

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA (IEE)
ESPECIALIZAÇÃO LATO SENSU EM GESTÃO AMBIENTAL E
NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO**

MARIA APARECIDA BOTTIGLIERI SAVOIA

**ESTUDO DE CENTRAIS DE COGERAÇÃO EM CICLO COMBINADO
COM AQUECIMENTO URBANO ATRAVÉS DE REDES
(TELEAQUECIMENTO) NA EUROPA, ESTADOS UNIDOS E BRASIL –
IMPLICAÇÕES SÓCIO-AMBIENTAIS E ECONÔMICAS – ANÁLISE
DO CASO BRASILEIRO**

**SÃO PAULO
2012**

MARIA APARECIDA BOTTIGLIERI SAVOIA

ESTUDO DE CENTRAIS DE COGERAÇÃO EM CICLO COMBINADO COM
AQUECIMENTO URBANO ATRAVÉS DE REDES (TELEAQUECIMENTO) NA
EUROPA, ESTADOS UNIDOS E BRASIL – IMPLICAÇÕES SÓCIO-AMBIENTAIS E
ECONÔMICAS – ANÁLISE DO CASO BRASILEIRO

Monografia a ser submetida ao IEE da Universidade de
São Paulo como parte dos requisitos para conclusão do
Curso de Especialização em Gestão Ambiental e
Negócios no Setor Energético

Orientador: Prof. Dr. José Sidnei Colombo Martini (Prof.
titular da Escola Politécnica da USP – Depto. de
Engenharia de Computação e Sistemas Digitais)

SÃO PAULO
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Savoia, Maria Aparecida Bottiglieri

Estudo de centrais de cogeração em ciclo combinado com aquecimento urbano através de redes (teleaquecimento) na Europa, Estados Unidos e Brasil-implicações sócio-ambientais e econômicas-análise do caso brasileiro /Maria Aparecida Bottiglieri Savoia; orientador José Sidnei Colombo Martini. – São Paulo, 2012.

100p. il.; 30cm.

Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) Instituto de Eletrotécnica e Energia Universidade de São Paulo.

1. Cogeração 2. Termelétrica – aspectos ambientais 3. Consumo de energia. 4. Energia térmica – aspectos econômicos. Título.



Universidade de São Paulo
Instituto de Eletrotécnica e Energia

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E NEGÓCIOS NO SETOR
ENERGÉTICO**

ATA DE DEFESA – MONOGRAFIA

CANDIDATO: Maria Aparecida B. Savoia

Aos dezesseis dias do mês de julho de 2012, às 14h00 realizou-se no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo a defesa de monografia do aluno **Maria Aparecida B. Savoia**, nível especialização, intitulado: **"Estudo de centrais de cogeração em ciclo combinado com aquecimento urbano através de redes (teleaquecimento) na Europa, Estados Unidos e Brasil"**, sendo a banca constituída pelos Professores: José Sidnei Colombo Martini – Orientador e Presidente da Comissão Examinadora e o avaliador Dr^a Suani Teixeira Coelho.

Manifestação dos membros da banca:

Assinatura

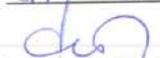
Aprovado/Reprovado

Prof^a. José Sidnei Colombo Martini



Aprovado

Prof^a. Suani Teixeira Coelho



Aprovado

Os candidatos foram considerados (Aprovados / Reprovados)

Aprovado

DEDICATÓRIA

A Giuseppe Olivero, companheiro
de todos os momentos, pelo
incentivo e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Ao professor José Sidnei Colombo Martini, meu orientador, pela disponibilidade oferecida apesar de sua intensa carga de atividades e responsabilidades, a quem admiro muito como profissional e ser humano e me inspira como uma referência a ser seguida.

A todos os colegas, professores e funcionários do Instituto de Eletrotécnica e Energia, que fizeram parte desta jornada de dois anos, e em particular à Renata Grisoli e Júlia van Langendonck Barretto de Carvalho pela dedicação e apoio oferecidos.

EPÍGRAFE

Só voa quem ousa fazê-lo.

Luis Sepúlveda

in Historia de una Gaviota y del Gato que le enseñó a volar

RESUMO

SAVOIA, M. A. B.; Estudo de centrais de cogeração em ciclo combinado com aquecimento urbano através de redes (teleaquecimento) na Europa, Estados Unidos e Brasil – implicações sócio-ambientais e econômicas – análise do caso brasileiro. Monografia de especialização – Curso de Especialização Lato Sensu em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE). 2012. 100 p.

Este trabalho se propõe a fornecer um panorama sobre as centrais de cogeração em ciclo combinado para a produção de energia elétrica e aquecimento urbano através de redes (também denominado teleaquecimento ou aquecimento distrital) existentes na Europa e Estados Unidos. Após a introdução de alguns conceitos básicos, são apresentados seus benefícios sociais, econômicos e ambientais, bem como suas limitações. São também ressaltados aspectos de redução do consumo de combustíveis fósseis e redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂).

Observa-se a inexistência deste tipo de centrais no Brasil e discute-se a aplicação de mecanismos de incentivo econômico (políticas públicas) para sua implantação no país, tendo por base exemplos desenvolvidos em países europeus. Discutem-se também aspectos tecnológicos e operacionais deste tipo de central, os quais poderão nortear a seleção de potenciais cidades brasileiras para a implantação de centrais de cogeração em ciclo combinado com finalidade de produção de energia elétrica e teleaquecimento (aquecimento distrital). Entre os principais aspectos a considerar pode-se citar a demanda de energia térmica e elétrica, em função, por exemplo, das condições climáticas (características próprias regionais e estações do ano).

Palavras-chave: Cogeração. Ciclo Combinado. Aquecimento urbano. Consumo de Energia Primária. Gases de Efeito-Estufa.

ABSTRACT

SAVOIA, M. A. B.; Study of Combined Heat and Power (CHP) plants in Combined Cycle and District Heating, in Europe, United States of America and Brazil – Social and environmental aspects – analysis of the Brazilian case. Specialization monography – Environmental Management and Energy Sector Business of the Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE). 2012. 100 p.

This study aims to provide an overview of the Cogeneration (CHP) plants in combined cycle for electrical power generation and district heating, in Europe and United States of America. After introducing some basic concepts, the social, economical and environmental advantages are presented, and also its restrictions. The role of District Heating (DH) to contribute to the reduction of climate-altering emissions and to the primary energy saving is emphasized.

The absence of this kind of Cogeneration (CHP) plants in Brazil is observed and the inducement of economic mechanisms (public policies) for its development in the country is discussed, taking into account some examples in Europe. Also technological and operational aspects of this kind of power plants are presented. These aspects can be used as a criterion for select the potential Brazilian cities to implement this kind of cogeneration (CHP) plants. The main factors to be considered are the electrical and thermal power demand, which depends, for example, on climatic conditions (regional characteristics and season).

Keywords: Cogeneration. Combined Cycle. District Heating. Primary energy. Climate - altering emissions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração Termelétrica em Ciclo Rankine.....	17
Figura 2 - Geração Termelétrica em Ciclo Brayton.....	18
Figura 3 - Geração Termelétrica em Ciclo Combinado.....	19
Figura 4 - Usina Termelétrica em Ciclo Combinado e Cogeração para Aquecimento Distrital.....	21
Figura 5 - Vantagens da cogeração em relação à produção separada.....	23
Figura 6 - Esquema de Funcionamento – Aquecimento Distrital.....	26
Figura 7 - Estudo de caso “Planta de Aquecimento Distrital a cogeração realizada na cidade de Cesena”.....	30
Figura 8 - Potencialidade de desenvolvimento de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) na Itália.....	35
Figura 9 - Dinamarca: Participação da cogeração (CHP) no Aquecimento Distrital e Eletricidade.....	40
Figura 10 - Aquecimento Distrital e Energias Renováveis - Composição de Combustíveis para a produção de aquecimento distrital.....	40
Figura 11 - Combustível usado para produzir calor na Rússia, em Petajoules, 1990 -2007..	45
Figura 12 - Consumo de energia por setor industrial na Rússia em 2007.....	45
Figura 13 - Helsingin Energia – Emissões específicas de Dióxido de Carbono (g CO ₂ /kWh produzido).....	53
Figura 14 - Helsingin Energia – Emissões de Dióxido de Enxofre tSO ₂ /a.....	54
Figura 15 - Helsingin Energia – Emissões de Óxidos de Nitrogênio tNO ₂ /a.....	54
Figura 16 - Helsingin Energia – Emissões de Particulados, poeiras t/a.....	55
Figura 17 – Consumo de energia específica dos edifícios com aquecimento distrital em Helsinki	58
Figura 18 - Participação da cogeração (CHP) na produção nacional de energia.....	69
Figura 19 - Potencial de cogeração (CHP) das maiores economias sob um cenário acelerado para cogeração (CHP), 2015 e 2030.....	70
Figura 20 - Modelo energético-ambiental geral de um sistema de aquecimento urbano e do sistema convencional substituído. Fluxos energéticos e fontes de emissões.....	77
Figura 21 - Produção de Água Quente para Aquecimento Distrital.....	84
Figura 22 - Distribuição de Água Quente para os Consumidores.....	84
Figura 23 - Tubulações de uma rede de Aquecimento Distrital.....	87

Figura 23a - Instalação de tubulações de uma grande rede de Aquecimento Distrital com visão da central termelétrica ao fundo (Lombardia – Itália).....	87
Figura 23b - Seção de um tubo para o Aquecimento Distrital.....	87
Figura 24 - Esquema Exemplificativo - Fases do estudo de viabilidade.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Cálculo de horas de aquecimento no período de inverno (Norte da Itália e Centro e Norte da Europa).....	20
Tabela 2.1 - Dados básicos da rede de Aquecimento Distrital da cidade de Torino.....	36
Tabela 2.2 - Distribuição territorial das instalações de Aquecimento Distrital na Itália.....	36
Tabela 2.3 - Mix de fontes de energia primária utilizadas nos sistemas de Aquecimento Distrital na Itália	37
Tabela 2.4 - Sistema de abastecimento de calor em Moscou.....	48
Tabela 2.5 - Temperaturas mínimas no Brasil.....	63
Tabela 2.6 - Composição do fornecimento de energia para aquecimento distrital gerada durante 2003 em PJ térmico.....	68
Tabela 3.1 - Exemplo perda de energia elétrica por unidade de energia térmica cogera da (β)	79

LISTA DE SIGLAS

AES	Azienda Energia e Servizi Torino S.p.A
AESS	Agenzia per l'Energia e lo Sviluppo Sostenibile di Modena
AIRU	Associazione Italiana Riscaldamento Urbano
ARPA	Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente
CEE	Central and Eastern Europe, including CIS
CHP	Combined Heat and Power (Cogeneration)
CIS	Commonwealth of Independent States
COGEN	Associação da Indústria de Cogeração de Energia
DEA	Danish Energy Agency
DH	District Heating
DHC	District Heating and Cooling
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
ENEA	Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
HRSG	Heat Recovery Steam Generator
IDEA	International District Energy Association
IEA	International Energy Agency
OPET	Network (Organizations for the Promotion of Energy Technologies)
PEHD	Polietileno de alta densidade
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RENAEL	Rete Nazionale delle Agenzie Locali per L'Energia
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

LISTA DE SÍMBOLOS

GW	Gigawatt (10^9 W)
kWhe	Quilowatt-hora eléctrico (Energía Eléctrica)
kWht	Quilowatt-hora térmico (Energía Térmica)
PJ	Petajoule (10^{15} J)
t/a	tonelada por año
tep	tonelada equivalente de petróleo
TJ	Terajoule (10^{12} J)
TWh	Terawatt-hora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) e suas vantagens.....	24
1.1.1. Definição de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento).....	24
1.1.2. As vantagens e desvantagens da cogeração e Aquecimento Distrital.....	28
2. PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DISTRITAL NO MUNDO.....	34
2.1. O Aquecimento Distrital na Itália.....	35
2.2. Sistema de Aquecimento Distrital na Dinamarca – Copenhague.....	38
2.3. Sistema de Aquecimento Distrital e cogeração (CHP) na Rússia.....	42
2.4. Sistema de Cogeração (CHP) / Aquecimento Distrital (DH) na Finlândia – Helsinki.	49
2.5. Sistema de Aquecimento Distrital nos Estados Unidos.....	59
2.6. Análise do caso brasileiro.....	61
2.7. Cenário Mundial.....	68
3. PROPOSTA DE INCENTIVO ECONÔMICO E MECANISMOS DE INCENTIVO.....	71
3.1. Política de incentivo ao Aquecimento Distrital e suporte financeiro às redes de Aquecimento Distrital.....	72
3.2. Avaliação da economia de energia fóssil e emissões de CO ₂ evitadas.....	74
3.3. Consumo de energia primária e emissões de um sistema de Aquecimento Distrital ...	75
3.4. Sistemas de cogeração “dedicados” e “não dedicados” alimentados a combustíveis fósseis.....	78
4. PROJETO E EXECUÇÃO DE UMA REDE DE AQUECIMENTO DISTRITAL	80
4.1. Projeto de uma rede de Aquecimento Distrital	80
4.2. Identificação da área.....	80
4.3. Análise dos consumidores e estimativa da demanda térmica para Aquecimento Distrital.....	81
4.4. Dimensionamento do Sistema de Cogeração.....	82
4.5. Localização das Centrais.....	85
4.6. Traçado e dimensionamento da rede.....	85
4.7. Seleção do tipo de planta de geração de energia.....	87
4.8. Simulação do funcionamento.....	88
4.9. Balanço energético e ambiental.....	89

4.10. Análise financeira e econômica.....	89
5. CONCLUSÃO.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

1. INTRODUÇÃO

No passado e ainda hoje, nos países frios do hemisfério norte, cada casa, condomínio e edifício público dispunha de uma instalação de aquecimento autônomo, alimentada a lenha ou a carvão. Mais tarde, foram introduzidas também as caldeiras a óleo diesel e a gás natural.

Na realidade, era como se existisse uma infinidade de pequenas centrais térmicas que descarregavam na atmosfera gases quentes, produtos da combustão, e que não eram submetidas ao controle da fiscalização para verificar a emissão de poluentes e também a eficiência da combustão.

Nos Estados Unidos, desde o final do século XIX, pensou-se em substituir as pequenas centrais térmicas, distribuídas em modo capilar nas habitações, por centrais abrangendo quarteirões, mais eficientes em termos de rendimento, mas do mesmo modo poluentes, como as centrais que estavam sendo substituídas.

Somente a partir de 1970 nasceu a sensibilidade para a tutela do meio-ambiente. Inicialmente se difundiu com dificuldade, e mais tarde, com a contribuição dos meios de comunicação, das organizações ambientalistas, das conferências internacionais, impôs-se a necessidade de construir plantas de produção de energia dando uma atenção especial ao aumento de eficiência e à redução da emissão de substâncias poluentes na atmosfera.

As plantas térmicas foram inicialmente concebidas para produzir uma única forma de energia: elétrica ou térmica.

Para produzir energia elétrica eram utilizadas caldeiras para a produção de vapor. Este vapor alimenta uma turbina a vapor, que por sua vez transforma a energia térmica em energia mecânica. A energia mecânica move o eixo de um gerador elétrico, transformando energia mecânica em elétrica (Figura 1 - Ciclo Rankine).

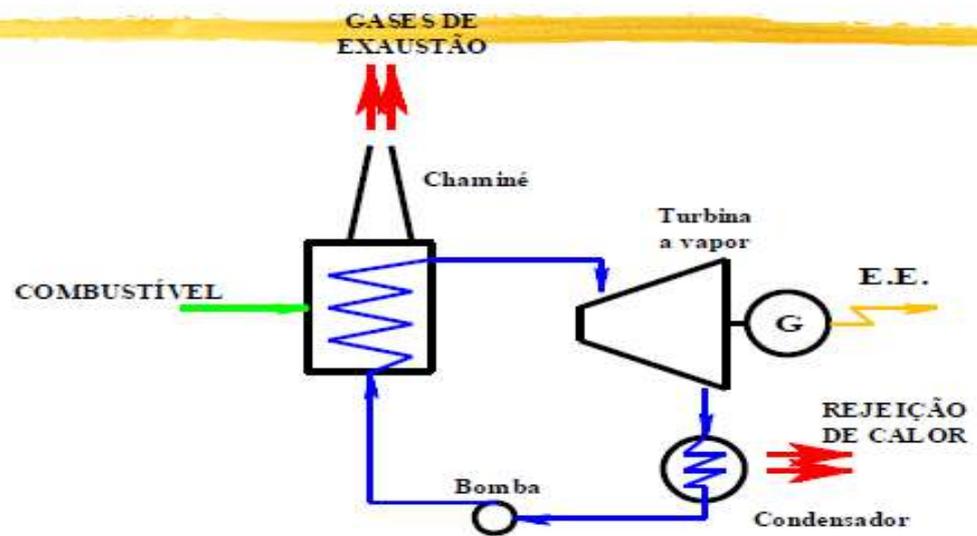


Figura 1 - Geração Termelétrica em Ciclo Rankine

Fonte: (GARRIDO, S.G; CHICO, D.F. 2008)

A energia térmica era produzida com caldeiras e a água quente gerada podia ser distribuída em redes muito limitadas.

Estas duas formas de produção de energia elétrica e térmica eram denominadas de “convencionais”.

O emprego das turbinas a gás para produzir energia elétrica abriu novos horizontes no campo da produção de energia elétrica, permitindo a construção de plantas com potências cada vez maiores, maior flexibilidade em termos de tempo de entrada em operação, regulação da potência instantânea e menor emissão de poluentes em comparação às caldeiras tradicionais (Figura 2 - Ciclo Brayton).

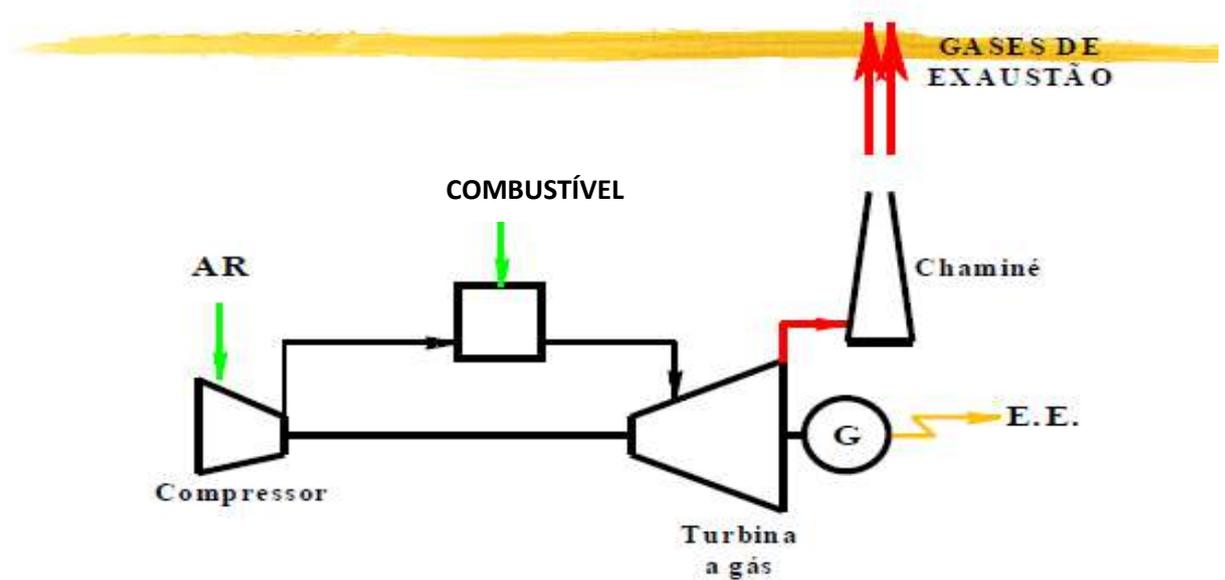


Figura 2 - Geração Termelétrica em Ciclo Brayton

Fonte: (GARRIDO, S.G; CHICO, D.F. 2008)

Durante o seu funcionamento, as turbinas a gás produzem uma grande quantidade de gás de descarga a temperaturas compreendidas entre 440 e 590°C (função do tipo e potência da turbina a gás). Se considerarmos que uma turbina a gás da faixa de 250 MW pode liberar no ambiente cerca de 2.484.000 kg/h de gás de exaustão a uma temperatura de 572 °C¹ temos uma indicação de quanta energia térmica seria desperdiçada se não fosse recuperada.

