma ampla pesquisa dos equipamentos existentes no mercado e de suas características. Foi constatado que o equipamento que melhor atendia as expectativas de produção dos empresários é o forno elétrico do tipo teto & lastro, dotado de câmaras independentes que permitem grande flexibilidade operacional e a obtenção de ótima qualidade nos produtos. O desafio que se colocou foi o desenvolvimento de um equipamento com o mesmo conceito, porém a gás natural e com um custo competitivo.

Houve o desenvolvimento técnico das câmaras de gases quentes, compreendendo o estudo do fluxo de gases para uma perfeita distribuição do calor, modelagem matemática, o desenho e adaptação de queimador de baixa potência, que constitui um gargalo na indústria nacional, e ainda a solução de pequenos problemas de projeto para facilitar uma produção do equipamento numa escala comercial. As etapas do desenvolvimento do protótipo (INT, 2005) são mostradas nas Figuras de 2 a 5.

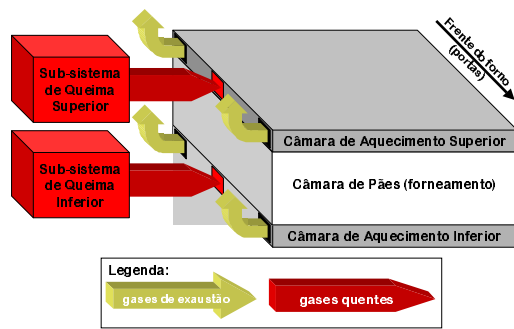


Figura 2 – Conceito proposto para aquecimento do forno.



Figura 3 – Versão de testes do protótipo.



Figura 4 – Versão final do protótipo.



Figura 5 – Resultado: homogeneidade e eficiência.

4. Conclusões

Diante do Mapeamento Tecnológico realizado e dos casos reais estudados em detalhe descritos, fica evidente que na indústria brasileira muitas adaptações e conversões para o gás natural têm sido realizadas de forma inadequada, prevalecendo sempre a escolha por uma tecnologia ou pela adaptação considerando um menor investimento em detrimento a um processo mais efetivo e de alto desempenho, embora mais oneroso. Assim, muitas conversões foram efetuadas e vêm operando com o gás natural, mas com um rendimento abaixo da performance que este energético poderia oferecer.

São também notórios os casos onde existem tecnologias de bom desempenho com o emprego de energia elétrica ou aquecidos indiretamente por vapor, fato que tem inibido o desenvolvimento de equipamentos a gás natural. Exemplo deste foram os casos descritos de desenvolvimento de um protótipo de forno de panificação de pequeno porte, de alto desempenho e flexibilidade operacional, para competir com um modelo similar elétrico, e ainda a proposta de secador de massas alimentícias empregando o conceito de fornecimento de calor descentralizado, ou seja, diretamente para o aquecimento do produto ao invés de todo um sistema de geração de água quente em caldeiras.

Outros estudos específicos vêm apontando inúmeros problemas operacionais devido às conversões efetuadas de forma inadequada, que trazem consigo ineficiência energética, elevação de custos operacionais e problemas de manutenção, os quais, por vezes, afetam o produto final, dentre outros aspectos. Principalmente onde o gás natural possui concorrentes diretos e de baixo preço, a questão da competitividade passa a ser primordial para assegurar seu pleno uso. Em termos de problemas identificados neste tipo de abordagem são evidentes os casos ligados à: projetos de engenharia mal concebidos, adaptações incorretas, inexistência de equipamento nacional, alto preço de equipamento ou de acessório importado, falta de assessoria técnica, má operação e regulação de equipamentos e falta de treinamento.

Em termos mais específicos podem ser destacados alguns pontos de baixa complexidade e que poderiam ser desenvolvidos, como é o caso da necessidade de adequação de câmaras de combustão de fornos e secadores, possibilidade do emprego de aquecimento direto em determinados processos, necessidade de ajuste de relações ar-combustível para uma boa combustão, controles de combustão inteligentes, simulação de processos, possibilidades de recuperação de calor, dentre outros.

Existe ainda um grupo de setores industriais que, seja por tradição ou por inexistência de alternativas tecnológicas, não possuem nenhuma perspectiva de utilização do gás natural. Isto é muito comum, por exemplo, nas indústrias eletro-intensivas (MONTES, 2000; HENRIQUES JR., 1995). Nestes casos, a identificação de “nichos” de aplicação do gás natural, ainda que parcialmente, no processo industrial, ou o desenvolvimento de equipamentos/processos que utilizem este combustível, traria para tais empresas, além dos benefícios mencionados anteriormente, a vantagem estratégica (em alguns casos inédita) de poder selecionar uma fonte energética alternativa, no caso o gás natural. Existem indicações de tais possibilidades em setores como têxtil (ramas com queimadores

ciclotérmicos), forjaria (substituição de fornos elétricos a indução), recauchutagem de pneus, laticínios (autoclaves e pasteurizadores com queima direta de gás), dentre outros (SCHWOB e MORALES, 2002).

