



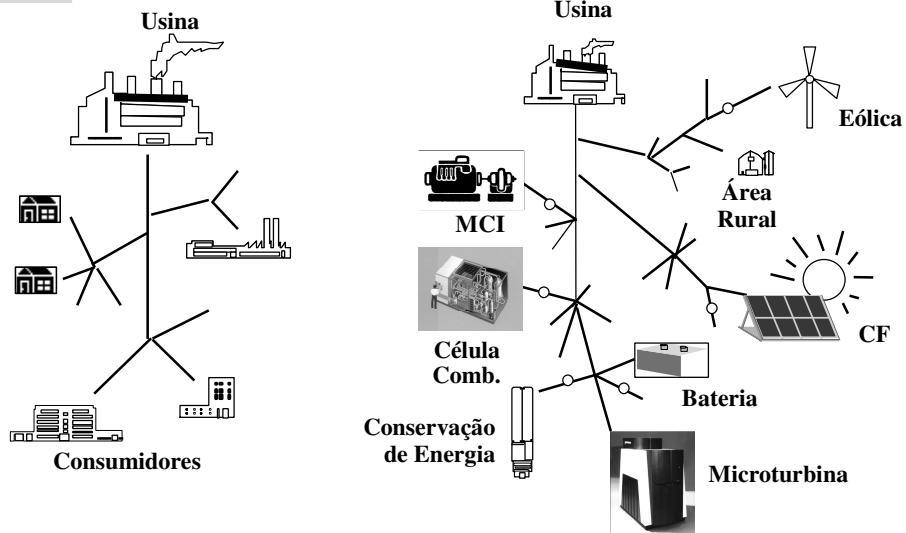
Máquinas Térmicas: Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara

Conceitos Básicos



Geração Distribuída



Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Geração Distribuída

- Geração distribuída – GD – (caso específico de “recursos distribuídos”) é o novo termo para o que, no passado, era conhecido como geração descentralizada (atendimento da demanda por unidades de geração de pequeno ou médio porte, localizadas próximas aos pontos de consumo).
- Há várias definições de GD e uma delas estabelece como sendo a geração que prescinde de sistemas de transmissão para atendimento do mercado consumidor.
- Quanto à capacidade, aceitam-se como GD unidades de até 300 MW.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Geração Distribuída - Motivações

- Desejo dos consumidores de reduzir o custo do suprimento de energia elétrica e de melhorar a confiabilidade desse suprimento;
- Reestruturação institucional do setor elétrico, com :
 - criação das figuras do consumidor livre e do comercializador de energia;
 - oportunidade de livre acesso de produtores independentes e consumidores livres ao sistema de transmissão;
 - legalização da venda de energia elétrica ao mercado por produtores independentes;
 - permissão legal de distribuição de eletricidade junto com a de frio/calor distrital;
- Disponibilidade crescente do gás natural para geração;
- Conscientização dos problemas ambientais;
- Aperfeiçoamento de tecnologias que tornaram competitivos novas fontes e novos processos de geração de energia;
- Progresso da tecnologia eletrônica e conseqüente redução nos custos de sistemas de controle, de processamento e de transmissão.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Geração Distribuída - Vantagens

- Atendimento mais rápido ao crescimento da demanda;
- Aumento da confiabilidade do suprimento aos consumidores próximos à geração local;
- Aumento da estabilidade do sistema elétrico, pela existência de reservas de geração distribuídas;
- Redução das perdas na transmissão e dos respectivos custos, e adiamento no investimento para reforçar o sistema de transmissão;
- Redução dos investimentos para implantação, inclusive os das concessionárias para o suprimento de ponta, dado que este passa a ser compartilhado ("peak sharing");
- Redução dos riscos de planejamento;
- Aumento da eficiência energética, redução simultânea dos custos das energias elétrica e térmica, e colocação dos excedentes da primeira no mercado a preço competitivo (para os autoprodutores).