Esta grande quantidade de energia térmica pode ser recuperada fazendo passar o gás de descarga da turbina em caldeiras de recuperação de calor (em inglês HRSG - Heat Recovery Steam Generator).

Estes sistemas, que combinam a turbina a gás com o ciclo a vapor se denominam Ciclo Combinado, isto é, o gás de descarga da turbina fornece calor a uma caldeira de recuperação de calor, na qual se produz vapor a alta pressão, utilizado para acionar uma turbina a vapor e produzir energia elétrica adicional.

¹ Dados de referência extraídos do Catálogo de Turbinas a Gás de Ansaldo Energia – Turbina a gás modelo V94.3A, com potência nominal de 285MW (condição ISO = 15°C, 1,013bar e 60% umidade relativa) e vazão de gás de exaustão 690 kg/s.

Ambas as turbinas são associadas a geradores elétricos e desta forma são atingidos rendimentos mais elevados. (Figura 3 – Ciclo Combinado)

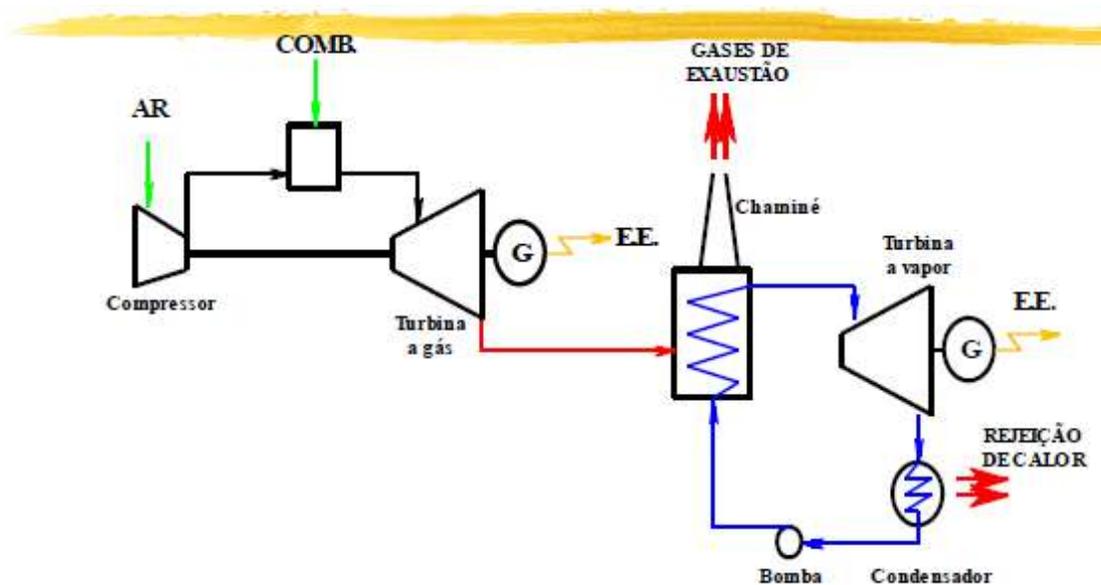


Figura 3 - Geração Termelétrica em Ciclo Combinado

Fonte: (GARRIDO, S.G; CHICO, D.F. 2008)

O vapor na saída da turbina possui parâmetros físicos (temperatura, pressão, entalpia), que permitem recuperar o calor residual e produzir água quente a 120°C, que pode ser introduzida em uma rede de distribuição de energia térmica usada para aplicações industriais (ciclo contínuo) ou em sistemas de aquecimento residencial (sazonal).

Neste trabalho serão ilustrados os benefícios energéticos e ambientais dos sistemas que recuperam o calor para melhorar a eficiência das plantas termelétricas e integram a produção de energia elétrica com a produção de energia térmica (cogeração) para a finalidade de aquecimento urbano através de redes (Aquecimento Distrital ou Teleaquecimento).

A cogeração, também denominada CHP (Combined Heat and Power), consiste na produção simultânea de energia elétrica (eletricidade) e energia térmica (calor) através da utilização do mesmo combustível em uma determinada instalação, caracterizando-se assim pela recuperação de forma útil da energia térmica que, na produção tradicional somente de energia elétrica, seria cedida ao ambiente.

A cogeração pode aplicar-se à indústria e aos edifícios onde há necessidades de energia elétrica e energia térmica e, usualmente, em situações em que o número de horas

anuais de operação seja superior a 4.500 horas. Este número de horas de operação pode ser exemplificado através dos dados da Tabela 1.1.

CÁLCULO DE HORAS DE AQUECIMENTO NO PERÍODO DE INVERNO

Ref. Lei Italiana 10/91 – 10/01/1991, N.10 – regime tarifário de energia elétrica que hoje valoriza muito mais que no passado a produção de energia elétrica no período do verão ou de calor (abril a setembro).

Tabela 1.1 - Cálculo de horas de aquecimento no período de inverno (Norte da Itália e Centro e Norte da Europa)

NORTE DA ITÁLIA		
Horas de aquecimento diárias		16
<i>MÊS</i>	<i>DIAS</i>	<i>HORAS</i>
Outubro	17	272
Novembro	30	480
Dezembro	31	496
Janeiro	31	496
Fevereiro	28	448
Março	31	496
Abril	15	240
Horas de aquecimento total		2928
CENTRO E NORTE DA EUROPA		
Horas de aquecimento diárias		24
<i>MÊS</i>	<i>DIAS</i>	<i>HORAS</i>
Outubro	31	744
Novembro	30	720
Dezembro	31	744
Janeiro	31	744
Fevereiro	28	672
Março	31	744
Abril	30	720
Horas de aquecimento total		5088
Valor médio horas de aquecimento		4008

A cogeração é mais frequente na indústria, contudo, no Setor Terciário, se bem que o seu uso possa ser razoavelmente intensivo (um grande número de horas por ano), não se verifica uma relação muito estreita entre o consumo de energia térmica e o tipo de atividade, sendo este consumo mais dependente das condições climáticas. As principais necessidades de energia térmica são para aquecimento, ventilação e ar condicionado e em menor extensão como vapor e água quente para várias utilizações, tais como lavanderias, cozinhas, esterilização, etc.

Para o Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) com tecnologia de central de cogeração em ciclo combinado se utiliza o calor extraído da turbina a vapor, reduzindo o rendimento elétrico. Este tipo de planta, além de apresentar um alto rendimento global, consente também uma grande flexibilidade operativa, que permite balancear a produção térmica ou elétrica com base nas exigências da demanda. Os ciclos combinados representam hoje a tecnologia termelétrica a cogeração mais avançada à disposição para utilização em Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) (Figura 4).

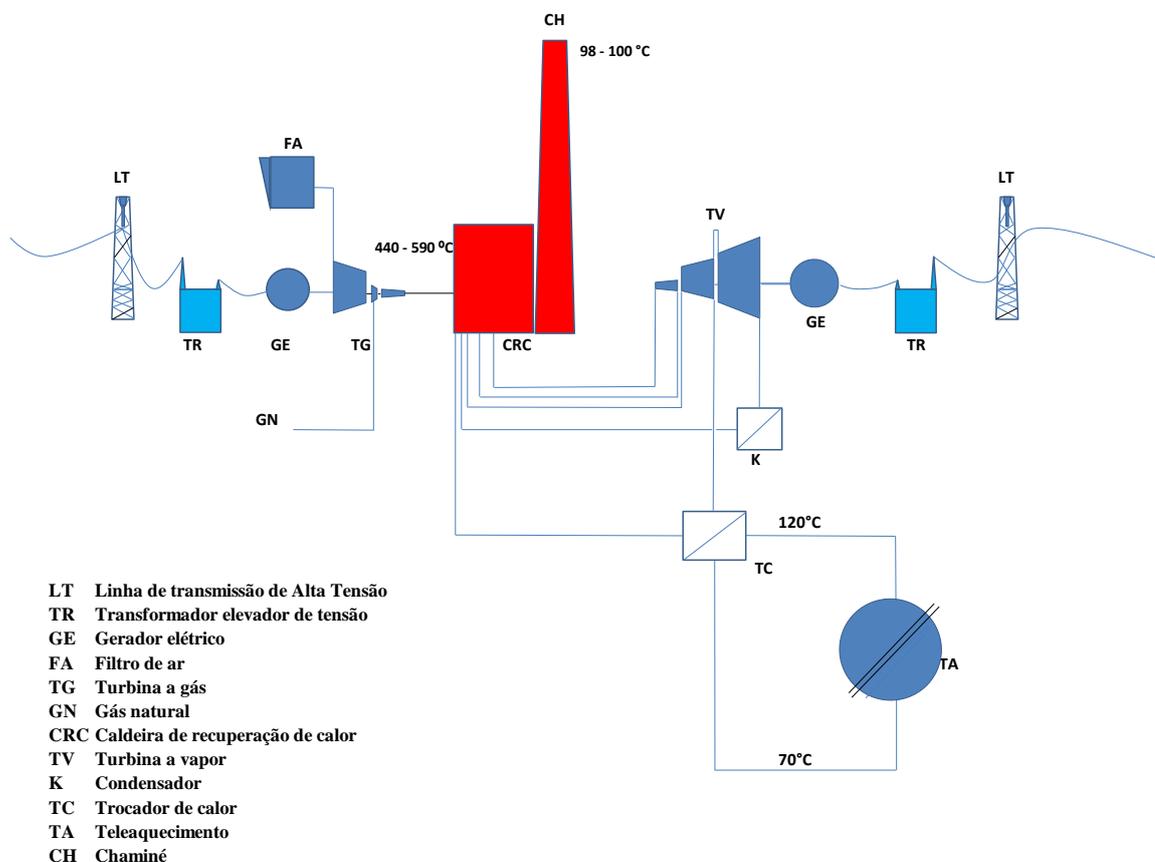


Figura 4 - Usina Termelétrica em Ciclo Combinado e Cogeração para Aquecimento Distrital (Teleaquecimento)

Conforme ilustrado na Figura 5, os sistemas de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) que utilizam centrais a cogeração permitem atingir uma maior eficiência energética global. Com esta tecnologia, de fato, a central é capaz de produzir energia elétrica e recuperar simultaneamente a energia térmica liberada durante o processo termodinâmico, que nas centrais elétricas convencionais seria desperdiçado na atmosfera. Portanto, à paridade de energia útil produzida, a produção combinada de energia elétrica e térmica (cogeração) permite um menor consumo de combustível, maximizando a exploração dos recursos.

A Figura 5 indica que para se obter a mesma quantidade de energia útil final (35 unidades de energia elétrica e 50 de calor) é necessária uma quantidade de energia primária igual a aproximadamente 150 unidades no caso de produção separada (com rendimento elétrico médio da central termelétrica igual a 38% e rendimento médio de geração de calor com uma caldeira igual a 90%). Por outro lado, é suficiente uma quantidade de energia primária igual a 100 no caso da cogeração (rendimento total 85%, do qual 35% como rendimento elétrico e 50% como rendimento térmico).

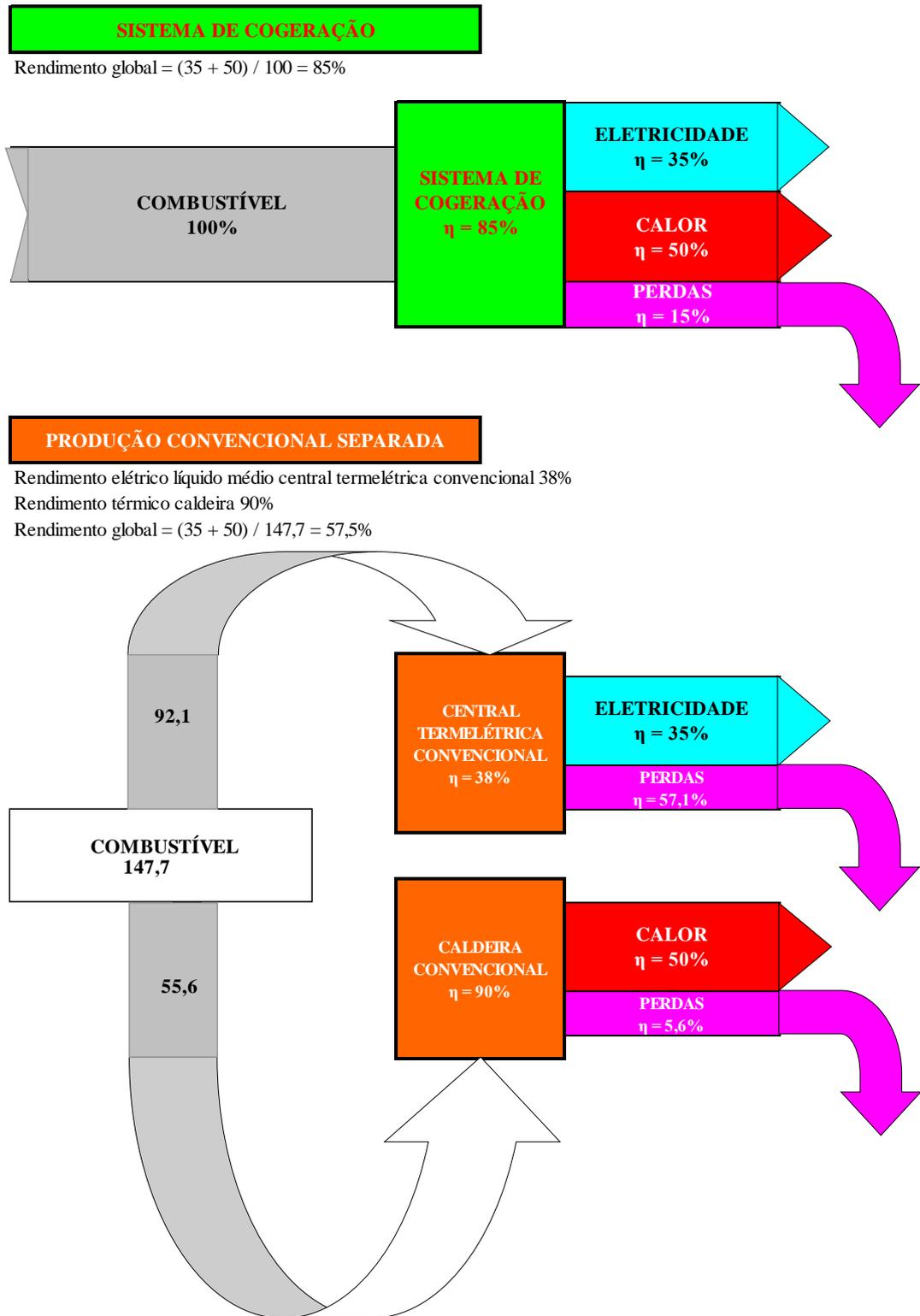


Figura 5 - Vantagens da cogeração em relação à produção separada

Fonte: (AESS - Agenzia per l'Energia e lo Sviluppo Sostenibile di Modena, 2009)

Um possível desenvolvimento adicional do sistema de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) se constitui no serviço de refrigeração para o verão. Um sistema deste tipo, que produz simultaneamente energia elétrica e calor no inverno, e energia elétrica e frio no verão, denomina-se “trigeração”. A energia térmica proveniente de uma instalação de cogeração pode, neste caso, também ser utilizada para produzir frio, através de um ciclo de absorção.

A trigeração pode ter aplicação no setor terciário dos países do hemisfério sul, onde as necessidades de aquecimento são limitadas a alguns meses de inverno. Há, contudo, necessidades de arrefecimento (ar condicionado) significativas durante os meses de verão.

As redes de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) e teleresfriamento se denominam na literatura em inglês por “District Heating and Cooling” (DHC).

Este trabalho se restringirá aos sistemas de cogeração para Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) e não irá abordar a trigeração de forma detalhada.

1.1. Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) e suas vantagens

1.1.1. Definição de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento)

O Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) pode ser definido como um sistema de aquecimento a distância para atender um bairro ou cidade, que utiliza o calor produzido de uma central térmica, de uma planta de cogeração ou de uma fonte geotérmica. Em um sistema de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) o calor é distribuído aos edifícios através de tubulações que transportam água quente ou vapor.

O Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) é uma solução alternativa para a produção de água higiênico-sanitária e para o aquecimento ambiente dos edifícios residenciais, industriais e comerciais, que além de respeitar o meio-ambiente, é também segura e econômica.

O termo “teleaquecimento” evidencia uma característica específica de serviço, ou seja, a distância existente entre o ponto de produção e o ponto de utilização do calor: o coração do sistema é composto de uma ou mais centrais que podem servir edifícios situados também a alguns quilômetros de distância interligados através de uma rede (sistema a rede).

Como evidenciado na Figura 6 os componentes principais de um sistema de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) são: uma central termelétrica com cogeração, onde é produzida energia elétrica e térmica, uma rede de transporte e distribuição, constituída de

tubulação subterrânea e um conjunto de subcentrais. Estas subcentrais, situadas em cada edifício a ser servido, são constituídas de trocadores de calor, que permitem realizar a troca térmica entre a água da rede de Aquecimento Distrital (circuito primário) e a água do circuito do cliente (circuito secundário).

A central térmica aquece a água, que é distribuída aos diversos edifícios através da rede de distribuição. No trocador de calor, a água da rede transfere à água da instalação de distribuição interna do edifício, o calor necessário para aquecer os ambientes e para a produção de água quente sanitária. Ao final deste processo, a água, já resfriada, retorna à central para ser novamente aquecida.

A instalação de distribuição interna aos edifícios ligados à rede permanece inalterada e o trocador de calor substitui a caldeira convencional. No caso em que sejam ligados mais consumidores ao trocador de calor, em cada um deles é instalado um equipamento que permite fazer a gestão autónoma das temperaturas dos locais, bem como medir e registrar os consumos relativos.

Todas as plantas modernas de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) preveem sistemas de contabilização para cada habitação, combinados com sistemas de controle dos tempos de funcionamento e temperaturas.

No caso em que a subcentral de consumo seja do tipo plurifamiliar, internamente a cada unidade habitacional individual se instalam sistemas de contabilização de energia térmica, combinados com sistemas de controle e gestão dos tempos de funcionamento e das temperaturas de aquecimento. Nesta modalidade, a instalação é totalmente análoga a uma instalação autónoma, garantindo a gestão direta dos períodos de funcionamento, das temperaturas ambientes e principalmente as contabilizações individuais dos consumos.

Os sistemas de contabilização podem ser por medida direta (medida de vazão e diferença de temperatura através de medidores de calor), se a distribuição do sistema de aquecimento é feita por apartamento, ou indireta (medida da temperatura dos radiadores) se a medição se faz na coluna de distribuição.

A confiabilidade do serviço é elevada, e é possível aplicar o sistema a inteiras áreas urbanas, tornando-se um verdadeiro serviço público, como o de distribuição de água ou de energia elétrica.