De maneira semelhante ao grupo de empresas comentado acima, mas abrangendo um número maior de indústrias, existe ainda a possibilidade de utilizar o gás natural para geração de energia elétrica, cogeração, produção de frio industrial ou força motriz (motores para acionamento de sistemas de ar-comprimado, bombas, sopradores e outros). Estas formas de uso do gás natural não envolvem mudanças de processo produtivo, uma vez que implicam em modificações apenas nas centrais de utilidades, mas não existe um modelo rápido e prático para estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA) para todos os setores, uma vez que tais estudos são fortemente dependentes das peculiaridades dos processos industriais. Alguns destes estudos já foram realizados (GUIMARÃES e DANTAS, 2002; TOLMASQUIM, SZKLO e SOARES, 2003) e mostram boa viabilidade da cogeração nos setores de cerâmica vermelha, química e laticínios.

O diagnóstico e o mapeamento de novas tecnologias do uso do gás natural na indústria deve vir a servir como um importante instrumento para a definição de novas ações e projetos para o aprimoramento tecnológico do emprego deste energético no setor industrial, podendo contribuir na aceleração de sua demanda no País. Na medida que alguns problemas de ordem técnica possam ser identificados de forma clara e solucionados, o emprego do gás natural poderá se tornar mais competitivo diante de outros energéticos concorrentes e favorecer ao aumento de produtividade nos processos fabris. Isto permite definir uma abordagem mais adequada, em termos técnicos, para a oferta de gás natural como energético para o setor industrial, diferenciada não apenas por setor, mas também por tipo de processo de produção, tecnologia e equipamentos utilizados.

No campo tecnológico este tipo de abordagem deverá seguir indicando possibilidades de inovação e informações correlatas, nucleando novos projetos de pesquisa, prioridades e abordagens específicas para o desenvolvimento e aperfeiçoamento tecnológico de equipamentos e de processos industriais. De modo complementar também deverá surgir a indicação de ações de fomento, apontando prioridades para o financiamento de pesquisas, de equipamentos e de fabricantes destes, incentivos fiscais e tributários, nacionalização de peças e equipamentos e outras; com o objetivo final de promover o aumento do mercado do gás natural no setor da indústria.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem em nome do Instituto Nacional de Tecnologia aos demais membros da equipe atuante nos trabalhos aqui descritos e aos financiadores dos projetos específicos – Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP/CTPETRO e Petrobras/RedeGasEnergia.

8. Referências

- ENERGETICS Inc., CAPITAL SURINI Group International Inc. Roadmap for process heating technology. U.S. Dept. of Energy / OIT, Washington, p. 11 a 21, EUA, 2001.
- GUIMARÃES, Márcio A., DANTAS, Fabrício dos S. Modelos de sistemas de cogeração de energia com gás natural. Relatório de Projeto do INT - FINEP/CTPETRO, p. 27 a 43 e 57, Rio de Janeiro, 2002.
- HENRIQUES JR., Maurício F. Uso de energia na indústria energo-intensiva brasileira: indicadores de eficiência e potencial de economia de energia. tese de mestrado, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1995.
- INT Projeto de avaliação e desenvolvimento de equipamentos industriais de queima direta de gás natural no setor de alimentos – relatório final. Projeto de P&D financiado pela FINEP/CTPETRO e Petrobras/RedeGas-Energia, executado pelo Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro, 2005.
- MME. Balanço energético nacional, Brasília, 2004.
- MONTES, Paulo M. F. O potencial do consumo de gás natural pelo setor industrial. tese de mestrado; PPE/COPPE/UFRJ; Rio de Janeiro; 2000.
- OTA / US Congress. Industrial energy efficiency. Washington DC / EUA, 1993.
- ROWE, G.; WRIGHT, G. The delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. *International Journal of Forecasting*; nº 15; 1999.
- SCHWOB, Marcelo R. V., MORALES, Maria E. Gás natural na indústria, vol. I. Relatório de Projeto do INT - FINEP/CTPETRO, p. 50, 82, 99 e 181, Rio de Janeiro, 2002.
- SCHWOB, Marcelo R. V. Consumo de gás natural no setor cerâmico brasileiro e perspectivas de expansão. Estudo encomendado pela Petrobras ao INT, Rio de Janeiro, 2005.
- TAPIA, Roberto S. E. C., REGO, Marcelo C. S., DANTAS, Fabrício S. Gás natural na indústria, vol. II. Relatório de Projeto INT - FINEP/CTPETRO, p.10,11 e24, Rio de Janeiro, 2002.
- TAPIA, Roberto S. E. C., REGO, Marcelo C. S., RODRIGUES, Joaquim A. P. Gás natural na indústria, vol. III. Relatório de Projeto INT - FINEP/CTPETRO, p.2 a 11, Rio de Janeiro, 2002.
- TOLMASQUIM, Maurício T., SZKLO, Alexandre S., SOARES, Jeferson B. Mercado de gás natural na indústria química e no setor hospitalar do Brasil. COPPE/UFRJ; ISBN 85-87922-66-1; p. 292 a 297; Rio de Janeiro, 2003.