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Geração Distribuída - Desvantagens

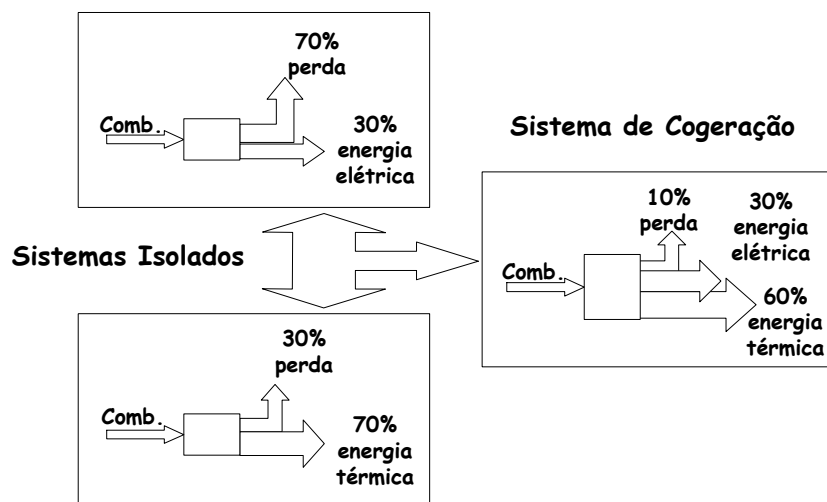
- Maior complexidade no planejamento e na operação do sistema elétrico, inclusive na garantia do "back-up";
- Maior complexidade nos procedimentos e na realização de manutenções, inclusive nas medidas de segurança a serem tomadas;
- Maior complexidade administrativa, contratual e comercial;
- Maiores dificuldades de coordenação das atividades;
- Em certos casos, diminuição do fator de utilização das instalações das concessionárias de distribuição, o que tende a aumentar o preço médio de fornecimento das mesmas.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Sistemas Isolados e Sistema de Cogeração



Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Cogeração

- Os sistemas de cogeração, que permitem produzir simultaneamente energia elétrica e calor útil, configuram a tecnologia mais adequada para a utilização racional de energia.
- Este é o caso das indústrias sucro-alcooleira e de papel e celulose, que além de demandar potência elétrica e térmica, dispõem de combustíveis residuais que se integram de modo favorável ao processo de cogeração.
- A cogeração é usada em grande escala no mundo, inclusive com incentivos de governos e distribuidoras de energia.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Cogeração - Motivações

- Aumento do excedente de autoprodutores através da modernização do processo de cogeração;
- Reestruturação institucional do setor elétrico;
- Privatização das concessionárias de energia elétrica abrindo possibilidades de parcerias entre estas empresas e os cogeneradores;
- Incentivo à participação da iniciativa privada na geração de energia com estímulo a parcerias para viabilização de cogeração;
- Disponibilidade crescente do gás natural para cogeração;
- Conscientização dos problemas ambientais.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Cogeração - Vocação

- Empresas com alta demanda de energia térmica;
- Simultaneidade das demandas elétrica e térmica;
- Compatibilidade do processo produtivo com o sistema de cogeração (níveis de temperatura, uso final da energia);
- Parque fabril com escala de produção compatível com os investimentos em equipamentos de cogeração;
- Disponibilidade de combustível.