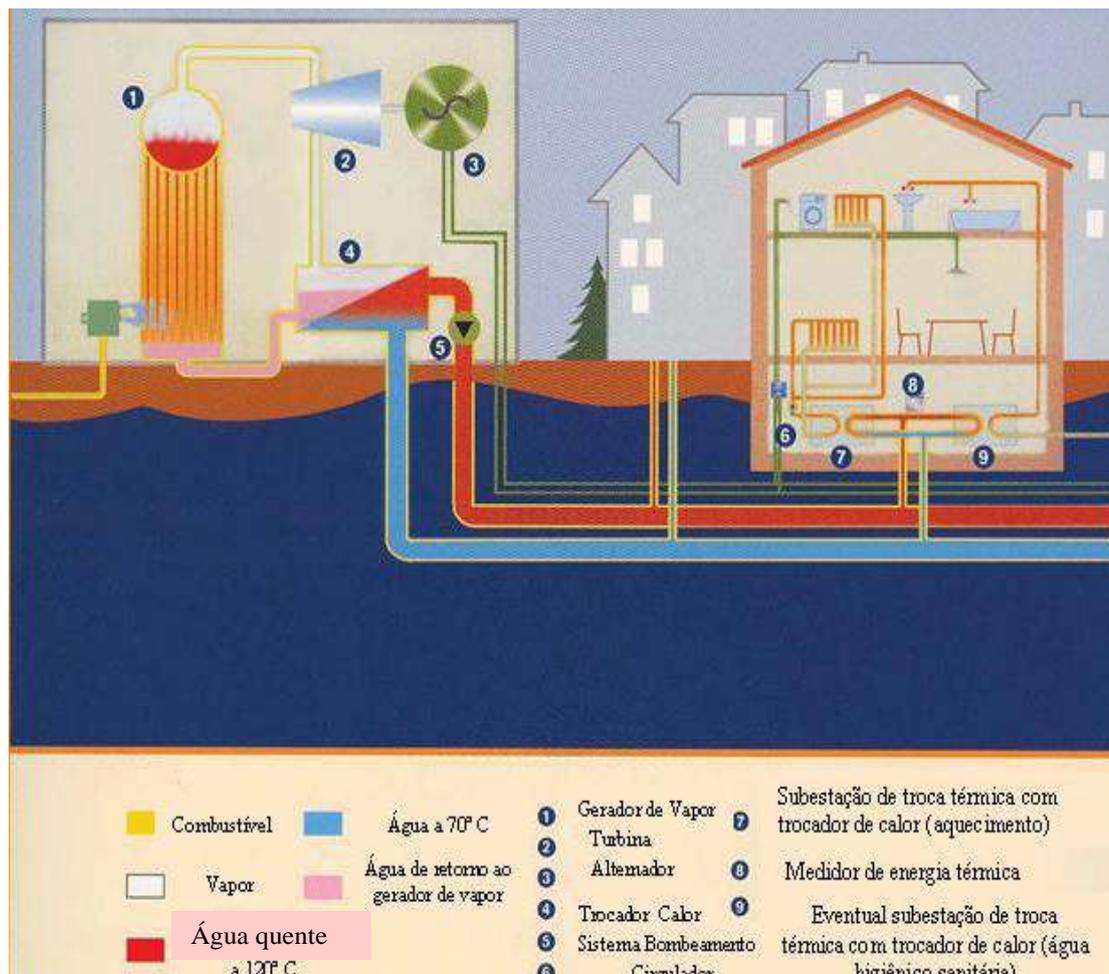


Figura 6 - Esquema de Funcionamento – Aquecimento Distrital

Fonte: (IRIDE ENERGIA S.p.A., 2006)

Para que o Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) seja eficaz, é, entretanto necessário individualizar consumidores concentrados em uma área bem definida, como um bairro, uma área comercial ou industrial, um conjunto de usuários públicos próximos entre si (predominantemente escolas ou estabelecimentos esportivos), ou uma combinação destes. A definição em inglês de Teleaquecimento (“district heating”) lembra exatamente esta característica de Aquecimento Distrital. Portanto, não é aconselhável uma rede de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) que interligue consumidores isolados e esparsos, distantes um do outro.

Portanto, por sistema de aquecimento urbano através de redes ou Aquecimento Distrital ou ainda Teleaquecimento (este último, um termo impróprio, mas de uso corrente também nas normas técnicas e nas leis europeias) deve ser entendido o que na literatura em inglês se denomina de “District Heating” e que se pode definir como segue: sistema de rede, realizado predominantemente sob solo público, a serviço de um setor urbano existente ou

programado, destinado ao fornecimento de energia térmica (na dupla aplicação de “calor” e “frio”) produzida em uma ou mais centrais termelétricas para um conjunto de edifícios pertencentes a diversos proprietários, com a finalidade de climatização de ambientes e produção de água quente para uso higiênico- sanitário. O contrato de fornecimento deve ser baseado no princípio de não discriminação, isto é, no limite da capacidade do sistema, deve estar disponível para todos os clientes que requeiram acesso ao mesmo. Em resumo, é a natureza da rede de distribuição de calor, e não tanto aquela da fonte de produção de calor, que constitui o elemento de definição de um sistema como aquecimento urbano ou simplesmente produção centralizada de calor. Para melhor ilustrar a diferença, não se incluem como rede de aquecimento urbano as seguintes aplicações, embora também transportem calor a distância:

- Uma rede interna a um estabelecimento industrial, ainda que destinada ao transporte de calor parcialmente ou totalmente para climatização dos seus próprios edifícios;
- Uma rede interna a um complexo residencial (condomínios privados);
- Uma rede interna a um centro de negócios;
- Uma rede para serviço exclusivo de um complexo hospitalar.

O sistema de produção de energia é geralmente constituído pelo conjunto dos geradores que injetam calor na rede. Isto pode compreender uma diversidade de tipos de instalações, normalmente situadas em localidades diferentes, mas todas destinadas a alimentar a carga térmica requerida pela rede, que é função dos consumidores ligados à mesma.

Em resumo, o sistema de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) é um sistema de rede, alimentado de uma ou mais centrais, para o aquecimento à distância de uma cidade inteira ou de um bairro, e este serviço é similar a outros serviços públicos de redes.

É necessário enfatizar que, para que um sistema de distribuição de energia térmica possa ser considerado como “Aquecimento Distrital” ou “Teleaquecimento” na sua verdadeira acepção, é necessário que sejam verificadas determinadas condições, a saber:

- O calor produzido é transportado através das redes de Aquecimento Distrital e cedido (kWh térmico) aos consumidores, contabilizado e faturado.
- As redes de distribuição devem se desenvolver sob terrenos públicos (ruas) e /ou sob vários terrenos privados (não se pode considerar rede se a mesma se desenvolve sob um terreno de um único proprietário) e interligar no mínimo dois consumidores diversos.

- O fornecedor de energia térmica (calor) deve ser distinto do que utiliza esta energia térmica.

NOTA: A partir deste ponto do presente trabalho, onde foi apresentada a definição de “Teleaquecimento”, será utilizado exclusivamente o termo “Aquecimento Distrital” em substituição ao termo “Teleaquecimento”.

1.1.2. As vantagens e desvantagens da cogeração e Aquecimento Distrital

O Aquecimento Distrital constitui o sistema ótimo de fornecimento de calor para obter benefício energético e ambiental nas áreas urbanas, uma vez que permite uma redução do consumo de combustível e redução do impacto ambiental, este último seja pela redução de emissões de poluentes na atmosfera, seja pela menor liberação de calor residual ao ambiente. O calor utilizado pelos consumidores finais é produzido principalmente a partir de sistemas de cogeração centralizados e integrados, complementados por sistemas centralizados tradicionais (caldeiras) nos horários de maior demanda.

Os sistemas de Aquecimento Distrital representam uma importante oportunidade de utilização racional dos recursos energéticos e de controle de poluição local, além de um sistema de contenção da despesa de energia, seja para a coletividade, como para cada consumidor individual.

As vantagens que o Aquecimento Distrital pode oferecer, em relação às formas tradicionais de produção de energia térmica, essencialmente podem se resumir a:

- Economia de energia e benefícios ambientais (benefícios coletivos).
- Vantagens econômicas e simplicidade de uso para os consumidores (benefícios individuais).

Aspectos energéticos e ambientais

O Aquecimento Distrital permite utilizar todas as fontes energéticas disponíveis, integrando-as eficazmente. Na central é possível queimar diversos combustíveis, de acordo com a maior conveniência econômica do momento e disponibilidade no mercado, quando da definição do projeto. Também é possível utilizar o calor recuperado de vários processos industriais, fornos incineradores de resíduos, ou de outras fontes energéticas renováveis, como biomassa (subprodutos agrícolas, descartes da indústria, etc.) ou fonte geotérmica.

Mesmo no caso em que a energia primária seja uma fonte fóssil, o Aquecimento Distrital, utilizando centrais a cogeração, que produzem energia elétrica e calor, permite utilizar uma fração notável da energia primária contida no combustível, bem superior àquela consentida pela produção separada.

O Aquecimento Distrital, portanto, permite reduzir o consumo e utilizar o combustível de forma mais eficiente. Uma única planta, com elevado rendimento, substitui um grande número de caldeiras individuais relativamente pouco eficientes do ponto de vista energético e de alto impacto ambiental.

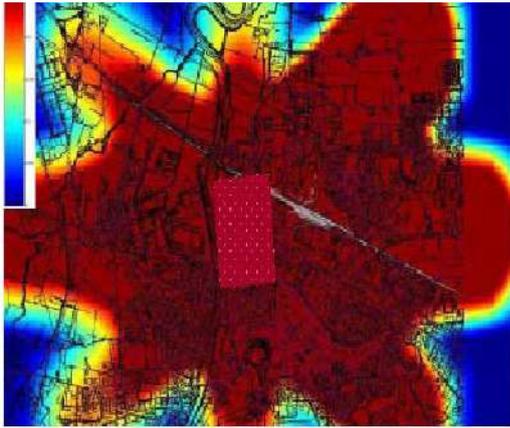
Em uma planta bem projetada, a chaminé da central de Aquecimento Distrital tem um impacto inferior ao produzido pelas chaminés de cada casa individual na cidade.

Para citar apenas um exemplo, no caso das plantas de Aquecimento Distrital, a legislação italiana obriga a utilizar equipamentos de controle e monitoração contínua da composição dos gases da chaminé e impõe análises periódicas semestrais da composição dos gases e do rendimento. Por outro lado, as instalações condominiais centralizadas estão sujeitas à verificação anual, enquanto que aquelas autônomas, somente são controladas a cada dois anos ou até mesmo a cada quatro anos.

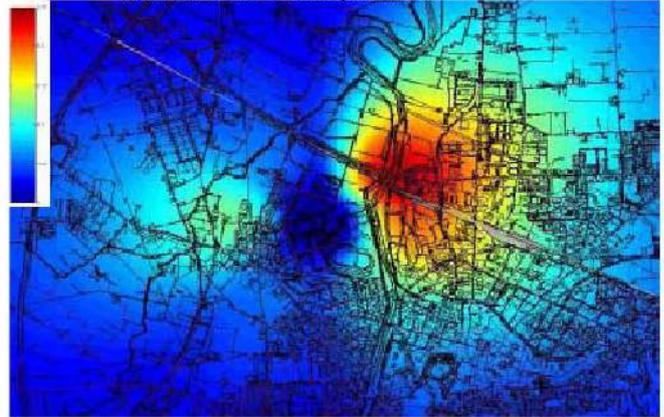
Uma só fonte de emissões é também melhor controlada pelo proprietário e pelas agências reguladoras.

Finalmente, nos sistemas de Aquecimento Distrital alimentados com centrais a cogeração, a produção simultânea de energia elétrica na proximidade dos centros de utilização influi positivamente sobre o sistema de transporte e distribuição, diminuindo a necessidade de construir novas redes de transmissão a alta tensão, que também impactam sobre o meio-ambiente.

Para dar uma idéia mais concreta sobre a vantagem ambiental do Aquecimento Distrital em relação ao aquecimento com instalações autônomas, se mostra na Figura 7 os resultados de um estudo conduzido para a avaliação dos impactos ambientais em uma planta na cidade de Cesena (Itália). As imagens, obtidas com um modelo de simulação, comparam a concentração de emissões na atmosfera, nos dois casos: instalações autônomas de aquecimento e Aquecimento Distrital com central a cogeração. No caso de pequenas caldeiras individuais (figura à esquerda) pode-se verificar como as emissões de poluentes se expandem sobre toda a área habitada e se caracterizam por valores elevados (cor mais escura). A central de cogeração ao contrário, mostra uma emissão concentrada na área da própria central e de valor inferior (cor mais clara), graças à altura da chaminé e aos melhores sistemas de filtragem.



Impacto ambiental com pequenas caldeiras individuais



Impacto ambiental com Aquecimento Distrital

Figura 7 - Estudo de caso “Planta de Aquecimento Distrital a cogeração realizada na cidade de Cesena”

Fonte: OPET SEED (Itália)

A lei ambiental vigente na Itália estabelece que as emissões de PM10 (partículas inaláveis com diâmetro inferior a 10 μm , que constituem um elemento da poluição atmosférica) não podem ser superiores a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por mais de 35 dias ao ano. As emissões são controladas continuamente através de centrais de medição instaladas em todo o território dos municípios onde existam indústrias e grandes concentrações de veículos. O controle está delegado à Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente (ARPA) de cada região, que tem a responsabilidade de informar às autoridades locais e regionais sobre a ultrapassagem do limite máximo admissível pela lei, de modo que possam ser tomadas as medidas cabíveis para reduzir o nível de poluição atmosférica. As emissões de maior impacto ambiental são aquelas produzidas pelos veículos públicos e privados. Quando o limite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 é superado, as autoridades locais emitem decreto de limitação da circulação dos veículos privados e em casos extremos podem emitir um decreto temporário de proibição de circulação.

A situação ambiental de Cesena está entre as melhores da região da Emilia Romagna, sendo que a média dos valores medidos de emissões de PM10 passou de 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2006 com 60 ultrapassagens do limite estabelecido por lei, para 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2010 com 38 ultrapassagens do limite máximo admissível (ARPA, 2012).

No ano de 2003 os sistemas de Aquecimento Distrital em operação na Itália permitiram uma economia em termos de energia primária de 367.000 tep e benefícios

ambientais de 1.185.000 t de CO₂ evitadas (valores calculados em relação aos sistemas convencionais substituídos) (AIRU, 2004).

Benefícios para os consumidores

O serviço de Aquecimento Distrital para o consumidor final é de simples utilização, seguro e econômico.

A simplicidade de uso e a segurança são garantidas pelo fato de que se distribui água quente, portanto não sendo mais necessário instalar as centrais térmicas nas habitações individuais ou condomínios e toda a infraestrutura relacionada ao seu funcionamento, como chaminés, locais especiais, descarga de segurança ou cisternas.

Com isto diminui também o risco de explosões e intoxicação por fumaça, eventos que durante o inverno infelizmente continuam a ocorrer, uma vez que as regulamentações sobre verificação de segurança e eficiência energética das caldeiras nem sempre são observadas e é impossível realizar um controle efetivo em um número muito elevado de instalações.

Desta forma, o Aquecimento Distrital permite também ao consumidor final evitar os custos relativos à manutenção e substituição das instalações. Os equipamentos da subcentral são simples e de baixo custo de manutenção. O consumidor paga somente o calor já pronto para o uso e o paga pelo consumo efetivo, a uma tarifa normalmente inferior àquela do calor produzido através da combustão em uma caldeira individual alimentada a gás natural.

Uma vantagem adicional é permitir que nas novas construções o espaço que era geralmente dedicado ao local da caldeira, bem como de algumas superfícies funcionais no teto dos edifícios em função da eliminação das chaminés, possa ser aproveitado para outras finalidades.

A seguir se apresentam de forma sintetizada as principais vantagens e desvantagens da cogeração.

As principais vantagens de um sistema de cogeração em comparação a um sistema de geração separada de calor e energia elétrica são:

- Menor consumo de energia primária graças à maior eficiência do sistema.
- Menores emissões na atmosfera de gases de efeito estufa e outras substâncias poluentes.
- Reduções das perdas por transmissão (distribuição e transporte de energia) pelo fato de as centrais serem normalmente localizadas nas proximidades dos consumidores finais.

Todavia, é também importante destacar as principais desvantagens que devem ser consideradas na avaliação de uma central de cogeração. O princípio da cogeração, embora válido de modo geral, em alguns casos não pode ser aplicado de maneira energeticamente e economicamente conveniente, se não forem satisfeitas as seguintes condições:

- **Presença e vizinhança dos consumidores:** para que uma central de cogeração seja viável é necessário que os consumidores se localizem na sua vizinhança. Tal necessidade se contrapõe à tendência de instalar as centrais termelétricas para geração de energia distante dos centros urbanos, com o objetivo de limitar a exposição da população às emissões na atmosfera. Portanto, a exigência de aproximar as centrais de cogeração dos centros de consumo para não estender muito as redes de distribuição de calor, requer que as instalações de cogeração sejam dotadas de eficientes sistemas de redução de emissão de poluentes, o que acaba sendo uma vantagem do ponto de vista ambiental.
- **Contemporaneidade de consumo:** outra condição para que uma planta de cogeração seja explorada em toda sua capacidade é que a demanda de energia térmica e elétrica sejam contemporâneas. Uma planta de cogeração é tipicamente em condição de produzir calor e energia elétrica simultaneamente, portanto, é necessário que os consumidores simultaneamente absorvam tal energia. Por esta razão frequentemente as plantas de cogeração são interligadas à rede elétrica nacional cedendo a esta a energia elétrica excedente produzida e a instalação opera de acordo com a demanda térmica dos consumidores. Se uma planta de cogeração resulta insuficiente para atender completamente à demanda térmica dos consumidores (carga de ponta), um sistema térmico auxiliar pode ser introduzido.
- **Compatibilidade das temperaturas:** nem todos os sistemas de cogeração geram calor a mesma temperatura. Pode ocorrer que um sistema de cogeração não seja adequado para atender um consumidor porque este requer calor a um nível de temperatura muito elevado. Portanto, é necessário selecionar corretamente o sistema de cogeração a ser acoplado aos consumidores ou introduzir modificações na central de modo a aumentar a temperatura.
- **Flexibilidade da instalação:** apesar de a demanda de calor e energia térmica dos consumidores serem contemporâneas, algumas vezes a relação entre a demanda de energia nas duas formas pode variar. Pode ocorrer que em certos

momentos a demanda de energia elétrica seja proporcionalmente maior que aquela de energia térmica ou vice-versa. Normalmente é desejável que um sistema de cogeração seja capaz de variar a própria relação de cogeração, entretanto nem todos os sistemas motores nos quais se baseiam uma planta de cogeração oferecem tal possibilidade, portanto, se for requerida uma grande flexibilidade, certas soluções técnicas devem ser abandonadas. Deve-se ressaltar que para poder operar com altos rendimentos, que justifiquem os investimentos de uma central, é necessário manter o quanto possível a relação entre a energia elétrica produzida e a energia térmica utilizada dentro de limites bem definidos.

Depreende-se que a solução da cogeração para resultar tecnicamente e economicamente factível deve ser avaliada atentamente, com uma análise aprofundada dos consumidores (distribuição no tempo das cargas de energia elétrica e térmica) e dos sistemas motores disponíveis (cada consumidor pode ser mais compatível com uma tecnologia do que com outra).

As seções seguintes do presente trabalho apresentam o panorama atual da utilização de sistemas de Aquecimento Distrital no mundo, os cenários relacionados ao potencial econômico para aplicações de cogeração (CHP) (Seção 2), as políticas e mecanismos de incentivo para disseminar o uso desta tecnologia, além de implicações sócio-ambientais e econômicas (Seção 3). São também apresentadas as etapas de um projeto de implantação de uma rede de aquecimento urbano (Seção 4).

Permeia-se o estudo com propostas para a verificação da viabilidade de implantação de redes de Aquecimento Distrital no Brasil utilizando centrais de cogeração em ciclo combinado.

Os dados para o desenvolvimento deste trabalho foram obtidos através de pesquisa bibliográfica e documental, utilizando como principais referências trabalhos publicados pela Agência Internacional de Energia (IEA), bem como por Institutos de Pesquisa Energética dos diversos países analisados. Existiu também a contribuição da experiência profissional pessoal advinda de projetos realizados pela empresa italiana em que trabalhei (Tecnimont S.p.a., ex Fiat Engineering S.p.a.), e a realização de entrevistas com especialistas da área.

2. PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DISTRITAL NO MUNDO

Este capítulo tem por finalidade apresentar um panorama sobre as centrais de cogeração em ciclo combinado para a produção de energia elétrica e térmica e Aquecimento Distrital existentes no mundo, com ênfase e apresentação de detalhes para os países onde o sistema é mais difundido.

