



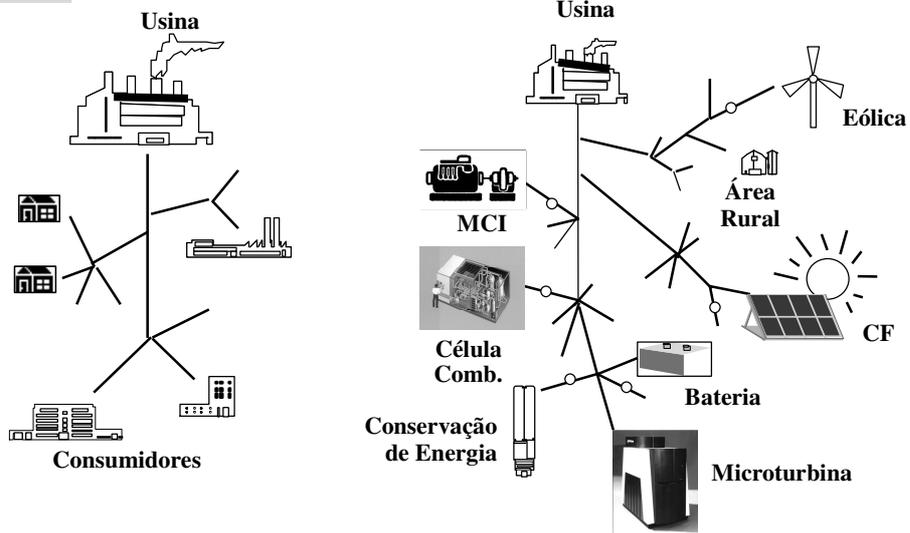
## **Máquinas Térmicas: Cogeração**

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

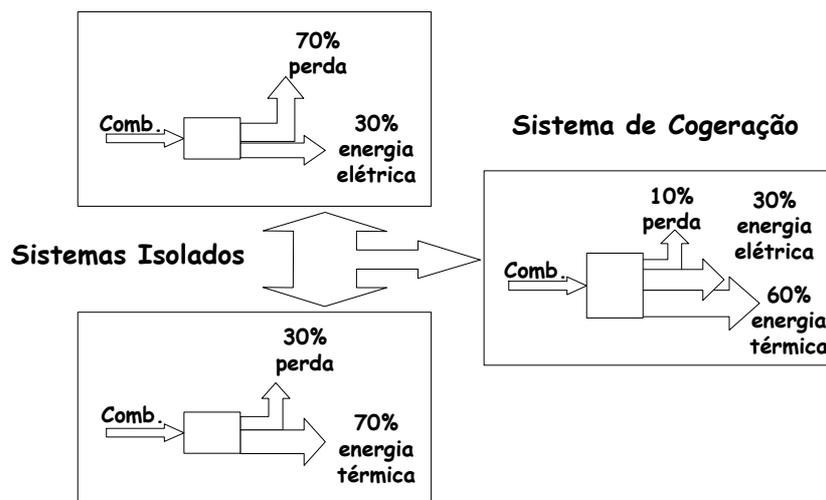
- Maior complexidade no planejamento e na operação do sistema elétrico, inclusive na garantia do "back-up";
- Maior complexidade nos procedimentos e na realização de manutenções, inclusive nas medidas de segurança a serem tomadas;
- Maior complexidade administrativa, contratual e comercial;
- Maiores 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.