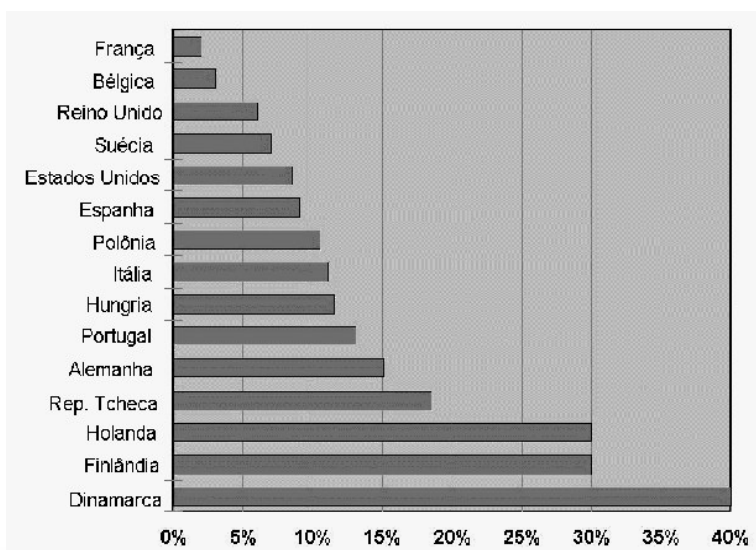
Cogeração – Setores com Vocação

- Setor industrial (calor para processo)
 - química e petroquímica
 - têxtil
 - cerâmica
 - bebidas e alimentos
 - papel e celulose
- Setor de serviços (climatização)
 - shopping centers
 - hotéis
 - hospitais
 - aeroportos
 - conjuntos empresariais

Cogeração : Tendências



Cogeração no Mundo

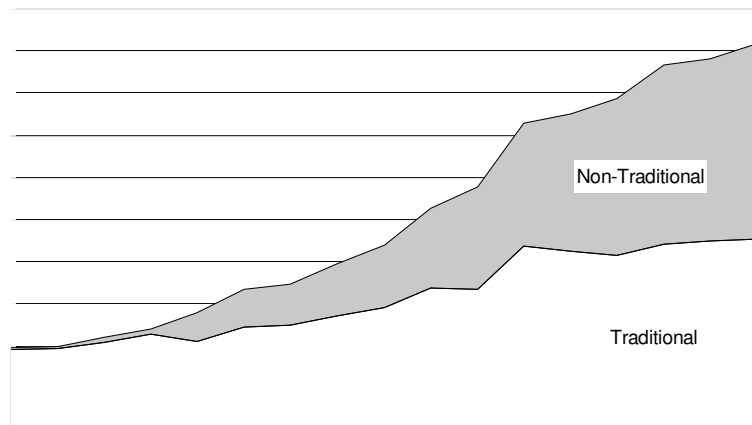


Cogeração

Jurandir Itzo Yanagihara



Evolução da Cogeração nos EUA



Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Cogeração Tradicional

- O seu objetivo principal é fornecer vapor de processo como utilidade na indústria. A eletricidade gerada é um produto secundário.
- Características principais:
 - Capacidade média : 20 MW
 - 80 % da energia é consumida no sistema caldeira / turbina a vapor.
 - “Power-to-Heat Ratio” (razão entre potência elétrica e energia térmica) é de 0,2 para caldeiras / turbinas a vapor e 1,5 para turbinas a gás / ciclos combinados.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Cogeração Não-Traducional

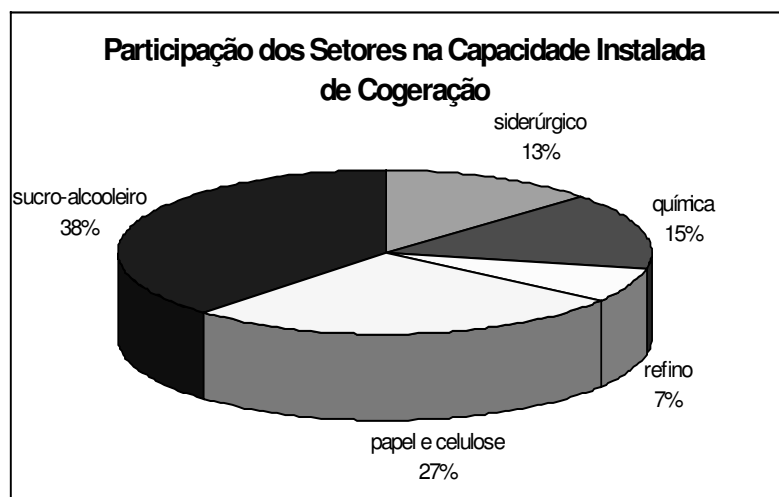
- O seu objetivo principal é gerar eletricidade para venda à concessionária. O vapor é produto secundário, que viabiliza a autoprodução de eletricidade.
- Características principais
 - Capacidade média: mais de 100 MW
 - 76% da energia é consumida nas turbinas a gás de ciclos combinados.
 - “Power-To-Heat Ratio” de 0,5 no mínimo para caldeiras / turbinas a vapor e 2,0 para turbinas a gás.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Cogeração no Brasil



Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Cogeração no Brasil

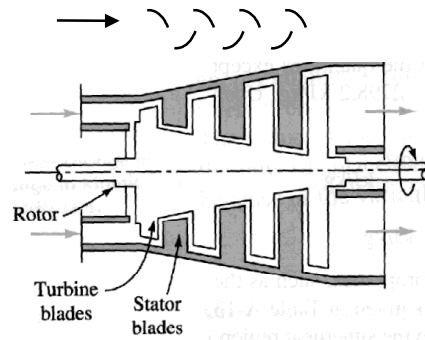
- **SETOR SUCROALCOOLEIRO SÃO PAULO:**
 - Potência instalada: 750 MW, excedente 30 MW
 - CPFL (2000) compra 135.000 MWh (1% do seu consumo)
 - Potencial de excedentes: 700 a 2.000 MW (1.000 a 3.500 MW - Brasil)
- **SETOR DE PAPEL CELULOSE:**
 - Potência instalada: 720 MW (GCPS, Eletrobrás)
 - Potencial: 1.100 a 1.600 MW
- **RESÍDUOS AGRÍCOLAS:**
 - Madeira (Amazônia): potencial de 430 a 860 MW (CENBIO)
 - Resíduos agrícolas (no campo): 9.000 a 18.000 MW

Equipamentos



Turbinas

$$\dot{W}_{vc} = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} \right) - \sum \dot{m}_s \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} \right)$$

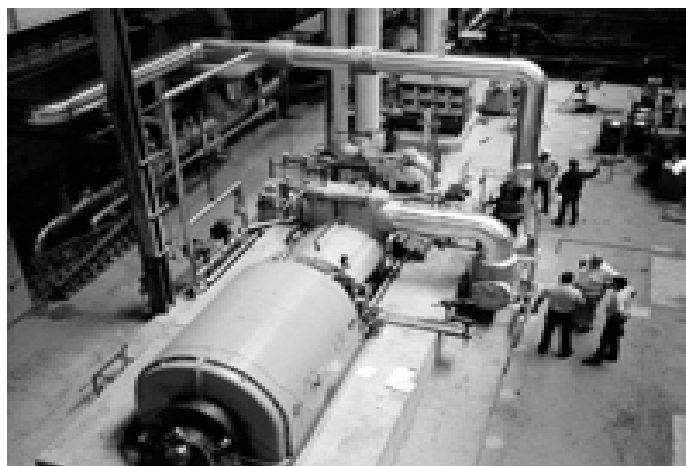


Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina a Vapor

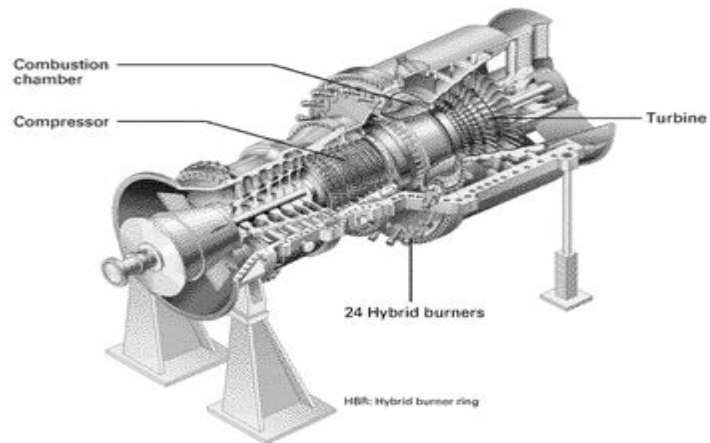


Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina a Gás



Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Microturbinas e Células de Combustível

Microturbinas



Células Combust.