A demanda crescente por energia e as longas distâncias de transmissão das plantas de geração de energia até o usuário final afetam a confiabilidade do fornecimento de eletricidade e também exercem pressão sobre o preço da energia elétrica e térmica. Nos países da Europa central e leste europeu (CEE) o mercado de energia foi desregulamentado e liberalizado, direcionando a geração de energia para um modelo descentralizado. Cada vez mais a energia elétrica e térmica está sendo produzida mais próxima aos pontos de consumo. Ao mesmo tempo, o mundo está exigindo o uso mais eficiente dos combustíveis para proteger o ambiente, visando às futuras gerações.

Uma planta de cogeração descentralizada aumenta a confiabilidade do fornecimento de energia nas áreas próximas. A geração de calor local assegura uma resposta rápida às mudanças na capacidade ou temperatura nos processos industriais ou na rede de aquecimento distrital. Este tipo de planta é muito adequado quando todo o calor e energia produzidos podem ser utilizados para finalidade de aquecimento ou necessidades do processo industrial.

Para otimizar o balanço entre a produção de energia térmica e elétrica, cada planta é customizada para suprir as necessidades do cliente final.

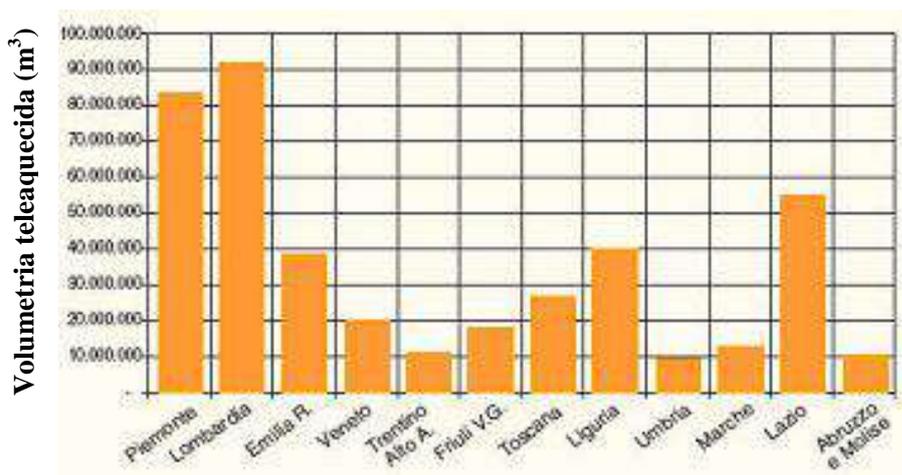
O Aquecimento Distrital é muito difundido no centro e norte da Europa, na América do Norte e no Japão, e representou por muitos anos o sistema mais difundido na China e nos países do Leste Europeu (todo o complexo do Kremlin é teleaquecido). A primeira instalação de aquecimento urbano no mundo foi a de Nova York, remontando a 1876 (hoje a quase totalidade de Manhattan é teleaquecida), enquanto que a primeira instalação europeia foi implantada em 1893 em Hamburgo. Na Itália uma dentre as primeiras cidades a introduzir o serviço de Aquecimento Distrital foi Brescia, em 1971, com um projeto de sucesso internacional.

2.1. O Aquecimento Distrital na Itália

No caso da Itália, em 2003, os centros italianos que se beneficiavam deste serviço eram mais de cinquenta e as duas cidades consideradas como referência do setor eram Brescia, onde cerca de 60% dos edifícios da cidade utilizavam o Aquecimento Distrital, e Reggio Emilia, onde correspondia a cerca de um terço da cidade. Atualmente, outras cidades, como Torino, já ultrapassaram as citadas (AESS, 2009).

Do confronto entre a situação italiana e aquela dos outros países do norte da Europa, resulta que apesar do desenvolvimento significativo dos últimos anos, o Aquecimento Distrital na Itália tem ainda enorme potencial de difusão, mesmo considerando o fato de que nas regiões centrais e meridionais do país, devido às condições climáticas mais amenas, a instalação de centrais de Aquecimento Distrital nem sempre resulta economicamente conveniente.

De um estudo efetuado sobre a potencialidade do Aquecimento Distrital na Itália resulta que, tomando por hipótese a aplicação de Aquecimento Distrital a todos os centros urbanos com mais de 25.000 habitantes, a volumetria potencial para Aquecimento Distrital é da ordem de 450 milhões de m³, como ilustrado na Figura 8.



Volumetria para Teleaquecimento = 450 milhões de m³ (centros urbanos > 25.000 habitantes)

Figura 8 - Potencialidade de desenvolvimento do Aquecimento Distrital (Teleaquecimento) na Itália

Fonte: (AIRU, 2004)

Para dar uma noção quantitativa de uma rede de Aquecimento Distrital existente na Itália se podem verificar os dados da Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Dados básicos da rede de Aquecimento Distrital da cidade de Torino

REDE DE AQUECIMENTO DISTRITAL DE TORINO	
Tubulação (tubo duplo)	350 km
Subestações de troca térmica	2400
Habitantes servidos	340.000
Volume aquecido	36.000.000 m ³

Fonte: (AES Torino, 2007)

Na Itália as redes são concentradas no norte do país e a quase totalidade da volumetria aquecida (cerca de 172 milhões de m³, equivalente a 97% da volumetria total) é localizada em somente cinco regiões: Lombardia, Piemonte, Emilia Romagna, Veneto e Trentino Alto Adige de acordo ao indicado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Distribuição territorial das instalações de Aquecimento Distrital na Itália

REGIÃO		Volume teleaquecido			
		Ano 2005		Ano 2006	
		Mm ³	%	Mm ³	%
1	Lombardia	69,2	44,5	76,3	43,0
2	Piemonte	34,6	22,3	47,6	26,8
3	Emilia Romagna	27,2	17,5	28,3	15,9
4	Veneto	11,6	7,5	12,1	6,8
5	Trentino Alto Adige	7,2	4,6	7,2	4,1
6	Lazio	2,2	1,4	2,3	1,3
7	Liguria	2,1	1,4	2,2	1,2
8	Toscana	0,9	0,6	0,9	0,5
9	Marche	0,5	0,3	0,6	0,3
TOTAL		155,5	100,0	177,5	100,0
TOTAL 1 - 5		149,8		171,5	
TOTAL 1 - 5/TOTAL		96,33		96,62	

Fonte: (AIRU, 2006)

A participação das fontes de energia primária utilizadas no sistema de aquecimento urbano na Itália em 2006 está sintetizada na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Mix de fontes de energia primária utilizadas nos sistemas de Aquecimento Distrital na Itália

FONTES DE ENERGIA UTILIZADAS	Ano 2006		Ano 1995	
	tep	%	tep	%
Gás Natural (1)	600.362	65,49	383.521	69,87
Carvão (1)	110.714	12,08	69.810	12,72
Biomassa	88.520	9,66	-	0,00
Óleo combustível (1)	57.354	6,26	79.726	14,53
Incineração Resíduos Sólidos Urbanos	45.051	4,91	6.708	1,22
Geotermia	9.948	1,09	4.472	0,81
Recuperação de processos industriais	4.747	0,52	4.644	0,85
Total fósseis	768.430	83,83	533.057	97,12
Total renováveis	148.266	16,17	15.824	2,88
Total geral	916.696	100	548.881	100,00

(1) Incluídos os consumos do sistema elétrico nacional para o transporte de calor da usina termelétrica aos consumidores

Fonte: (AIRU, 2006)

Da comparação com os dados relativos a 1995 se depreende que o gás natural constitui ainda a fonte principal, mesmo se nos últimos anos se registrou um crescimento na utilização de outras fontes, em particular a recuperação energética do aproveitamento de calor dos rejeitos sólidos urbanos (RSU), que contribui para atingir o objetivo de redução da dependência do gás natural. Destaca-se a importância alcançada pelas fontes renováveis que passaram de 3% em 1995 (geotermia, recuperação de resíduo industrial e RSU) para 16% em 2006 (a estas primeiras se juntaram a biomassa e como já evidenciado, um aumento significativo da recuperação térmica da incineração de RSU).

A entrada em funcionamento a partir de 2005 da terceira linha do sistema de recuperação de calor de RSU (termo valorizador) de Brescia compreendeu um aumento considerável de utilização de biomassa, que constitui o terceiro combustível empregado nos sistemas de Aquecimento Distrital em exercício na Itália. As outras fontes renováveis (geotermia e recuperação de resíduos industriais) permanecem ainda marginais, representando cerca de 1,6%. O peso de tais fontes é, entretanto menos marginal quando referido a energia líquida introduzida na rede.

Mais recentemente se apresentaram iniciativas voltadas ao desenvolvimento de redes de Aquecimento Distrital alimentadas por bombas de calor de grandes dimensões, utilizando tanto água superficial, como água do primeiro lençol freático, ou ainda, fontes geotérmicas de “baixa entalpia”.

A energia térmica produzida com cogeração constitui 56% da energia total introduzida na rede, a energia de integração produzida através de caldeiras convencionais constitui 26%, enquanto que os restantes 18% são constituídos de “fontes renováveis” (entre estes a bomba de calor). Portanto, 74% da energia térmica introduzida na rede de teleaquecimento italiana é produzida através de tecnologias com baixo impacto ambiental.

Segundo dados da Associazione Italiana Riscaldamento Urbano (AIRU), que realizou uma pesquisa recente junto às empresas de Aquecimento Distrital voltada à identificação das novas iniciativas em fase de realização ou programadas para um futuro próximo, o cenário projetado para 2012 indica um desenvolvimento potencial da ordem de mais 100 milhões de m³ (em 2006 a volumetria teleaquecida era de 177 milhões de m³), com condições de produzir uma economia de fontes fósseis da ordem de 200.000 tep/ano e menores emissões de CO₂ da ordem de 500.000 toneladas/ano.

2.2. Sistema de Aquecimento Distrital na Dinamarca - Copenhagen

O sistema de Aquecimento Distrital de Copenhagen abastece 98% da cidade com aquecimento limpo, confiável e economicamente viável. Este sistema de aquecimento utiliza o calor desperdiçado das plantas regionais de incineração de resíduos e plantas de cogeração (CHP). Portanto, 98% dos 35.000 edifícios de Copenhagen não utilizam caldeiras ou fornos, mas recebem água quente ou vapor para aquecimento ambiental através de Aquecimento Distrital.

Nos últimos anos foi dada maior atenção às questões ambientais, devido principalmente ao objetivo ambicioso da cidade de se tornar a primeira cidade do mundo “carbono neutra” até 2025. O sistema de Aquecimento Distrital, que se expandiu vastamente nos anos 80 é uma das muitas áreas que irá auxiliar a cidade a atingir este objetivo.

Como resultado da falta de recursos hidrelétricos, a Dinamarca historicamente desenvolveu a utilização de calor a partir de plantas de cogeração (CHP) através de redes de aquecimento urbano e o sistema de Copenhagen data de 1920.

Após a crise energética dos anos 70, um amplo programa de planejamento para o aquecimento foi lançado na Dinamarca, envolvendo tanto as municipalidades quanto as empresas de energia elétrica em um intenso processo de planejamento. Em 1973 a Dinamarca dependia de quase 80% de petróleo importado. O Ato de 1979 para a regulamentação do fornecimento de energia térmica possibilitou que as municipalidades designassem certas áreas para o aquecimento distrital e tornou obrigatório que os proprietários de habitações se

conectassem ao aquecimento distrital. Esta foi considerada uma iniciativa de sucesso, conduzindo a uma significativa economia de energia e a uma redução na dependência global de petróleo importado.

A ênfase no aquecimento distrital e cogeração foi fundamental para reduzir a dependência do petróleo importado, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e fortalecer a economia da Dinamarca. O plano aplicado em Copenhagen permitiu reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 655.000 toneladas de CO₂ e substituir o uso 1,4 milhões de barris de petróleo por ano. O aquecimento distrital abastece mais de 15 quilômetros quadrados de superfície de edifícios para 1,2 milhões de habitantes com aquecimento ambiente e água quente doméstica na Grande Copenhagen. As emissões de CO₂ se reduziram de aproximadamente 18% entre 1980 e 2006.

O sistema de aquecimento distrital de Copenhagen é de propriedade e também operado pela Companhia de Energia de Copenhagen. O sistema é parte de um sistema maior de aquecimento distrital metropolitano que conecta quatro plantas de cogeração, três plantas de incineração de resíduos e mais de 50 plantas com caldeiras para as situações de picos de carga, com mais de vinte companhias de distribuição em um grande sistema de operação em grupo (*“pool”*). A produção total de calor é 33.000 TJ por ano.

O sistema de aquecimento distrital de Copenhagen é também altamente flexível em termos de seleção das plantas de produção e tipos de combustível. Ele otimiza hora a hora a produção de calor e eletricidade nas plantas de cogeração na grande Copenhagen, ao menor custo possível, incluindo benefícios tarifários e créditos de carbono.

A participação do aquecimento distrital produzido nas plantas de cogeração na Dinamarca mais que dobrou desde 1980 (de 39% para 80%). Analogamente, a participação da eletricidade em cogeração com calor cresceu de menos de 18% para mais de 60% em 2006, como indicado na Figura 9.

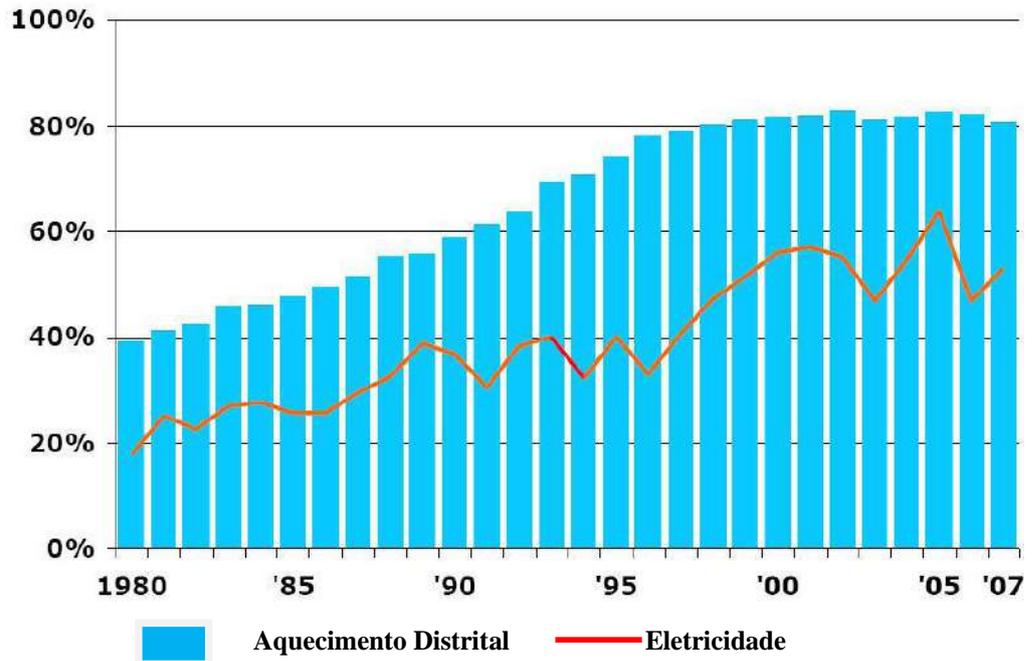


Figura 9 – Dinamarca: Participação da cogeração (CHP) no Aquecimento Distrital e Eletricidade

Fonte: (DEA, 2009)

Cerca de 30% da demanda anual do aquecimento distrital é coberta com o calor excedente da incineração de resíduos, outros 20% é excedente de cogeração e a produção restante é baseada em biomassa e combustíveis como cavacos de madeira, palha, gás natural, petróleo e carvão.

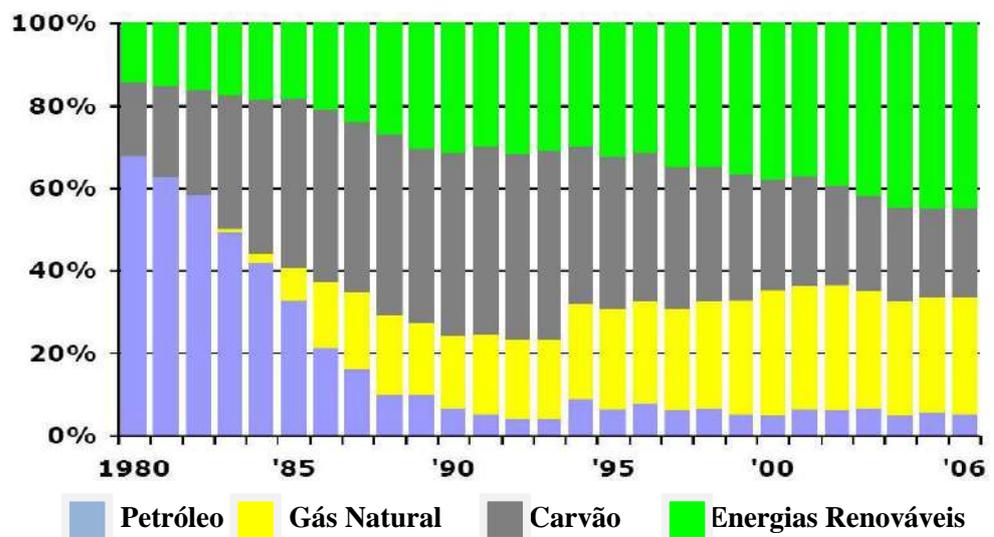


Figura 10 - Aquecimento Distrital e Energias Renováveis
Composição de Combustíveis para a produção de aquecimento distrital

Fonte: (DEA, 2009)

Na Dinamarca existem incentivos econômicos para plantas de cogeração que utilizam biomassa.

A produção de calor baseada em combustíveis fósseis está sujeita a pesadas taxas. Devido à isenção de tarifas no uso da biomassa para a produção de calor e subsídios para a produção de eletricidade baseada em biomassa, os custos de produção de cogeração baseados em biomassa são inferiores aos de produção baseados em carvão. Adicionalmente, o sistema europeu de comércio de créditos de carbono também aumenta a competitividade das plantas que utilizam biomassa. Consequentemente, a produção de cogeração baseada em biomassa é mais eficaz do ponto de vista econômico que a baseada em combustíveis fósseis.

Estes incentivos suportam também o uso do calor produzido a partir de plantas de incineração de resíduos com a produção em cogeração (CHP). A incineração de resíduos atualmente fornece aproximadamente 30% da demanda de energia térmica na região metropolitana de Copenhague. A incineração de resíduos para aquecimento é um componente de uma ampla estratégia de gerenciamento de resíduos em Copenhague, onde a redução e a separação de resíduos, a reciclagem e a incineração são os principais elementos. Como resultado, somente 3% do lixo em Copenhague é depositado em aterros sanitários.

Em comparação às unidades individuais de aquecimento com caldeiras utilizando óleo diesel ou gás natural, o sistema de aquecimento distrital da grande Copenhague reduz significativamente as emissões de CO₂: emissões de CO₂ 40% inferiores às de caldeiras individuais a gás e 50% inferiores às de caldeiras individuais a óleo diesel. Em 2010, a energia renovável, incluindo a incineração de resíduos, constituía 35% do fornecimento de energia térmica da região de Copenhague. O conteúdo de plásticos nos resíduos incinerados dobrou desde os anos 90 e em 2009 estimava-se que somente 60% dos resíduos eram orgânicos, o restante sendo constituído de plásticos que produzem emissões de CO₂. O aumento da quantidade de plásticos no processo de incineração de resíduos, consequentemente afeta as emissões globais de CO₂ da cidade.

Os diferentes cenários do Plano de Aquecimento de Copenhague mostram que tanto de um ponto de vista social como empresarial, é factível uma maior penetração das fontes de energia renovável. Estes cenários mostram que é possível até 2025 reduzir a utilização de combustíveis fósseis para entre 28 e 13%. Os cenários indicam adicionalmente que existem diferentes maneiras de integrar mais fontes de energia renováveis ao sistema. Análises mostram que é possível e economicamente viável converter o combustível das plantas de cogeração existentes de carvão para biomassa. Em longo prazo, outros tipos de energias renováveis poderão ser empregados, como por exemplo, a energia geotérmica. Uma planta

geotérmica piloto já está em operação e a utilização da energia geotérmica irá reduzir a dependência futura de biomassa.