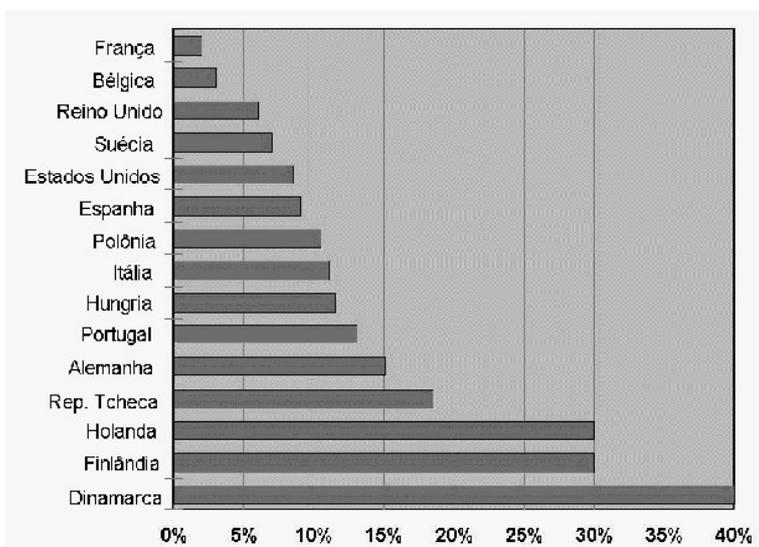
## Cogeração – Setores com Vocação

- 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

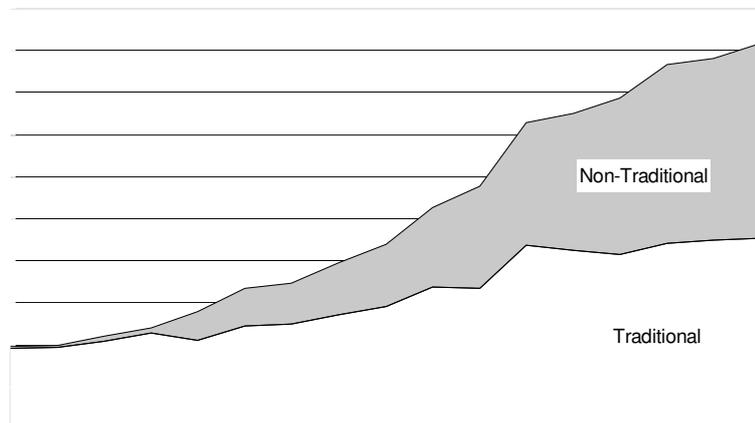


Cogeração

Jurandir Itizo 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

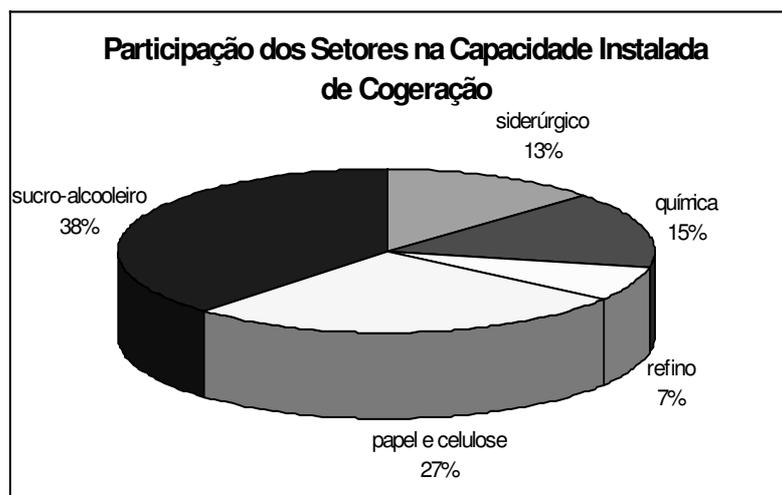
- O seu objetivo principal é gerar eletricidade para venda à concessionária. O vapor é produto secundário, que viabiliza a autoprodução de eletricidade.
- Características principais
  - Capacidade média: mais de 100 MW
  - 76% da energia é consumida nas turbinas a gás de ciclos combinados.
  - “Power-To-Heat 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

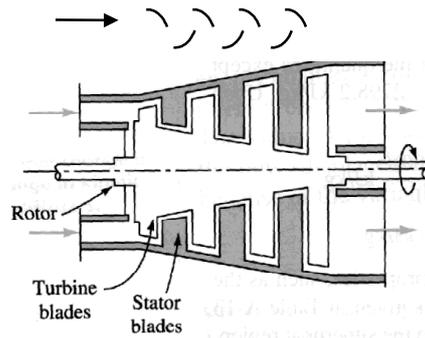
- **SETOR SUCROALCOOLEIRO SÃO PAULO:**
  - Potência instalada: 750 MW, excedente 30 MW
  - CPFL (2000) compra 135.000 MWh (1% do seu consumo)
  - Potencial de excedentes: 700 a 2.000 MW (1.000 a 3.500 MW - Brasil)
- **SETOR DE PAPEL CELULOSE:**
  - Potência instalada: 720 MW (GCPS, Eletrobrás)
  - Potencial: 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

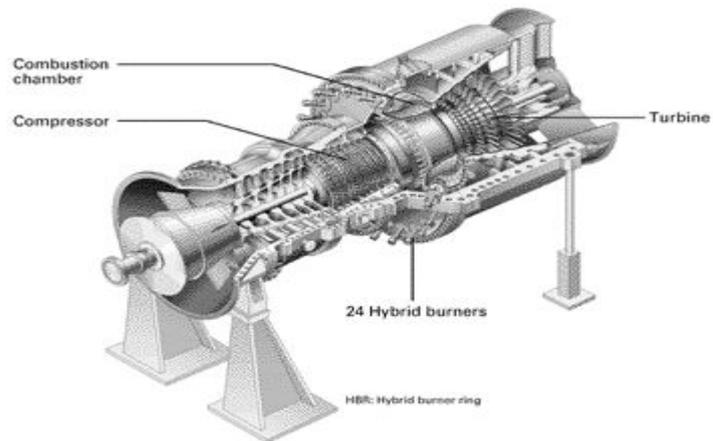


Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



## Turbina a Gás



Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



## Microturbinas e Células de Combustível

Microturbinas



Células Combust.