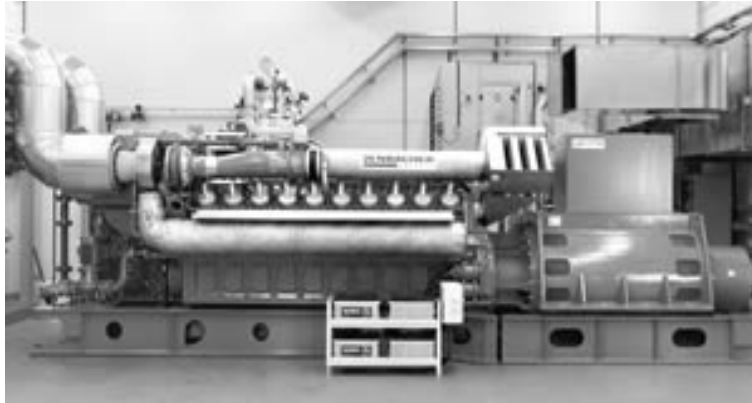
Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Motores de Combustão Interna

MCI (Diesel, Otto)

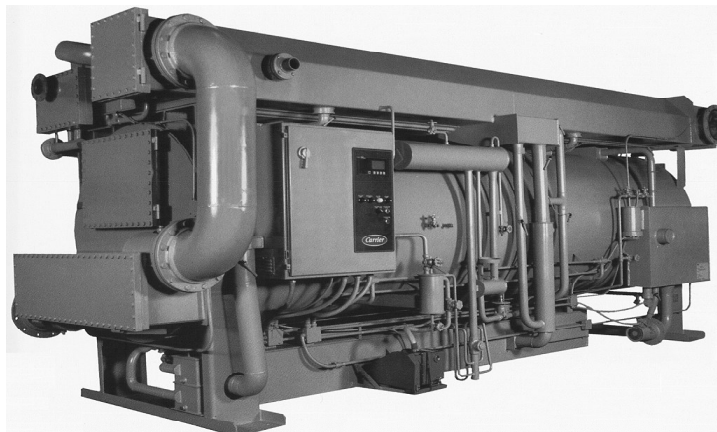


Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Chiller de Absorção



Cogeração

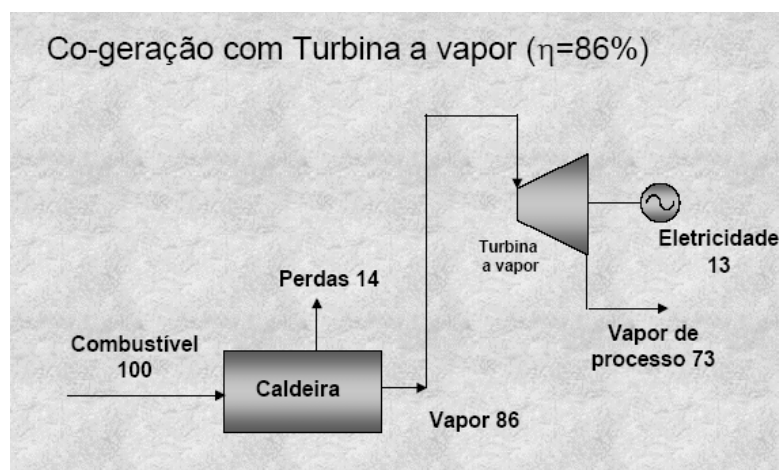
Jurandir Itizo Yanagihara

Sistemas de Cogeração



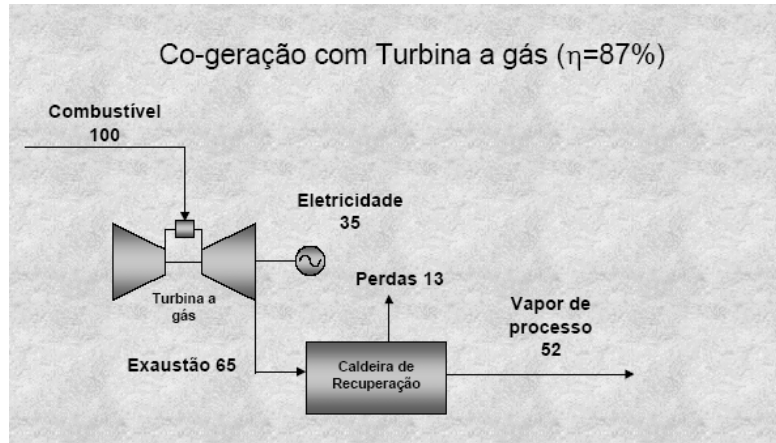
Cogeração com Tecnologia Convencional

Co-geração com Turbina a vapor ($\eta=86\%$)





Cogeração com Caldeira de Recuperação



Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



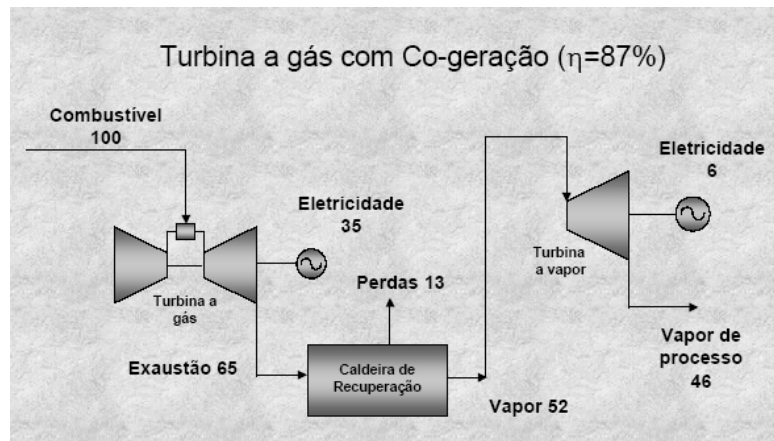
Caldeira de Recuperação



Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara

Cogeração com Ciclo Combinado

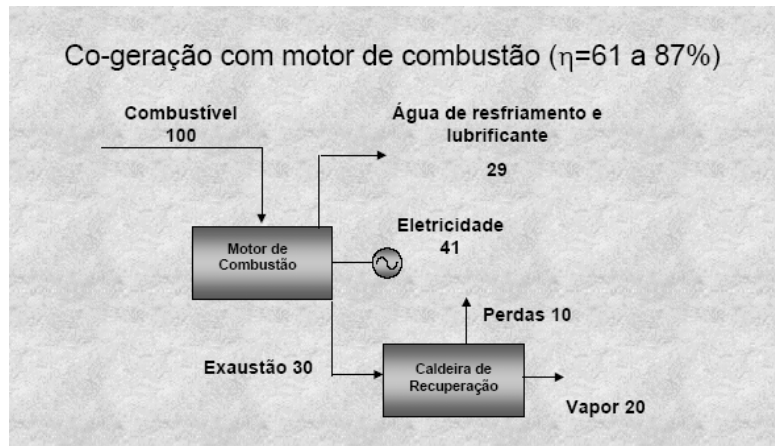


Cogeração com Turbina a Gás

- Composto de turbina a gás, caldeira de recuperação, com ou sem turbina a vapor;
- Opera com ou sem pós-queima;
- Relação de 1,5 a 6 t/h de vapor produzido para cada MW gerado;
- Rendimento elétrico de 28 a 37%;
- Rendimento global do ciclo ~ 87%