Com base no Plano de Aquecimento de Copenhagen o objetivo estabelecido para a empresa de energia de Copenhagen é obter uma participação de 100% de energias renováveis e incineração de resíduos na geração de calor para o sistema de aquecimento distrital até 2025. A participação atual de energias renováveis é de 35%.

O aquecimento distrital é a base para a transformação de Copenhagen em uma das mais sustentáveis e energeticamente eficientes cidades do mundo. Observa-se que de maneira geral, ainda hoje, as políticas climáticas e de energia no mundo raramente consideram a energia térmica.

2.3. Sistema de Aquecimento Distrital e Cogeração (CHP) na Rússia

A Rússia é um dos maiores usuários de cogeração do mundo. Além disto, possui uma enorme capacidade em ambos os setores principais, isto é sistemas para abastecimento de estabelecimentos industriais e sistemas de Aquecimento Distrital. A dimensão do setor de aquecimento distrital da Rússia é quase dez vezes a de qualquer outro país, porém a maioria dos sistemas está ultrapassada e deteriorada.

Perfil do País – Rússia

A Rússia usa a geração do tipo cogeração extensivamente, esta respondendo por aproximadamente um terço da capacidade de geração de energia elétrica instalada. Em 2007, a Rússia tinha mais de 700 plantas de geração de energia elétrica com uma capacidade total de geração de 215 GW. Destes, as plantas termelétricas e de cogeração representam 68% (145 GW) da capacidade instalada; plantas hidrelétricas 21% (46 GW), e nucleares 11% (24 GW).

A Rússia tem o maior e mais antigo sistema de aquecimento distrital do mundo. Mais de cem anos de idade e abrangendo 500 centrais de cogeração, 200.000 km de redes de tubulações de aquecimento distrital e mais de 65.000 centrais térmicas (caldeiras). Os sistemas de aquecimento distrital russos são um legado da era soviética, dos quais a maioria da população urbana do país se tornou dependente durante os longos e extremamente frios períodos de inverno.

Embora a capacidade instalada da Rússia de centrais de cogeração está entre as maiores do mundo, existem poucos dados confiáveis sobre sua eficiência no uso da energia.

Existe também uma falta total de definição governamental sobre centrais de cogeração de alta eficiência, em contraste com outros países, tais como os da União Europeia. Além disto, o baixo investimento e a manutenção inadequada durante os anos 90 diminuiu severamente a confiabilidade do fornecimento de calor em muitos sistemas. Preços abaixo do custo também contribuíram para subinvestimento e baixa manutenção, com uma estimativa de 60% da rede russa necessitando de grandes reparos ou substituição.

Estima-se que mais do que a metade dos 200.000 km de rede de tubulação municipal de distribuição de calor já ultrapassaram sua expectativa técnica de vida útil. Alguns sistemas de tubulação têm 40 – 50 anos de idade, muito além dos 16-20 anos de expectativa de vida útil. Em torno de 25 a 30% do sistema é considerado em condição crítica. Por esta razão, estima-se que um mínimo de 10% -12% das tubulações necessitam ser substituídas anualmente. Entretanto, a cada ano, apenas cerca de 1% das tubulações são substituídas em toda rede russa. Aumentar os investimentos necessários para substituir, reparar e manter esta imensa rede é o grande desafio que o sistema de aquecimento distrital russo deve enfrentar.

Outro maior desafio para o desenvolvimento da cogeração na Rússia é a falta de uma estratégia global e visão para o setor de aquecimento. Um projeto de lei para o setor de aquecimento foi discutido no parlamento russo em 2002, mas não se converteu em lei e foi ignorado. Isto representa especialmente um problema dada a reestruturação e privatização do setor de eletricidade durante este período, que foi completada em 2008, e ao qual o setor de aquecimento está fortemente vinculado. Os especialistas russos também apontam para a falta de pessoal treinado e qualificado no setor para a operação diária das plantas.

A falta de uma estratégia de longo prazo para o setor é considerada outro grande obstáculo para seu desenvolvimento sustentável. As tarifas de aquecimento para o setor residencial não refletem os custos reais. Elas foram mantidas baixas por razões políticas, dada a incapacidade da maioria da população residencial da Rússia para pagar tarifas mais elevadas. Entretanto, estas tarifas baixas reduzem a atratividade do setor para os investidores. Adicionalmente, tarifas de aquecimento baseadas em normas, ao invés do uso real, impedem a efetividade das medidas para aumentar a eficiência do uso do aquecimento e para reduzir a demanda residencial. A prática contínua de subsídio cruzado para as tarifas de aquecimento entre o setor residencial e industrial acabou por direcionar algumas indústrias a abandonar as grandes centrais de cogeração e optar por caldeiras descentralizadas ou mini centrais de cogeração.

A situação das centrais de cogeração na Rússia

Na Rússia cerca de 30% do calor é produzido por plantas de cogeração. Caldeiras para produção exclusiva de energia térmica representam cerca de 45% do total de calor produzido e fontes descentralizadas (produtores industriais ou autoprodutores) representam o restante da participação na produção de calor. Cogeração é parte integral do sistema de aquecimento distrital na Rússia, fornecendo calor e água quente para a maior parte da população urbana na Rússia. Embora exista uma grande participação de plantas de cogeração na produção de calor na Rússia, existem poucos dados disponíveis para julgar a eficiência destas plantas. Devido a grande competição das fontes descentralizadas de calor, muitas plantas de cogeração russas estão operando com cerca de 40% a 45% de sua capacidade.

Os dados do IEA de 1990 a 2007, resumidos na Figura 11, apresentam a queda dramática da produção de calor na Rússia como resultado do declínio do crescimento do PIB nos anos 90. Esta produção inferior de calor continuou nesta década. Isto reflete um aumento dos sistemas de produção de calor descentralizados como uma fonte mais confiável de calor, ou como uma fonte complementar de calor quando o sistema de aquecimento distrital não garante o fornecimento adequado. A geração a partir de plantas de cogeração neste período decresceu mais que 30%. Em 2007, o consumo final de calor na Rússia caiu para 58% do seu nível em 1993. Isto foi devido a uma queda no consumo de calor pelo setor industrial de mais que 50%, de 4117 PJ em 1993 para 1867 PJ em 2007. Esta queda ocorreu nos anos 90 quando o PIB da Rússia quase caiu pela metade durante sua transição para uma economia de mercado.

Desde 2000, o setor residencial viu seu consumo de calor cair 38%. Isto se deveu fortemente a falta de confiabilidade dos sistemas de aquecimento distrital e ao fato das tarifas de aquecimento serem calculadas com base no custo mais lucro. Conforme aumenta o custo médio dos sistemas de aquecimento (custos de operação e manutenção), mais clientes consideram econômico optar por fontes descentralizadas de calor.

A Figura 11 também reflete a participação dominante do gás natural como combustível para produzir calor na Rússia. As plantas de cogeração na parte europeia da Rússia – onde a maior parte dos centros populacionais urbanos russos é localizada – são predominantemente alimentadas por gás natural (82% -83%). Na Sibéria e extremo oriente, as plantas de produção de eletricidade e cogeração são predominantemente alimentadas por carvão (81%-86%).

Calor em Petajoules

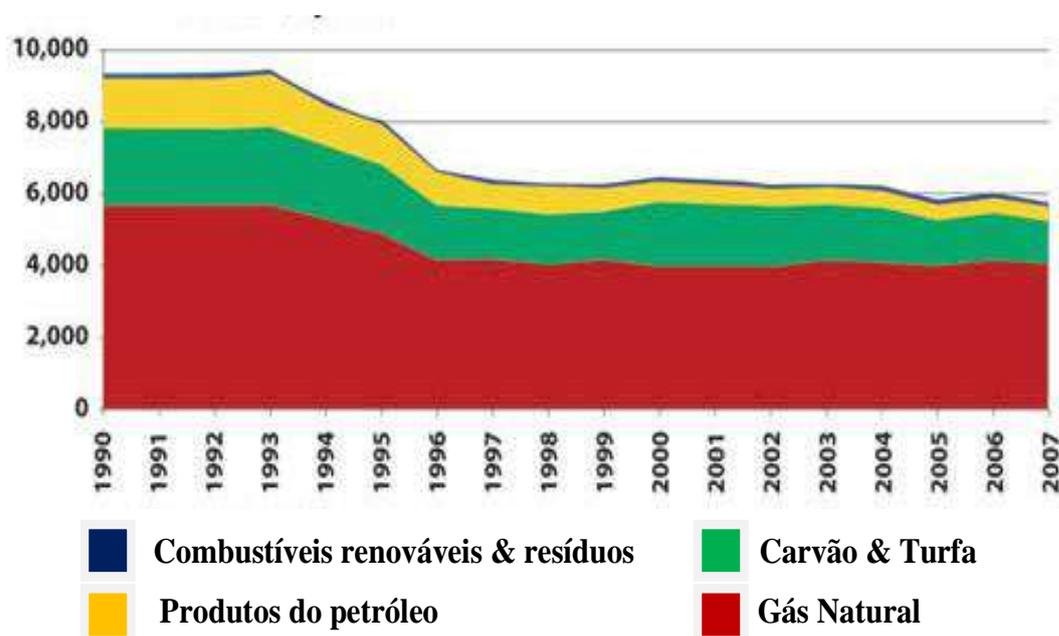


Figura 11 – Combustível usado para produzir calor na Rússia, em Petajoules, 1990 - 2007

Fonte: (Estatísticas IEA, 2009)

A indústria russa consome energia de forma intensiva. Em 2007, o setor industrial respondia por 50% da demanda total de eletricidade, uma participação mais elevada que a maioria de outros países. Mais da metade das 500 plantas de cogeração na Rússia são baseadas dentro do setor industrial. Juntos, o setor de ferro e aço (30%) e o setor químico e petroquímico (21%) respondem por mais da metade do consumo de calor industrial (ver Figura 12).

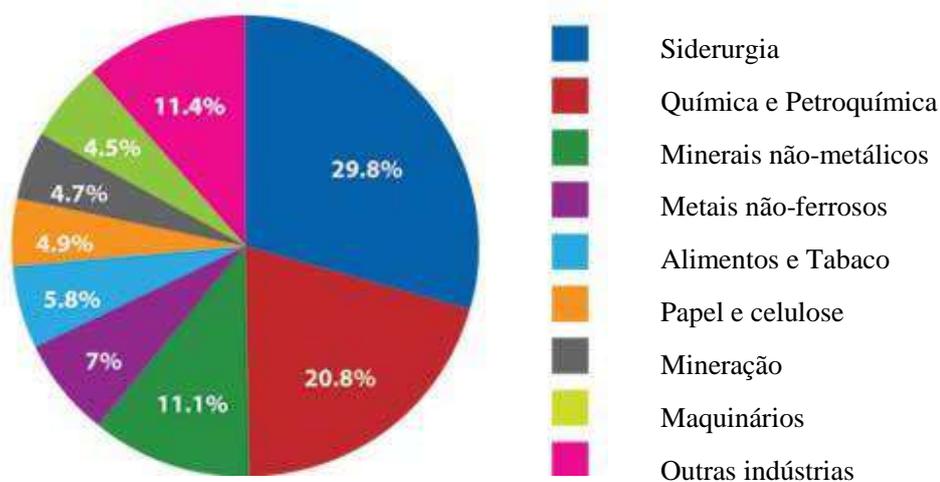


Figura 12 – Consumo de energia por setor industrial na Rússia em 2007

Fonte: (Estatísticas IEA, 2009)

Uma herança do plano central do sistema soviético é que muitas grandes cidades na Rússia foram centralizadas em torno de uma grande indústria, portanto, o calor da central de cogeração podia ser fornecido para o sistema de aquecimento distrital para o setor residencial.

Aplicações do Aquecimento Distrital na Rússia

A Rússia tem o maior conjunto de sistemas de aquecimento distrital do mundo, com fornecimento de calor da ordem de 1700 TWh em 2007, cerca de dez vezes mais que o sistema maior mais próximo, Ucrânia (com um nível pouco abaixo de 200TWh) e Polônia (pouco abaixo de 100TWh em 2007). Não existe informação precisa sobre a demanda no consumidor final do sistema de aquecimento distrital na Rússia devido à falta de medição.

Durante o período de 1998 a 2007, as plantas de cogeração estatais responderam por uma participação em declínio do calor produzido na Rússia, de um nível de 35% -31%. Cerca de 60% de todo calor produzido na Rússia foi consumido nos setores residencial (cerca de 45%) e comercial e público (cerca de 15%). Pouco abaixo de três quartos (74%) do calor fornecido na Rússia é através de redes de aquecimento distrital, sendo o outro um quarto através de fontes de calor descentralizadas / individuais. As redes de aquecimento distrital fornecem calor para cerca de 80% dos prédios residenciais na Rússia e cerca de 63% da água quente usada pela população do país.

Um grande potencial existe para economia de energia nos seus sistemas de aquecimento distrital, especialmente através da redução de perdas na rede e da implantação de medidas de eficiência energética. Dado que se estima que 20% - 30% do calor seja perdido através da rede de distribuição de calor antes de atingir o consumidor final, o primeiro passo essencial é focar na redução destas perdas na rede. Somente após este estágio ser completado, a instalação de medidores e dispositivos de controle de aquecimento para gerenciar o lado da demanda se tornaria efetiva.

Pequenas aplicações comerciais e residenciais

Desde o início dos anos 2000 existe uma tendência crescente em modernizar as centrais térmicas (caldeiras) para turbinas a gás ou unidades de cogeração de menor escala (capacidade menor que 25 MW). A maior parte das modernizações até o momento usou tecnologia estrangeira. Em março de 2007 cerca de 120 destas unidades estavam operando na Rússia. Bashkirenergo em Bashkortostan e Tatenergo em Tatarstan são os líderes no uso de

micro centrais de cogeração ou centrais de cogeração de menor escala. Estas unidades resultaram não somente em um uso mais eficiente do gás natural como combustível, mas também em emissões inferiores e um menor impacto ambiental.

Esta tendência ao uso crescente de centrais de cogeração de menor escala a gás natural na Rússia parece positiva, considerando que a eficiência deve se encontrar acima de 80%.

Tem existido um envolvimento limitado do governo no desenvolvimento de cogeração na Rússia. Uma herança do seu passado soviético, as plantas de cogeração foram uma parte integral do plano central e da vasta rede de aquecimento distrital construída para atender às necessidades de aquecimento e água quente do povo soviético. Desde a quebra da União Soviética e durante os anos 90, a falta de investimento e a orientação da política governamental resultaram em sua deterioração.

Barreiras para a Cogeração na Rússia

As barreiras para o desenvolvimento futuro das centrais de cogeração na Rússia estão ligadas à falta de foco do governo federal nos muitos desafios que o setor de aquecimento russo deve enfrentar. Isto inclui a necessidade de:

- Modernização da rede de aquecimento distrital que se tornou obsoleta, com o objetivo de reduzir as perdas do sistema e aumentar a confiabilidade
- Tarifas de aquecimento para cobrir o custo total de fornecimento
- O incentivo por parte do governo para as plantas industriais de cogeração de alta eficiência
- Uma visão de estratégia e política coordenada e de longo prazo para o setor de aquecimento

Potencial e benefícios para a Cogeração na Rússia

A Rússia tem a maior rede de aquecimento do mundo, um legado do seu passado soviético. Se este fato fosse utilizado para tirar vantagem, através de uma visão política de longo prazo voltada para modernizar e manter, para efetivamente fixar preço e custo da energia térmica, e permitir aos usuários finais controlar e reduzir seu consumo através de reguladores e medidores, seu setor de aquecimento poderia florescer com todos os benefícios relacionados que isto traria em termos de economia de energia, redução do impacto ambiental,

aumento da segurança do fornecimento de energia e do conforto e qualidade de vida para a população russa.

A Rússia consome o equivalente a cerca de 150 bilhões de metros cúbicos de gás natural por ano no seu sistema de aquecimento distrital. Aumentando a eficiência de suas plantas de cogeração e reduzindo as perdas ao longo de sua rede de aquecimento distrital, poderia economizar cerca de 20% - 30% ou 30 a 50 bilhões de metros cúbicos por ano. O estudo “Vindo do Frio” (IEA, 2004) estimou que com uma estrutura política mais forte, o sistema de aquecimento distrital em economias em transição poderia economizar somente em geração, o equivalente a 80 bilhões de metros cúbicos de gás natural por ano – equivalente ao consumo anual de gás na Alemanha.

Sistema de aquecimento em Moscou

O aquecimento em Moscou é produzido por 15 grandes plantas de cogeração, 70 plantas distritais e locais, e 100 centrais térmicas (caldeiras) locais. A Tabela 2.4 mostra sua capacidade e produção.

Tabela 2.4 – Sistema de abastecimento de calor em Moscou

Sistema produção de calor em Moscou	Capacidade produção horária de calor	Produção de calor	
		Milhões de Gcal	Porcentagem
	Gcal/h		
Plantas de cogeração (CHP)	32.250	79,90	77,57
Plantas de produção de calor locais e distritais	13.700	22,70	22,04
Caldeiras locais	250	0,40	0,39
Total	46.200	103,00	

Fonte: (IEA, 2009)

A rede primária de calor / água quente inclui cerca de 2300 km de tubulações com um diâmetro médio de 570 mm, e 21 estações de bombeamento. Dentro dos subdistritos da cidade, Mosgorteplo opera mais de 4600 subestações e Mosteploenergo mais de 1200. A partir das subestações, redes secundárias transferem calor e água quente sanitária para os edifícios. As redes secundárias incluem cerca de 4400 km operadas por Mosgorteplo e cerca de 1245 km operadas por Mosteploenergo. Os equipamentos dentro dos edifícios incluem um ponto de conexão no térreo, válvulas, filtros, termômetros e manômetros, tubulações para

distribuição de calor e água quente sanitária, e radiadores e / ou trocadores de calor nos apartamentos.

Os apartamentos geralmente não possuem medidores, embora a instalação de medidores nos edifícios esteja começando. Mosgorteplo recentemente completou a instalação de medidores em todas as subestações que ela gerencia.

2.4. Sistema de Cogeração (CHP) / Aquecimento Distrital (DH) na Finlândia – Helsinki

A Helsingin Energia é uma empresa de utilidade pública, cuja propriedade é 100% da cidade de Helsinki.

A aplicação do sistema inteligente de Cogeração / Aquecimento Distrital se enquadra no programa municipal com mais de 10.000 usuários. O sistema de aquecimento distrital da Helsingin Energia cobre mais de 90% da necessidade de aquecimento dos edifícios de Helsinki. A capacidade da rede é 3.244 MW e existem 14.010 conexões de usuários.

A aplicação do sistema inteligente de Cogeração / Aquecimento Distrital faz parte do programa de modernização do esquema existente. A Helsingin Energia tem operado extensivamente seu sistema inteligente de eficiência energética Cogeração / Aquecimento Distrital em Helsinki desde 1957. Através dos anos, as operações foram aperfeiçoadas em termos de redução de impacto climático e melhoria da eficiência.

Implantação do programa e resultados obtidos

- Combinar aquecimento e resfriamento distrital na produção e uso de energia é uma solução globalmente única, com significativo impacto climático em escala global e em termos de qualidade do ar em Helsinki. A solução adotada por Helsinki cria um exemplo globalmente reconhecido.
- A eficiência energética é implementada através da cadeia de energia – consumo de calor, transmissão e distribuição, controle da produção, produção.
- A eficiência energética do sistema de aquecimento distrital é constantemente aperfeiçoada de acordo com os objetivos ecológicos: “aquecimento distrital leve” como uma solução para casas de “baixa energia”, produção de calor por computadores em centros de processamento de dados para o aquecimento distrital, orientação e relatórios sobre o uso da energia para atingir o objetivo de economia energética, um claro programa de desenvolvimento em produção de energia limpa (carbono-neutro) está sendo implementado a cada projeto.