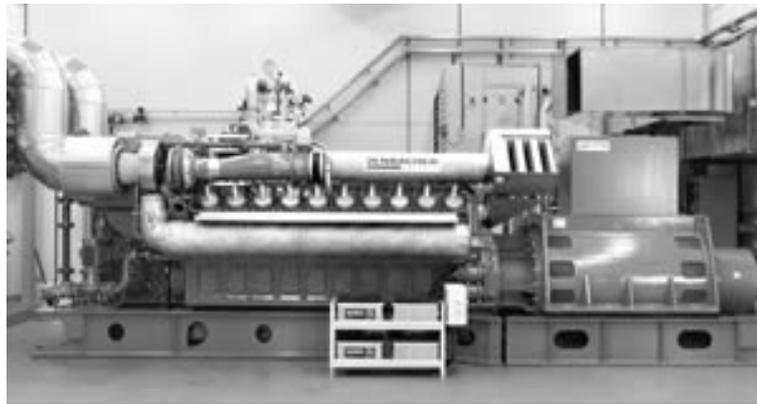
Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



## Motores de Combustão Interna

MCI (Diesel, Otto)

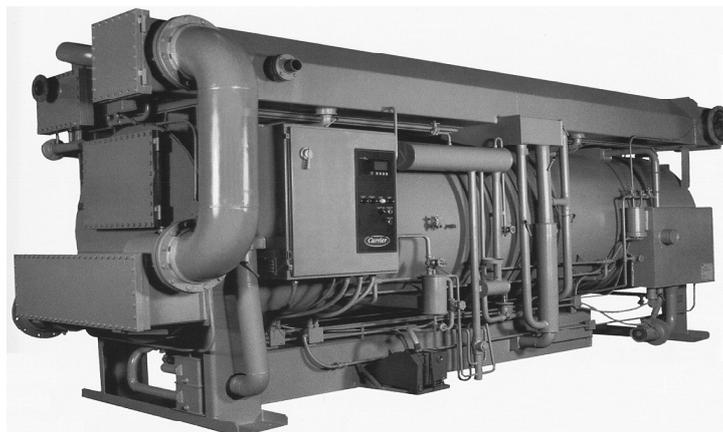


Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



## Chiller de Absorção



Cogeração

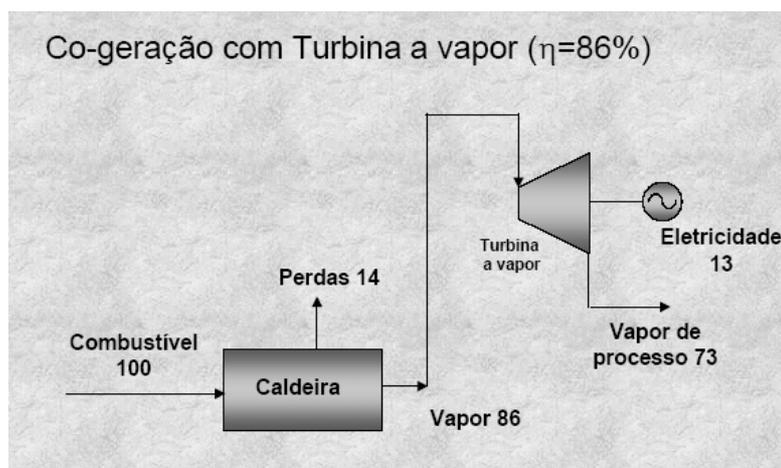
Jurandir Itizo Yanagihara

## Sistemas de Cogeração



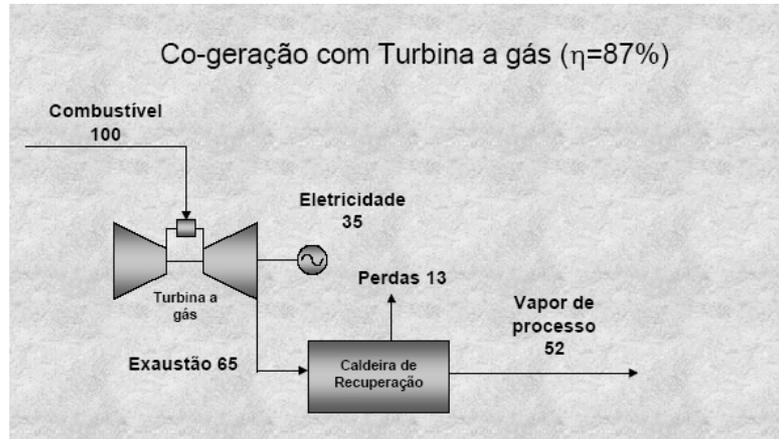
### Cogeração com Tecnologia Convencional