Cogeração com Motor de Combustão Interna



Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Cogeração com Motor de Combustão Interna

- Operam com motores de combustão interna;
- Recuperação de calor na forma de vapor e de água quente;
- Rendimento elétrico alto ~ 40 a 43%;
- Rendimento global do ciclo dependente da recuperação de calor de baixa temperatura.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Critérios para Escolha da Tecnologia

- Relação entre consumo de vapor e demanda elétrica;
- Custo atual do vapor e eletricidade;
- Necessidade ou não de frio;
- Combustível disponível e seu preço;
- Possibilidade de venda de excedente.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Convergência : Eletricidade e Gás

- Desregulamentação: Indústrias de Suprimento Elétrico e de Gás Natural em diversos países;
- Desenvolvimento/difusão das TGCC (base da ampliação da capacidade da geração térmica de eletricidade nos EUA e Europa)
- Na Europa (CEE):
 - participação do gás natural na geração térmica (1985 - 1997) passou de 12% para 26 %;
 - capacidade instalada em TGCC de 46 GW (1995) aumentará para 384 GW (2020)
- Nos EUA (DOE):
 - gás natural é a opção tecnológica em 80% do aumento de capacidade planejado até 2010.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Evolução Tecnológica - TGCC

Desenvolvimento das TGCC permitiu para as termelétricas a gás:

- reduções do patamar de escala;
- menores:
 - custos de investimento
 - operação&manutenção (geração)
 - prazos de construção
- queda das restrições para a atuação de produtores independentes
- competição na geração e comercialização de eletricidade.



Evolução Tecnológica - TGCC

As TGCC tendem a ampliar ainda mais as suas características de:

- Eficiência (de 45-55% para mais de 75%)
- Flexibilidade (utilização de outros combustíveis)
- Baixo nível de emissões ($\text{NO}_x < 10 \text{ ppm}$)
- Disponibilidade / confiabilidade
- Escalas (custos de investimento e geração 10% menores que os atuais)



Principais Fatores Econômicos

- CUSTOS
 - custos operacionais (combustível e O&M)
 - custos de capital (próprio e financiado)
 - custo do “back up”
- RECEITAS
 - custos operacionais substituídos
 - ganhos devidos à confiabilidade
 - receitas na venda de eventuais excedentes

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Cogeração a Gás Natural - Dificuldades

- Negócio novo: futuro incerto.
- Custo do gás natural;
- Alto custo pelo uso das linhas de transmissão e distribuição;
- Back-up;
- Venda de excedente;
- Preços do gás e equipamentos em US\$;
- Contratos de fornecimento take-or-pay;
- Alto custo do financiamento.

Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



Conclusão – Vantagens da Cogeração

- Maior rendimento térmico;
- Menor impacto ambiental;
 - Área alagada na formação dos reservatórios;
 - Emissões ambientais das usinas termelétricas utilizando combustível fóssil;
- Geração Descentralizada
 - Redução de perdas;
 - Postergação de investimentos;
 - Melhoria da confiabilidade



Motores de Combustão Interna

- Utiliza Ciclo Otto ou Diesel e tem potência de até 60 MW.
- As primeiras unidades (até médio porte) foram desenhadas inicialmente para transporte, sendo convertidas posteriormente para geração. Unidades de grande porte foram desenhadas especificamente para geração.
- Utilizados principalmente em plantas industriais para suprir energia
- Na cogeração fornece:
 - Água quente a 90° C;
 - Vapor a 130° C;
 - Calor a alta temperatura para uso em processos através de gases entre 500 a 540° C.
- As novas versões podem utilizar um ou mais combustíveis:
- Modo combinado – GN e Diesel ao mesmo tempo.
- Modo Alternado –GN ou Diesel em momentos diferentes.
- Turbinado – compressão do ar utilizado na combustão para obtenção de maior potência de saída.
- Com Controle de Emissões de NOx.