- A qualidade dos impactos climáticos através da cadeia do sistema de aquecimento distrital é constantemente monitorada.
- O sistema de aquecimento distrital tem um certificado ambiental, e a produção é desenvolvida de modo a ter emissões cada vez menores. Todas as plantas de cogeração produzindo aquecimento distrital em Helsinki têm certificados ambientais e suas operações são monitoradas e desenvolvidas em consonância com esta filosofia.
- O sistema de eficiência energética se expandiu em Helsinki com o crescimento da cidade e conforme a estrutura urbana se tornou mais densa, o que significa que o impacto climático positivo ainda irá crescer.

De acordo com o programa de desenvolvimento da Helsingin Energia com a meta de carbono-neutro em 2050, o aumento no uso de energia biorrenovável está sendo introduzido no sistema de DH a cada novo projeto.

Sistema inteligente de Cogeração / Aquecimento Distrital da Helsingin Energia

Este sistema é considerado como a solução com melhor eficiência energética para aquecer a capital finlandesa.

- Helsinki é uma das capitais mais ao norte e mais frias do continente europeu, bem como uma das líderes no uso de aquecimento distrital no mundo.
- O aquecimento distrital possibilita o uso de plantas de cogeração em Helsinki. Cogeração é a melhor alternativa em termos climáticos. A cogeração combinada com um sistema de aquecimento distrital minimiza os efeitos climáticos de operação e permite ter um ar limpo na cidade.
- Helsingin Energia produz o aquecimento distrital basicamente com cogeração. Em uma planta de cogeração, o calor produzido junto com a geração de eletricidade é utilizado para a produção de aquecimento distrital com uma taxa de eficiência maior que 90%.
- Mais de 90% da produção para aquecimento distrital é implementada com plantas de cogeração de alta eficiência energética.
- Mais de 90% da demanda total de calor de Helsinki, incluindo água quente, é atendida com o aquecimento distrital.
- A qualidade do ar em Helsinki está entre as melhores do mundo. A razão principal é o aquecimento distrital eficiente, que eliminou o aquecimento

individual nos edifícios. Obteve-se sucesso em minimizar as emissões de dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e particulados na produção de energia. Cogeração e aquecimento distrital são os meios básicos de mitigação das mudanças climáticas.

- Novos consumidores para o aquecimento distrital estão sendo constantemente conectados à rede de acordo com o plano de construção urbana. O aquecimento distrital compete no mercado de aquecimento livre em Helsinki, e é uma alternativa desejável especialmente devido à sua confiabilidade, preço e positivo impacto ambiental.
- O sistema de aquecimento distrital está em constante desenvolvimento. Ele também permite o uso de energia renovável na forma mais ecologicamente eficiente.
- Os consumidores do sistema de aquecimento distrital usam o calor de uma forma eficiente e estão comprometidos em tirar proveito dos serviços de relatórios e de orientação da Helsingin Energia, que seguem a Diretiva dos Serviços de Energia.
- O preço do aquecimento distrital em Helsinki está entre os mais baixos na Finlândia, e em relação à compra de energia, a Finlândia tem o sistema de aquecimento distrital mais favorável na Europa.
- O calor perdido nos escritórios, residências e edifícios comerciais e centros de processamento de dados é utilizado para o aquecimento distrital.
- Sendo Helsinki uma área eminentemente voltada a negócios, o aquecimento distrital é muito lucrativo.

Na Helsinki atual mais de 90% do combustível é utilizado na geração de energia, mais de 90% das residências aquecidas estão conectadas ao aquecimento distrital, e a participação da cogeração no aquecimento distrital é superior a 90%. Este cenário é conhecido em Helsinki como princípio 90 + 90 + 90.

O Aquecimento Distrital é a resposta para a demanda de aquecimento de Helsinki e as metas de eficiência energética

Helsinki está localizada a 60° de latitude norte e está entre as capitais mais ao extremo norte do mundo. Helsinki tem aproximadamente 600.000 habitantes cujas casas e escritórios

são aquecidos com um eficiente sistema de aquecimento distrital. Mais de 90% das habitações em Helsinki estão conectadas ao sistema de aquecimento distrital.

O aquecimento distrital em Helsinki é produzido em quatro plantas de cogeração localizadas em Hanasaari, Salmisaari e Vuosaari e dez plantas para situações de pico e reserva, situadas em diferentes partes da cidade. As plantas de cogeração foram construídas entre 1970 e 1990 e as plantas para situações de pico e reserva entre 1960 e 2000. A Helsingin Energia moderniza suas plantas de produção continuamente como parte do programa corporativo de eficiência energética e melhoria do clima.

O aquecimento distrital com eficiência energética foi selecionado como solução de aquecimento para a capital no início dos anos 1940 quando uma decisão de produzir eletricidade e calor a partir do mesmo combustível (cogeração) e aquecimento distrital foi tomada em Helsinki. Os distritos de Helsinki começaram a utilizar o aquecimento distrital rapidamente. A solução claramente melhorou a qualidade do ar na cidade na medida em que as chaminés individuais nos edifícios se tornaram desnecessárias. Em termos climáticos, foi uma decisão sustentável e correta. A eficiência do combustível das plantas de cogeração em Helsinki está entre as melhores do mundo, superior a 90%, quando em modo separado se pode atingir no máximo 40%, mesmo nas melhores condições. Atualmente se pode mencionar também a trigeração em Helsinki, quando a refrigeração distrital é produzida no mesmo processo que o calor e a eletricidade.

Cogeração e aquecimento distrital – uma solução sustentável para o clima e qualidade do ar

Medido através da eficiência energética, o aquecimento distrital é claramente a melhor solução para o aquecimento em áreas urbanas. Em Helsinki, a eficiência energética está presente em todas as soluções da cadeia de energia, incluindo consumidores, distribuição e produção. O aquecimento distrital combina ar urbano limpo, conforto e facilidades de vida.

O principal combustível usado nas plantas de cogeração em Helsinki é o gás natural com uma participação de 60%.

No final de 2010, a carga de calor conectada para o aquecimento distrital era 3244 MW, e existiam 14010 usuários de aquecimento distrital (edifícios). Acima de 90% do aquecimento total da cidade é atendido pelo aquecimento distrital, e a maior parte dos residentes de Helsinki vive e trabalha em edifícios aquecidos com aquecimento distrital.

As emissões da Helsingin Energia na produção de energia caíram abaixo dos valores limite para licenciamento, que são cada vez mais restritivos.

As emissões específicas de dióxido de carbono da Helsingin Energia na produção de energia seguiram uma queda progressiva no longo prazo, e este é o caso também em 2010, apesar do crescimento na produção de energia devido a um período de inverno 10% mais frio do que o normal. As emissões específicas de dióxido de carbono da Helsingin Energia permaneceram entre 240 e 330 g CO₂/kWh nos anos 2000.

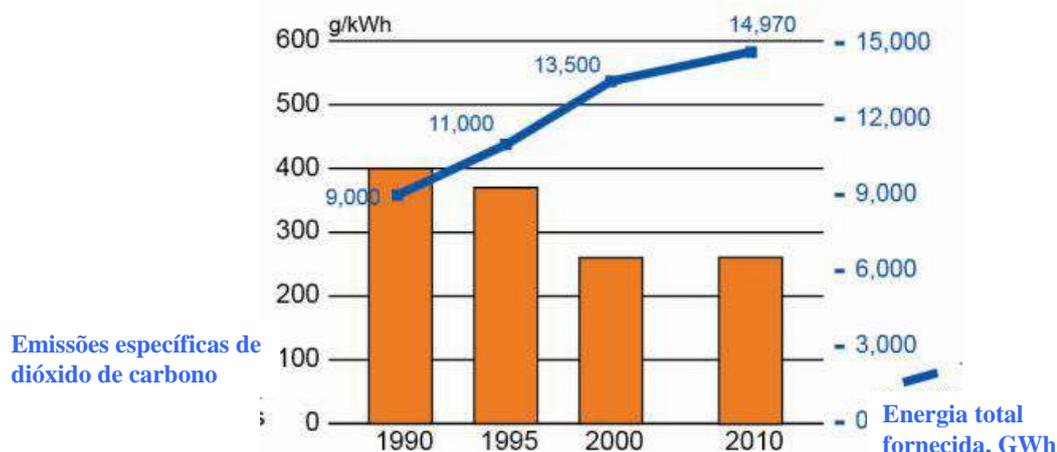


Figura 13 - Helsingin Energia – Emissões específicas de Dióxido de Carbono (g CO₂/kWh produzido)

Fonte: (Helsingin Energia, 2011)

Medidas de longo prazo mostram que as emissões de dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio na região de Helsinkí claramente registraram uma queda. As emissões de particulados também se reduziram e se mantêm em um nível baixo apesar do aumento na produção de energia.

A Helsingin Energia está monitorando cuidadosamente a tendência das emissões de sua produção de energia e considera os impactos tanto na qualidade local do ar, quanto para o clima. Na monitoração de partículas finas, a Helsingin Energia trabalha em estreita cooperação com a Universidade de Helsinkí, o Instituto de Meteorologia Finlandês e o Ministério do Transporte e Comunicações, estudando o número, qualidade e origem das partículas finas no ar urbano de Helsinkí. A estação de monitoração está localizada em Kumpula em Helsinkí. As medições indicaram que a produção de energia contribui com uma proporção muito pequena na quantidade de partículas finas no ar urbano. As principais fontes de emissão de partículas finas são o tráfego, queima de madeira em pequena escala e o setor de construção.

As cinzas leves produzidas nos processos de produção de energia da Helsingin Energia são utilizadas na produção de cimento e concreto. As cinzas pesadas são usadas para

pavimentação. Na desmontagem de tubulações e estruturas, os materiais são direcionados prioritariamente para reciclo ou reuso. Por exemplo, 90% dos materiais das plantas de cogeração de Hanasaari A, que foi desativada em 2009, foram reciclados. Do mesmo modo, resíduos perigosos são direcionados para processamento adequado.

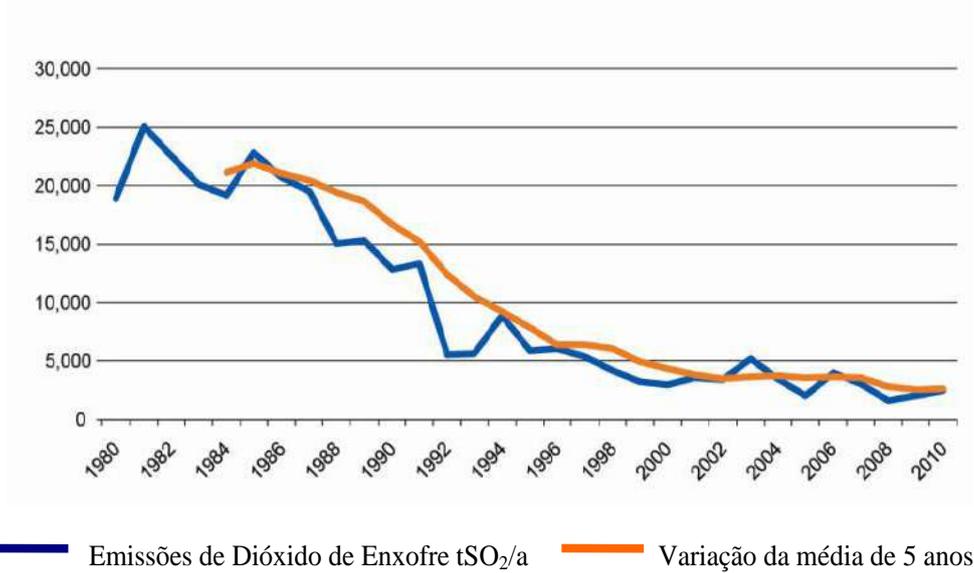


Figura 14 - Helsingin Energia – Emissões de Dióxido de Enxofre tSO₂/a

Fonte: (Helsingin Energia, 2011)

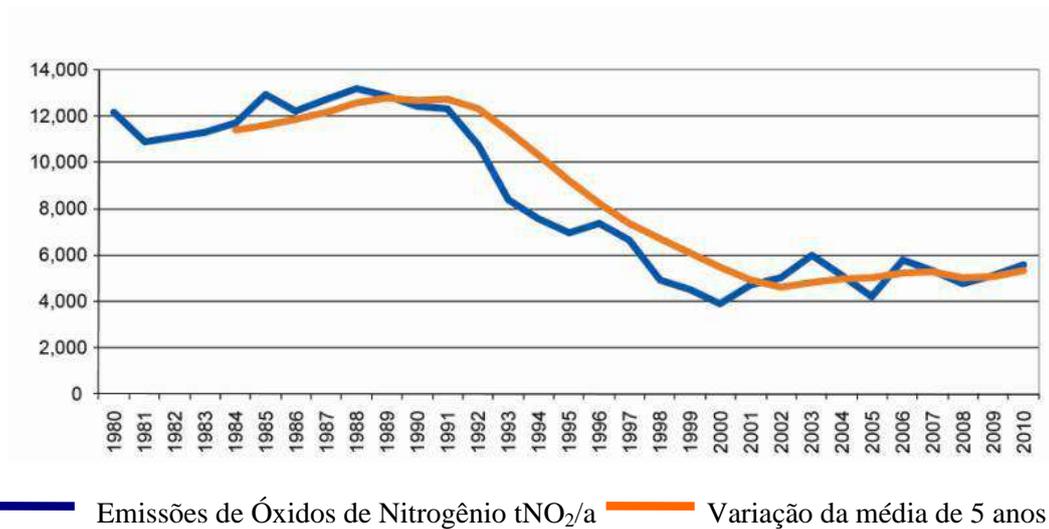


Figura 15 - Helsingin Energia – Emissões de Óxidos de Nitrogênio tNO₂/a

Fonte: (Helsingin Energia, 2011)

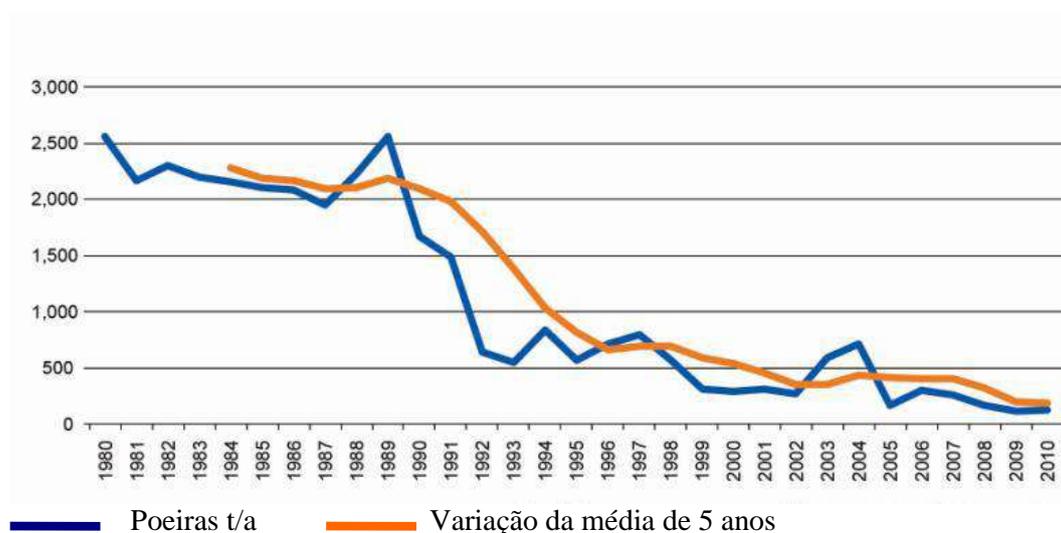


Figura 16 - Helsingin Energia – Emissões de Particulados, poeiras t/a
 Fonte: (Helsingin Energia, 2011)

Desenvolvimento de um sistema de aquecimento distrital inteligente

Em Helsinque, o aquecimento e resfriamento distrital produzidos nos mesmos processos complementam-se perfeitamente. O resfriamento distrital permite aos usuários um resfriamento eficiente e ambientalmente amigável, e o aquecimento distrital no seu sistema de aquecimento, permite o uso eficiente do calor coletado das propriedades para o processo de resfriamento. Esta combinação é eficiente e pró-ambiente e foi implementada em Helsinque para maximizar a eficiência energética. Todo o calor coletado do resfriamento é utilizado na rede de aquecimento distrital.

A maior planta do mundo produzindo aquecimento e resfriamento distrital com tecnologia de bomba de calor opera em uma instalação escavada em uma caverna rochosa sob o parque Katri Vala em Sömäinen, Helsinque. A capacidade de aquecimento distrital da planta de aquecimento e resfriamento de Katri Vala é de 90MW e sua capacidade de resfriamento distrital é de 60MW. Esta capacidade é suficiente para aquecer uma pequena cidade. Em 2009, a Helsingin Energia implementou um centro de processamento de dados escavado em uma caverna rochosa sob a catedral Uspenski em Katajanokka em Helsinque, considerado um dos mais eco-eficientes do mundo. Os computadores são resfriados com resfriamento distrital eco-eficiente e o aquecimento produzido pelos computadores é transferido na rede de aquecimento distrital. A capacidade do centro de processamento de dados atende a demanda de aquecimento de cerca de 500 casas de família. Estão programados outros centros de processamento de dados utilizando resfriamento distrital e produzindo aquecimento distrital, como por exemplo, nas instalações de uma ex-subestação em Suvilahti em Helsinque. O calor

gerado neste centro de processamento de dados irá atender às necessidades de cerca de 2000 casas de família.

A Helsingin Energia está desenvolvendo seu sistema de aquecimento distrital de uma maneira diferenciada visando às necessidades de expansão de casas e usuários de Helsinkí, também para casas de baixo consumo de energia. O “aquecimento distrital leve” é um produto oferecido para as extremidades da rede nas áreas onde não é justificável estender o sistema de aquecimento distrital convencional e onde casas eco-eficientes de baixo consumo de energia, adequadas para baixas temperaturas, estão sendo construídas, com a sua automação predial apoiando as soluções de aquecimento distrital do sistema de energia inteligente.

Em 2010, o Conselho municipal de Helsinkí aprovou o programa de desenvolvimento rumo ao carbono-neutro para 2050, elaborado pela Helsingin Energia. O programa define claramente as medidas a serem implementadas em projetos específicos e que irão auxiliar a gradual transição da Helsingin Energia para a produção de energia “carbono - neutro”.

No caminho da constante evolução

A eficiência do combustível é constantemente verificada nas plantas de energia com certificado ambiental localizadas em Helsinkí, objetivando o menor impacto climático possível. Em plantas de aquecimento produzindo para situações de pico e reserva, constantes melhorias na potência, que aumentam a eficiência energética, são implementados, e a viabilidade de novas soluções objetivando a redução de emissões é examinada. Em todas as modernizações de produção e novos investimentos, as possibilidades de usar combustíveis biorrenováveis é investigada, e investimentos possibilitando o uso de bioenergia são realizados ou são feitas preparações para implementá-los.

No sistema de aquecimento distrital, a paisagem urbana é preservada com soluções de distribuição subterrânea e levando em conta os requisitos da arquitetura urbana no projeto de cada planta de produção.

Gerenciamento da condição da rede

A Helsingin Energia está monitorando a operação do seu sistema de aquecimento distrital em tempo real com o auxílio de seu sistema de mapeamento exclusivo.

O sistema pesquisa dados em tempo real sobre o estado da rede a partir de várias bases de dados, possibilitando um gerenciamento pró-ativo e eficiente. O sistema inclui informação das ruas, informação técnica e dados proprietários dos edifícios, outras conexões realizadas na

rede das ruas, incluindo sua localização, fotos aéreas 3D com o ângulo de visão desejado, e dados do tipo estrutural, condição, identificação, limpeza, manutenção e danos da rede de aquecimento distrital. Todos estes são coletados das bases de dados de vários operadores, para serem disponibilizados em um mapa unificado.

A estrutura da rede de aquecimento distrital é em anel, o que significa que a conexão de distribuição para os usuários é assegurada de várias direções. Quase 60 km da rede de aquecimento distrital está localizada em túneis escavados em rocha oferecendo excelente segurança de fornecimento. O comprimento da tubulação de aquecimento distrital de Helsinki totaliza quase 1300 quilômetros.