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





## Cogeração com Caldeira de Recuperação

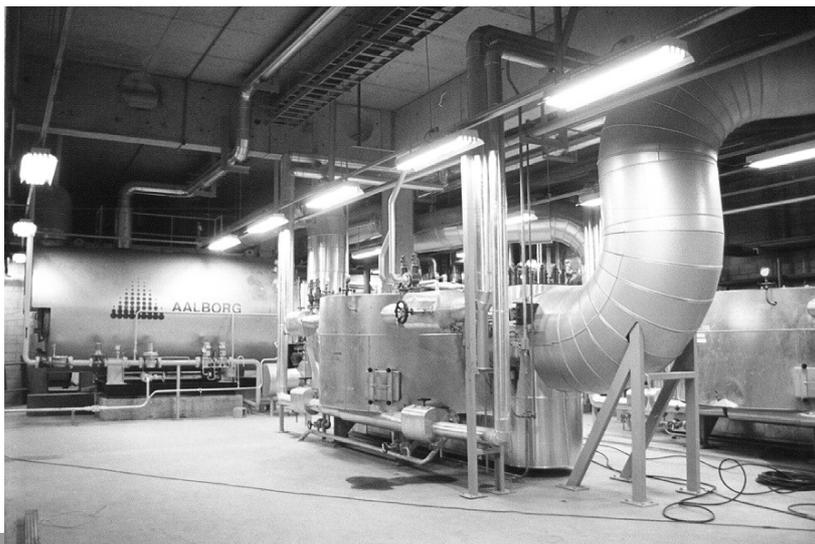


Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara



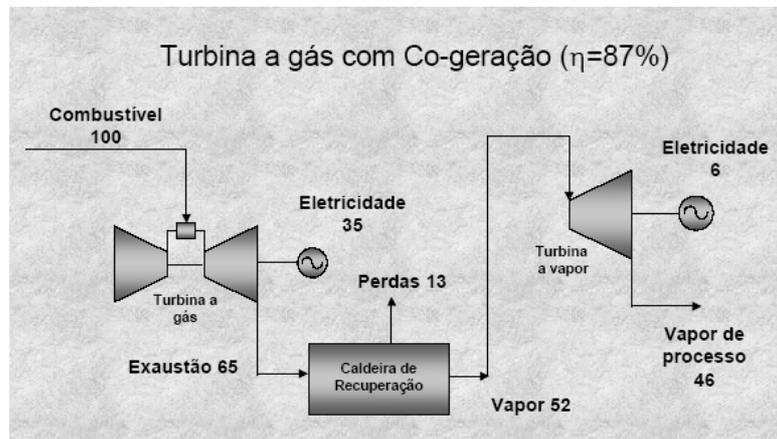
## Caldeira de Recuperação



Cogeração

Jurandir Itizo Yanagihara

## Cogeração com Ciclo Combinado

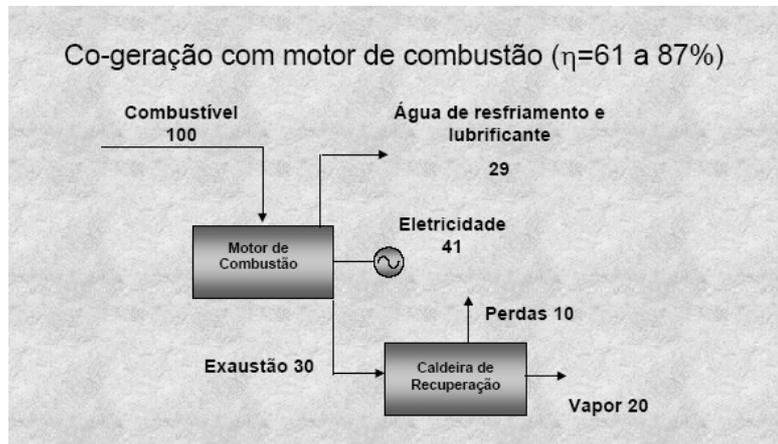


## Cogeração com Turbina a Gás

- 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.