A eficiência energética, confiabilidade e segurança de fornecimento do sistema de aquecimento distrital da Helsingin Energia são comprovados pela verificação de vazamentos de água extremamente pequenos e perdas de calor progressivamente menores, de apenas cerca de 6% ao ano. Na distribuição do aquecimento distrital, a média anual do tempo fora de serviço é de 2,8 horas por consumidor, o que representa um alto padrão de serviço.

Aquecimento distrital com uso eficiente é sinônimo de qualidade de vida

Os usuários de aquecimento distrital em Helsinki estão comprometidos com o uso sensato e ecológico do aquecimento, o que está evidente, por exemplo, no aumento anual da eficiência no consumo específico dos edifícios e pode ser verificado na Figura 17.

Aquecimento distrital usado de forma eficiente traz conforto às residências e locais de trabalho e tem um efeito positivo na qualidade do ar dos ambientes internos. Como um método adequado de aquecimento para todos os edifícios, o aquecimento distrital é simples e não exige grande esforço. A Helsingin Energia produz 100% do aquecimento distrital para residências, e há calor suficiente para todos os consumidores, independentemente do clima. O aquecimento distrital permite manter uma temperatura ótima e recomendada para o ambiente interno de 21°C nas casas e escritórios, durante o ano todo.

Em suas próprias operações, a Helsingin Energia está comprometida em implementar as metas voluntárias de eficiência energética das diretivas de serviços de energia em todo seu sistema de aquecimento distrital.

O sistema de Aquecimento Distrital de Helsinki permite a monitoração e registros contínuos do consumo de energia e monitoração da condição dos equipamentos de aquecimento distrital, incluindo dados de medição e testes de vazamento. Na monitoração do

consumo, são identificadas alterações, desvios e falhas técnicas, e informações e orientações sobre estes são enviadas aos consumidores.

Os habitantes recebem orientação sobre o uso consciente da energia através de revistas, eventos, mídia, feiras comerciais e site da web. Mais de 60% dos consumidores de aquecimento distrital pertencem ao grupo de leitura remota, que permite a medição horária. A leitura remota será expandida para todas as conexões de consumidores em Helsinki até 2013. Além da leitura remota, os serviços de relatórios sobre o uso da energia serão expandidos e diversificados. O site da web da Helsingin Energia tem um serviço de relatório gratuito destinado a todos os usuários. No serviço, os consumidores podem monitorar seu consumo virtualmente em tempo real e estabelecer metas de economia de energia para si próprios. O Centro de Orientação sobre Energia fornece informação sobre a economia de energia para crianças em idade escolar de Helsinki através de uma variedade de eventos.

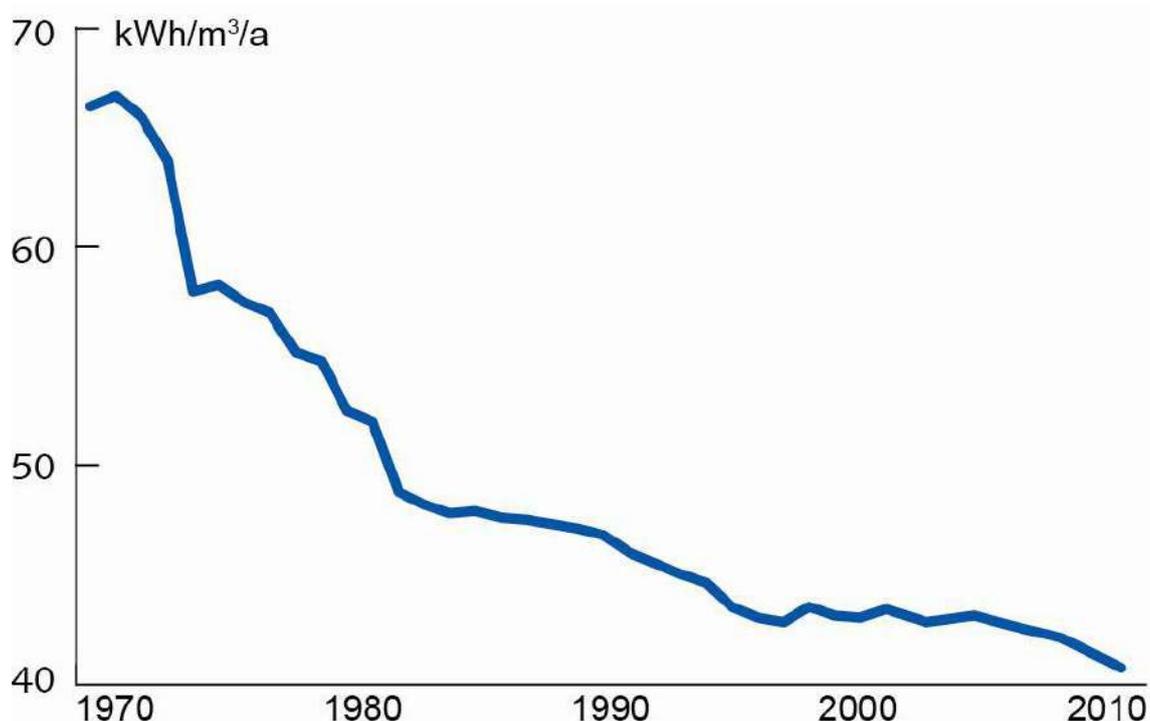


Figura 17 – Consumo de energia específica dos edifícios com aquecimento distrital em Helsinki

Fonte: (Helsingin Energia, 2011)

Existem vários projetos para promover a eficiência energética:

- O projeto MET (O projeto do grupo MET para melhorar a economia de energia em Maunula) 2008-2011: Um estudo para melhorar a eficiência energética em uma área desenvolvida. As casas na área foram construídas entre os anos 1950

e 1970. O projeto inclui várias empresas, a associação de residentes da área, e um grupo de companhias residenciais.

- O projeto KIMU (mudanças climáticas e edifícios) 2009-2012: Um estudo de desenvolvimento de soluções técnicas para diminuir os impactos do clima e melhorar o clima do ambiente interno de edifícios residenciais. O projeto envolve várias companhias e alguns subúrbios pilotos.
- O ATT edifício de “baixa-energia” em Helsinki: implementação de um novo edifício de baixo consumo de energia como solução de aquecimento distrital. O edifício foi concluído em 2011. A cidade de Helsinki está envolvida no projeto.
- Projeto de desenvolvimento do produto “Monitoração de Calor” (2010-em andamento): desenvolvimento de um sistema extensivo de eficiência energética e monitoração de condição e um registro de manutenção para os clientes.

O sistema inteligente de Cogeração / Aquecimento Distrital da Helsingin Energia é baseado no mercado e o preço do produto tem um nível competitivo

O sistema de Cogeração / Aquecimento Distrital da Helsingin Energia tem sido desde o início baseado no mercado com um preço a nível competitivo. Esta competitividade é devida à eficiente produção, transmissão e soluções de consumo. Os investimentos feitos para aperfeiçoar as operações são financiados de acordo com a livre competição através dos lucros recebidos no mercado livre de aquecimento distrital.

2.5. Sistema de Aquecimento Distrital nos Estados Unidos

Com aproximadamente 2500 sistemas de energia distrital nos Estados Unidos, incluindo as maiores cidades e campus de escolas, existem amplas oportunidades para integrar a cogeração nos sistemas de energia distrital existentes ou para recuperar fontes de calor de resíduos industriais ou ainda para conectar fontes de energia renováveis como a água de lagos e oceanos para os sistemas de aquecimento e resfriamento distrital. Em St. Paul, Minnesota, por exemplo, o sistema de energia distrital experimentou uma extensiva renovação e expansão nos últimos 25 anos. Através da conversão do combustível primário, de carvão para resíduos de madeira no município, o sistema de energia distrital do centro da cidade produz atualmente

aquecimento, resfriamento e energia para o dobro do volume dos consumidores na área, com metade do combustível e diminuiu as emissões em 250.000 toneladas de CO₂ por ano.

Os sistemas de energia distrital nos Estados Unidos operam há mais de cem anos e atualmente servem aproximadamente 400 milhões de metros quadrados de área de edifícios, incluindo marcos como o Capitólio e a Suprema Corte, o Empire State, a Clínica Mayo e a Escola de Medicina de Harvard. Desde 1990 na América do Norte os sistemas industriais registraram aproximadamente 43,5 milhões de metros quadrados adicionais de consumidores.

Quando o congresso americano finalmente decidir sobre o pagamento pelas mudanças climáticas, será de suma importância que as regras de comércio não prejudiquem os sistemas de Aquecimento e Resfriamento Distrital (DHC) / Cogeração (CHP) com um desequilíbrio nos custos orçamentários, particularmente se as plantas elétricas tiverem orçamentos livres garantidos. Em 2009 o Congresso e o Senado liberaram em caráter excepcional orçamentos limitados para uma certa classe de sistemas de cogeração, mas insuficientes para alavancar os potenciais ganhos de eficiência e redução de emissões CO₂ que seriam decorrentes da expansão do Aquecimento e Resfriamento Distrital / Cogeração nas cidades e campus escolares em escala nacional.

Se um objetivo nacional é criar empregos não exportáveis através do investimento em infraestrutura sustentável para melhorar a segurança no abastecimento de energia, existem centenas de cidades e campus prontos para investir na renovação e expansão do sistema. Isto fica evidenciado quando se considera que em um passado recente um programa de fundos do Departamento de Energia dos Estados Unidos para Aquecimento e Resfriamento Distrital / Cogeração teve uma demanda 25 vezes maior que o orçamento programado. Atingir 80 ou até 90% de eficiência do combustível não é um problema tecnológico e tampouco um problema de capital. Aquecimento e Resfriamento Distrital / Cogeração utilizam tecnologias comprovadas, confiáveis e amplamente disponíveis. Estes sistemas funcionam durante o dia ou à noite e sob qualquer condição climática.

“Se o objetivo de uma nação é reduzir as emissões de carbono, as políticas energéticas e climáticas deveriam considerar a energia térmica e não somente focar na eletricidade.” (THORNTON, 2009, p.9).

A vantagem da escala para o Aquecimento e Resfriamento Distrital é que ao servir 1,85 milhões de metros quadrados de área, investimentos em eficiência nas plantas centrais beneficiam também a base de clientes agregada. Por exemplo, a Universidade de Princeton testou com sucesso biocombustível na sua planta de cogeração no campus e com o

fechamento de uma simples válvula, possibilitou a conversão de 1, 1 milhão de metros quadrados de área servida para combustíveis renováveis.

A verdadeira barreira é uma lacuna nas políticas públicas, que falham por não valorizar a energia térmica e não incentivam a eficiência energética.

2.6. Análise do caso brasileiro

A inexistência deste tipo de centrais de Aquecimento Distrital no Brasil (informação pessoal)² despertou o interesse por estudar e aprofundar o tema, incluindo os aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais e sociais.

No caso do Brasil, onde na maior parte do país não se utiliza o aquecimento para residências, existe de qualquer maneira a vantagem de aplicar estas redes para centros comerciais, hotéis, hospitais, cozinhas industriais, lavanderias, etc. Isto resulta tanto em benefícios ambientais, como também os relacionados à segurança, já que se teria um responsável devidamente capacitado pela operação e manutenção do sistema centralizado, ao invés de várias pequenas caldeiras individuais em diversos estabelecimentos, que normalmente não apresentam estrutura adequada para mantê-las.

Também existe a oportunidade de realização de estudos de viabilidade para implantação deste sistema de Aquecimento Distrital a partir de usinas termelétricas em ciclo combinado com cogeração em cidades frias do sudeste e sul do Brasil, onde ainda se verifica o uso de sistemas de ar condicionado e pequenos aquecedores elétricos para o aquecimento dos ambientes e o uso de chuveiros elétricos para o banho, com alto consumo de energia elétrica e baixa eficiência energética.

Foi realizado um levantamento das temperaturas mínimas registradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em dois estados da região sul do Brasil, supostamente os mais frios: Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

A base de dados do INMET está disponível apenas a partir de 01 de janeiro de 2000 e permite localizar as temperaturas mínimas das cinco cidades mais frias de cada estado para

² SILVESTRIN, C.R. **Orientação de monografia – Especialização IEE/USP**. Mensagem recebida por silvestrin@cogen.com.br em 18abr.2011. Carlos Roberto Silvestrin é executivo da COGEN e confirmou a inexistência desta aplicação para a cogeração no Brasil.

cada dia selecionado. O período amostrado foi selecionado aleatoriamente e está compreendido entre 01 de maio e 31 de outubro de 2000, abrangendo um total de 184 dias.

Os dados, extraídos um a um da base de dados do INMET, foram utilizados para elaborar a Tabela 2.5.

O levantamento para o estado de Santa Catarina apresenta, no período considerado, sempre as mesmas cinco cidades dentre as mais frias, enquanto que para o estado do Rio Grande do Sul verifica-se que dentro do mesmo período aparecem vinte e cinco cidades, que se alternam entre as cinco mais frias do estado.

Para citar apenas um exemplo, a cidade de São Joaquim (Santa Catarina) apresentou 21 dias com temperaturas menores que 0°C, 41 dias com temperaturas na faixa entre 0,1 e 5 °C e 67 dias com temperaturas na faixa entre 5,1 e 10 °C, totalizando 129 dias com temperaturas menores que 10°C dentro do período de 184 dias analisado. Convém também ressaltar que a temperatura mínima média dentro do período de 184 dias foi de 6,8 °C.

Outros casos podem ser verificados com mais detalhe na Tabela 2.5.

Este cenário evidencia que existem as premissas básicas para a implantação de uma usina termelétrica de cogeração em ciclo combinado para a cidade de São Joaquim e também para outras cidades com condições climáticas análogas.

De qualquer modo impõe-se a necessidade de realizar um estudo aprofundado de viabilidade técnico-econômica para justificar o empreendimento.

Tabela 2.5 - Temperaturas mínimas no Brasil

Data	Santa Catarina					Rio Grande do Sul																									
	Sao Joaquim	Campos Novos	Lages	Chapeco	Indaial	Cambara do Sul	Bom Jesus	Uruguaiana	Teutônia	Campo Bom	Lagoa Vermelha	Cruz Alta	Passo Fundo	Ibiruba	Bento Gonçalves	Camaquã	Triunfo	Santa Vitoria do Palmar	Irai	Rio Grande	São Luiz Gonzaga	Bage	Encruzilhada do Sul	Caxias do Sul	Passo Fundo	Santana do Livramento	Pelotas	Santa Maria	Torres	Porto Alegre	
01/05/2000	13,0	16,4	12,7	18,6	19,4	14,2	13,3	-	-	-	14,3	-	-	15,6	-	16,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/05/2000	11,0	15,0	15,3	14,4	20,0	12,0	-	-	-	-	-	-	13,8	-	13,8	-	-	13,5	-	-	-	-	-	13,2	-	-	-	-	-	-	-
03/05/2000	12,0	14,3	14,9	15,4	18,4	-	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,0	-	11,3	-	10,7	-	-	-	-	10,8	-	-	-	
04/05/2000	13,5	15,1	15,9	16,4	20,2	14,8	14,4	11,2	-	-	-	-	-	12,2	-	-	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
05/05/2000	13,4	14,4	16,1	14,2	20,0	-	-	10,6	-	-	-	11,0	-	11,7	-	-	-	-	-	-	11,0	10,3	-	-	-	-	-	-	-	-	
06/05/2000	2,6	6,6	7,2	7,0	15,2	5,1	2,0	5,0	-	-	6,0	-	6,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/05/2000	0,6	5,7	4,7	5,0	10,0	2,2	2,8	-	-	-	4,6	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	-	-	-	
08/05/2000	6,2	5,6	3,8	8,0	10,2	3,4	3,6	5,8	-	-	-	-	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09/05/2000	0,0	3,2	3,6	6,2	11,4	2,0	2,8	-	-	3,2	-	-	-	5,5	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10/05/2000	1,2	3,5	3,4	7,6	12,2	5,0	2,6	6,5	-	-	6,2	-	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11/05/2000	5,0	4,5	3,8	8,8	9,8	8,0	7,3	-	-	-	7,2	-	8,7	-	-	-	-	-	-	-	-	7,1	-	-	-	-	-	-	-	-	
12/05/2000	7,4	8,8	10,3	10,0	15,8	7,2	6,1	-	8,9	-	9,2	-	-	-	-	-	-	-	8,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13/05/2000	7,6	10,1	11,0	11,8	14,0	7,0	7,6	-	-	-	10,0	-	9,0	-	-	-	-	-	9,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14/05/2000	8,0	9,8	9,9	13,4	13,8	6,8	6,9	-	10,0	9,5	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15/05/2000	10,0	10,2	11,7	15,4	16,6	10,8	9,8	10,6	-	-	12,6	-	-	-	-	-	-	-	12,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16/05/2000	11,0	12,2	14,4	14,4	19,0	12,9	11,2	9,8	-	-	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-	12,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17/05/2000	6,5	8,9	9,0	11,0	13,6	8,5	8,2	8,8	-	-	10,4	-	10,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18/05/2000	6,0	9,5	9,1	10,8	12,2	8,7	7,6	-	-	-	10,0	-	-	10,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,6	-	-	-	-	-	-	
19/05/2000	4,0	8,8	8,2	10,8	14,2	4,4	5,2	-	-	-	7,6	-	-	8,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,4	-	-	-	-	-	-	
20/05/2000	3,0	6,6	5,1	8,4	12,6	4,5	2,4	-	-	-	5,2	-	-	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2	-	-	-	-	-	-	
21/05/2000	5,5	8,7	9,0	11,6	10,4	5,8	5,2	7,6	-	7,9	-	-	-	-	-	8,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22/05/2000	8,0	5,6	6,9	11,0	10,8	7,0	6,4	7,8	-	9,1	8,9	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23/05/2000	6,5	5,4	3,5	9,8	10,2	7,2	5,8	-	-	-	7,9	-	-	-	-	-	-	-	8,8	-	-	9,8	-	-	-	-	-	-	-	-	
24/05/2000	6,0	8,6	8,6	10,4	11,4	6,8	6,2	-	-	-	8,3	-	-	-	-	-	-	8,0	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25/05/2000	9,5	10,3	13,3	15,4	15,8	9,3	10,0	-	-	11,6	11,9	-	-	-	-	-	-	-	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26/05/2000	7,8	10,4	11,1	13,2	14,4	8,5	8,6	-	-	-	10,4	11,6	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27/05/2000	3,0	5,0	5,7	7,0	10,2	4,9	4,2	-	-	-	4,2	-	5,6	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28/05/2000	0,0	3,4	2,0	4,2	6,2	3,5	1,8	-	-	-	2,6	-	4,0	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29/05/2000	0,8	2,5	0,0	3,4	5,0	0,2	-1,0	-	2,2	-	-	-	-	2,6	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30/05/2000	4,5	8,5	5,0	10,0	6,8	2,8	3,7	6,1	5,8	-	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31/05/2000	3,0	6,8	5,1	6,4	7,2	5,2	4,2	5,8	-	-	-	6,0	-	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
01/06/2000	2,0	4,0	4,1	5,0	6,4	2,8	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8	-	-	5,1	-	5,6	-	-	-	-	-	-	
02/06/2000	1,5	0,0	0,6	4,0	8,2	-0,3	-1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	0,0	-	-	2,2	-	-	-	
03/06/2000	5,0	5,8	4,1	11,0	12,8	3,8	3,3	-	4,8	-	-	-	-	-	-	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	-	-	-	
04/06/2000	7,2	11,0	10,0	13,6	14,2	4,2	5,9	-	6,3	-	-	-	-	-	-	8,1	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
05/06/2000	10,0	12,8	12,9	15,4	16,8	11,5	12,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	13,4	-	13,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06/06/2000	11,0	13,0	14,1	16,4	17,0	14,1	11,8	-	-	-	13,8	-	14,9	-	-	-	-	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07/06/2000	13,4	14,7	13,0	17,2	15,6	15,0	14,2	-	-	-	-	15,6	-	15,1	-	-	-	13,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08/06/2000	13,0	15,3	13,5	16,3	16,4	13,8	13,8	12,6	-	-	-	15,0	-	-	-	-	-	-	-	-	14,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09/06/2000	8,6	13,5	11,9	15,0	14,8	9,8	8,8	9,0	-	-	-	10,4	-	-	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10/06/2000	9,0	11,9	12,2	15,8	17,8	10,2	8,6	-	-	-	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,8	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-

continua...

continuação

Tabela 2.5 - Temperaturas mínimas no Brasil

Data	Santa Catarina					Rio Grande do Sul																									
	Sao Joaquim	Campos Novos	Lages	Chapeco	Indaial	Cambara do Sul	Bom Jesus	Uruguaiana	Teutônia	Campo Bom	Lagoa Vermelha	Cruz Alta	Passo Fundo	Ibiruba	Bento Gonçalves	Camaquã	Triunfo	Santa Vitória do Palmar	Irai	Rio Grande	São Luiz Gonzaga	Bage	Encruzilhada do Sul	Caxias do Sul	Passo Fundo	Santana do Livramento	Pelotas	Santa Maria	Torres	Porto Alegre	
11/06/2000	9,4	13,5	14,0	17,2	17,6	-	10,6	10,6	-	-	-	-	-	10,8	-	10,7	-	-	-	-	-	-	11,1	-	-	-	-	-	-	-	-
12/06/2000	10,4	13,6	10,2	15,2	16,0	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	9,3	-	11,0	-	-	-	9,6	-	-	-	-	-	10,4	-	-	
13/06/2000	10,8	13,7	13,1	16,2	17,6	12,3	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-	11,6	13,1	-	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14/06/2000	11,4	10,4	11,1	16,9	17,2	12,4	11,6	-	-	12,9	-	13,9	14,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15/06/2000	12,0	12,0	12,6	17,0	19,0	13,3	9,8	-	-	-	13,0	-	14,7	-	-	-	12,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16/06/2000	12,0	13,4	14,0	15,8	18,4	-	-	8,4	-	-	-	11,8	-	-	-	-	-	11,1	-	-	-	10,3	12,0	-	-	-	-	-	-	-	
17/06/2000	8,4	12,9	12,6	14,2	17,2	8,5	8,7	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,9	8,6	-	-	-	-	-	-	-	
18/06/2000	8,5	13,8	12,8	12,2	16,4	8,6	9,8	6,4	-	-	-	-	-	-	-	8,6	9,8	6,4	-	-	-	7,4	-	-	-	-	-	-	-	-	
19/06/2000	7,4	9,8	10,9	10,4	16,6	8,0	8,3	6,8	-	-	9,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,9	-	-	-	-	-	-	-	-	
20/06/2000	4,0	7,8	7,4	8,0	13,6	3,0	-	3,0	-	-	-	-	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	3,6	4,1	-	-	-	-	-	-	-	
21/06/2000	-3,0	1,2	0,4	2,2	6,0	-0,1	-1,5	-	-	-	-1,4	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22/06/2000	0,0	2,3	-1,4	1,8	4,4	-0,2	-2,9	-	1,0	-	-	-	-	0,6	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23/06/2000	5,0	3,2	2,5	9,0	6,8	-	-	-	2,9	3,3	3,9	-	-	-	-	4,2	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24/06/2000	11,0	6,8	4,2	15,1	8,6	-	9,8	7,9	-	-	9,2	-	-	-	-	-	-	9,6	9,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25/06/2000	13,5	16,0	10,8	17,4	11,8	-	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-	11,0	-	11,2	-	10,2	-	10,2	-	-	-	-	-	-	-	-	
26/06/2000	11,0	14,2	12,4	16,4	15,4	-	-	6,1	-	-	-	-	-	-	-	6,0	-	7,8	-	-	-	5,0	8,0	-	-	-	-	-	-	-	
27/06/2000	6,5	8,4	12,0	13,0	14,0	-	8,6	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,5	-	7,2	-	7,3	-	-	-	-	-	-	-	-	
28/06/2000	10,5	13,6	12,8	18,2	15,4	10,2	9,2	-	-	-	11,3	-	-	-	-	-	-	10,2	-	8,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29/06/2000	13,0	15,6	11,0	13,4	16,0	10,2	-	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,4	-	-	-	10,2	10,8	-	-	-	-	-	-	-	
30/06/2000	6,5	9,5	9,3	11,0	15,0	7,8	-	5,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8	-	7,8	-	5,2	-	-	-	-	-	-	-	-	
01/07/2000	6,0	6,4	7,0	12,2	15,0	5,0	6,2	6,9	7,4	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
02/07/2000	7,5	8,4	10,3	8,4	16,4	6,1	6,0	-	-	-	-	6,6	-	-	6,1	-	-	-	-	-	-	-	-	6,4	-	-	-	-	-	-	
03/07/2000	-2,5	3,2	1,8	4,8	10,0	-0,1	-1,2	1,5	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-	-	-	-	-	-	
04/07/2000	1,8	1,8	1,9	5,0	9,0	-0,3	-1,0	1,0	0,3	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
05/07/2000	8,8	7,1	5,8	12,2	9,8	5,8	4,0	-	-	5,6	3,0	-	-	-	-	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06/07/2000	10,0	7,5	10,0	14,6	14,6	10,8	9,2	10,2	-	-	9,2	-	-	-	-	-	-	8,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/07/2000	9,8	9,4	6,4	15,0	12,6	11,8	9,0	11,0	11,4	11,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
08/07/2000	10,5	14,1	9,0	14,2	13,2	11,9	10,6	-	-	-	12,2	-	-	-	-	-	-	12,8	12,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09/07/2000	12,4	15,2	13,1	16,0	15,0	12,0	12,8	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10/07/2000	10,6	12,2	13,5	11,4	17,4	-	-	7,0	-	-	9,0	10,8	-	9,8	-	-	-	-	-	-	9,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11/07/2000	1,1	3,4	5,2	4,4	13,6	2,5	3,0	2,7	-	-	-	3,4	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,4	-	-	-	-	-	-	-	
12/07/2000	-4,0	-0,4	-0,8	-0,2	8,8	-1,8	-2,7	-	-	-	-0,6	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	
13/07/2000	-7,0	-2,4	-2,2	-2,2	3,2	-3,8	-4,9	-3,0	-	-	-1,6	-	-0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14/07/2000	-9,0	-5,6	-6,0	-4,5	-1,2	-7,2	-7,2	-	-	-	-5,3	-	-	-4,0	-4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15/07/2000	2,6	0,8	0,6	5,6	4,2	-	0,0	-2,6	-0,9	0,2	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16/07/2000	-5,0	-1,5	-0,6	0,0	7,2	-3,4	-3,9	-1,8	-	-	-1,4	-1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17/07/2000	-6,5	-3,1	-2,3	-3,6	4,4	-3,0	-4,4	-1,9	-	-	-	-2,0	-	-	-	-	-	-	-1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18/07/2000	-2,0	0,8	-3,8	-2,0	1,2	-3,4	-2,4	-	-2,0	-	-1,7	-	-	-2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19/07/2000	-2,0	1,2	1,4	3,2	5,4	-1,3	-1,0	-1,4	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	
20/07/2000	-5,0	-2,8	-4,1	-3,0	1,4	-2,5	-4,0	-	-	-	-2,3	-3,0	-2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

continua...

continuação

Tabela 2.5 - Temperaturas mínimas no Brasil

Data	Santa Catarina					Rio Grande do Sul																								
	Sao Joaquim	Campos Novos	Lages	Chapeco	Indaial	Cambara do Sul	Bom Jesus	Uruguaiana	Teutônia	Campo Bom	Lagoa Vermelha	Cruz Alta	Passo Fundo	Ibirubá	Bento Gonçalves	Camaquã	Triunfo	Santa Vitoria do Palmar	Irai	Rio Grande	São Luiz Gonzaga	Bage	Encruzilhada do Sul	Caxias do Sul	Passo Fundo	Santana do Livramento	Pelotas	Santa Maria	Torres	Porto Alegre
21/07/2000	0,0	-0,4	-2,6	4,4	1,6	-	-1,2	-	-1,0	0,3	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22/07/2000	7,0	9,2	6,8	9,8	8,4	-	5,4	4,0	-	-	6,0	-	-	-	-	-	-	6,0	-	-	-	6,0	-	-	-	-	-	-	-	
23/07/2000	-3,0	-0,2	0,0	2,2	10,2	-2,6	-2,0	-1,2	-	-	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	
24/07/2000	-6,0	-2,5	-3,4	-2,0	1,4	-4,1	-5,4	-	-	-	-3,2	-1,0	-1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25/07/2000	2,0	2,3	-0,4	3,8	2,0	-1,1	-1,5	0,8	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26/07/2000	1,0	2,4	0,0	5,4	4,6	0,2	-0,4	-	1,7	2,0	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27/07/2000	4,0	2,2	2,3	7,0	3,2	0,3	-	-	0,9	-0,1	-	-	-	-	-	0,7	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28/07/2000	9,0	2,0	4,6	9,0	7,4	4,0	2,4	-	1,8	2,1	-	-	-	-	-	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29/07/2000	9,6	4,2	3,7	11,8	6,8	-	-	5,1	4,7	-	-	-	-	-	4,4	-	-	-	-	-	-	4,6	-	-	5,5	-	-	-	-	
30/07/2000	7,8	11,4	9,9	12,6	11,0	-	-	4,4	-	-	-	-	-	-	7,1	-	-	-	-	-	7,9	6,0	-	-	5,6	-	-	-	-	
31/07/2000	7,0	7,7	5,9	12,4	12,3	6,8	6,4	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,4	-	-	7,0	-	-	-	-	
01/08/2000	8,2	-	10,2	11,4	12,8	8,2	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,5	-	-	-	-	9,6	-	-	9,8	-	-	-	-	
02/08/2000	8,8	-	10,6	15,0	13,2	-	8,8	-	-	10,2	-	-	-	-	-	9,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,6	-	-	-	
03/08/2000	5,2	-	10,0	13,4	14,2	4,8	5,0	-	-	-	-	-	-	-	4,8	-	3,3	-	-	-	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	
04/08/2000	-4,0	-	0,8	7,0	8,4	-3,8	-3,1	0,0	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	
05/08/2000	1,8	-	1,7	5,4	4,4	0,2	-1,3	-0,2	1,1	-	-	-	-	-	-	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06/08/2000	5,8	-	5,3	11,4	8,4	4,5	4,2	-	-	3,8	-	-	-	-	-	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,8	-	-	-	
07/08/2000	8,0	-	4,7	10,4	10,0	-	6,6	-	4,8	5,3	-	-	-	-	6,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,8	-	-	
08/08/2000	9,0	-	5,4	15,0	11,8	9,5	7,4	-	7,4	8,5	-	-	-	-	-	-	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09/08/2000	10,0	-	10,0	15,2	13,2	5,0	-	-	-	-	-	-	-	6,8	6,7	-	6,5	-	-	-	-	-	5,6	-	-	-	-	-	-	
10/08/2000	1,4	-	7,9	8,4	13,8	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5	-	-	-	-	-	2,0	2,6	-	-	1,9	-	-	-	-	
11/08/2000	-4,6	-	0,7	2,6	9,2	-2,5	-1,6	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	0,2	-	-	-	-	-	-	-	
12/08/2000	-6,0	-	-2,2	1,2	3,4	-5,5	-4,2	-	-	-	-2,6	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,0	-	-	-	-	-	-	-	
13/08/2000	0,6	-	2,9	8,6	4,8	0,5	1,8	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-	-	-	3,2	-	-	-	
14/08/2000	6,0	-	7,3	10,4	9,2	6,2	5,4	-	-	9,0	-	-	-	-	8,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,1	-	-	
15/08/2000	6,8	-	9,1	10,6	12,7	7,2	7,6	-	-	8,2	-	-	-	-	8,5	-	-	-	-	-	-	8,2	-	-	-	-	-	-	-	
16/08/2000	0,6	-	2,7	6,6	10,0	0,2	2,4	-	-	3,4	-	-	3,3	-	-	-	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17/08/2000	3,4	-	4,3	12,0	7,0	3,5	3,8	-	-	4,7	-	-	-	-	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	-	-	-	
18/08/2000	5,0	-	6,0	12,6	11,0	-	-	-	6,4	5,0	-	-	-	-	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,6	6,2	-	-	
19/08/2000	8,0	-	10,2	11,4	9,2	-	5,4	-	5,0	4,9	-	-	-	-	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8	
20/08/2000	9,4	-	4,7	12,6	9,3	-	6,4	-	-	8,7	8,6	-	-	-	8,9	-	-	-	-	-	-	-	8,5	-	-	-	-	-	-	
21/08/2000	12,0	-	5,4	14,4	13,0	8,9	-	-	9,2	9,6	-	-	-	5,4	8,5	-	-	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22/08/2000	12,5	-	7,9	16,4	14,8	-	11,5	-	11,0	11,8	-	-	-	-	10,0	-	-	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23/08/2000	14,2	-	9,9	20,0	13,5	-	-	-	-	12,1	-	-	-	-	11,6	10,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,0	12,0	
24/08/2000	12,5	-	11,2	19,8	15,0	13,2	12,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,5	13,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25/08/2000	14,6	-	12,4	21,2	13,2	12,2	-	-	-	-	-	11,6	-	-	-	9,6	11,3	-	-	-	-	-	-	-	-	11,9	-	-	-	
26/08/2000	9,0	-	13,2	13,4	13,8	8,0	-	-	-	-	-	-	8,2	-	-	-	6,3	-	-	-	-	-	8,8	-	8,5	-	-	-	-	
27/08/2000	6,5	-	10,4	11,6	14,0	5,2	-	-	-	-	-	-	3,4	-	-	-	5,2	-	-	-	6,0	-	6,2	-	-	-	-	-	-	
28/08/2000	5,2	-	9,8	9,2	11,8	3,9	-	-	-	-	-	-	-	4,7	-	-	4,0	-	-	-	3,8	-	-	-	1,5	-	-	-	-	
29/08/2000	2,0	-	2,0	4,8	12,4	-	-	-	2,9	-	3,0	2,8	-	0,2	-	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30/08/2000	5,0	-	3,0	8,4	9,4	-	-	-	2,9	3,1	-	-	-	-	4,5	-	2,6	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31/08/2000	6,8	-	10,0	13,2	15,1	8,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,4	-	-	-	8,1	7,1	-	-	7,0	-	-	-	-	
01/09/2000	5,0	11,0	11,4	11,4	12,8	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0	-	-	-	3,1	-	-	-	3,0	-	-	-	-	

continua....

continuação

Tabela 2.5 - Temperaturas mínimas no Brasil

Data	Santa Catarina					Rio Grande do Sul																											
	Sao Joaquim	Campos Novos	Lages	Chapeco	Indaial	Cambara do Sul	Bom Jesus	Uruguaiana	Teutônia	Campo Bom	Lagoa Vermelha	Cruz Alta	Passo Fundo	Ibiruba	Bento Gonçalves	Camaquã	Triunfo	Santa Vitoria do Palmar	Irai	Rio Grande	São Luiz Gonzaga	Bage	Encruzilhada do Sul	Caxias do Sul	Passo Fundo	Santana do Livramento	Pelotas	Santa Maria	Torres	Porto Alegre			
02/09/2000	4,8	9,0	8,3	12,6	12,2	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	-	0,5	-	-	-	-	-	0,0	-	-	-	-	1,2	0,8	-	-	-		
03/09/2000	4,8	8,2	9,3	9,2	12,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,9	-	1,5	-	-	-	2,4	-	-	-	-	3,6	2,2	-	-	-		
04/09/2000	3,0	8,8	7,6	9,2	11,4	2,2	-	-	4,1	-	-	-	-	2,2	-	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	-	-	-		
05/09/2000	2,0	4,5	7,0	9,4	9,4	3,8	4,8	-	-	-	6,9	-	-	-	-	7,0	-	5,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
06/09/2000	3,8	6,8	8,0	9,6	11,4	4,6	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,5	-	7,0	-	-	-	-	-	5,2	-	-	-		
07/09/2000	6,0	8,5	10,1	11,2	13,2	5,2	6,8	-	7,0	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,9	-	-	-	-	-		
08/09/2000	5,4	9,9	10,3	13,6	13,4	6,0	7,6	10,4	-	-	10,0	-	-	-	-	10,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09/09/2000	9,4	10,8	11,1	13,8	16,4	9,8	10,2	9,7	-	-	11,4	-	-	-	-	10,4	-	-	-	-	-	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10/09/2000	11,4	14,0	14,3	17,0	17,0	13,8	13,0	15,0	-	-	11,4	-	-	-	-	-	-	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11/09/2000	10,6	14,6	14,2	16,6	17,8	12,5	12,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,2	-	12,0	-	-	-	13,2	-	-	-	-	-	-	-	-	
12/09/2000	10,4	13,8	14,0	15,2	17,8	-	-	8,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,2	-	9,0	-	-	-	-	-	8,6	9,4	-	-	-	-	-	
13/09/2000	8,0	13,2	13,6	14,9	17,0	7,9	-	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,6	-	-	-	6,9	-	-	-	5,4	-	-	-	-	-	-	
14/09/2000	8,0	12,3	11,8	14,2	16,0	-	8,4	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	-	-	-	8,2	-	-	-	6,5	-	-	-	-	-	-	
15/09/2000	9,0	12,0	12,8	12,6	16,8	8,7	-	7,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,5	-	-	-	10,0	-	-	-	9,2	-	-	-	-	-	-	
16/09/2000	6,0	10,2	10,9	12,0	14,9	8,6	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,6	-	9,5	-	-	9,4	9,6	-	-	-	-	-	-	-	-	
17/09/2000	6,4	10,0	10,2	14,0	14,2	7,5	8,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,3	-	9,0	-	-	-	-	-	9,5	-	-	-	-	-	-	
18/09/2000	9,0	11,6	11,1	14,4	15,2	10,0	10,7	-	-	10,9	-	-	-	-	-	-	-	13,0	-	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19/09/2000	11,0	14,7	13,9	17,4	17,2	-	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-	12,8	-	10,8	-	12,5	-	-	-	-	-	-	13,4	-	-	-	-	-	
20/09/2000	12,4	13,0	13,8	17,4	17,0	13,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,0	-	9,9	-	12,6	-	-	12,6	-	-	-	13,0	-	-	-	-	-	
21/09/2000	12,0	14,6	14,1	14,2	18,2	10,2	11,0	-	-	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,4	12,4	-	-	-	-	-	-	-	
22/09/2000	7,0	10,4	10,1	11,6	14,9	8,0	8,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,7	-	-	-	9,0	-	-	-	9,6	-	-	-	-	-	-	
23/09/2000	7,5	11,0	9,5	12,6	14,2	6,2	7,8	-	7,1	9,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24/09/2000	3,4	8,1	7,1	10,0	15,2	4,2	4,8	-	-	-	6,4	-	-	-	-	-	-	6,7	-	-	-	-	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25/09/2000	-1,2	1,9	2,7	3,2	11,6	0,0	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7	1,2	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	
26/09/2000	-2,0	1,7	2,9	4,0	7,8	-2,1	0,2	-	1,0	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27/09/2000	3,0	4,3	4,9	6,4	9,6	3,4	2,6	-	4,5	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,7	-	-	-	-	-	-	
28/09/2000	6,0	8,2	10,0	11,4	14,2	5,6	7,3	-	-	9,1	9,6	-	-	-	-	7,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29/09/2000	7,5	12,5	12,3	15,2	16,6	8,0	8,6	-	10,0	-	-	-	-	-	-	9,7	-	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30/09/2000	12,0	14,2	13,9	18,4	17,4	9,9	12,2	-	12,0	-	-	-	-	-	-	12,2	-	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/10/2000	10,8	14,5	14,0	17,8	17,2	12,8	13,2	-	-	-	14,2	-	-	-	-	-	-	11,4	12,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/10/2000	11,6	15,2	11,3	17,8	16,4	12,7	11,8	-	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-	11,2	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03/10/2000	13,0	15,4	14,7	19,4	18,4	11,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,6	-	11,5	-	-	12,8	-	-	-	-	13,2	-	-	-	-	-
04/10/2000	12,0	14,0	15,3	15,2	18,2	11,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,2	11,8	-	-	-	-	-	-	13,5	-	-	-	-	-	-	-
05/10/2000	8,2	11,0	11,6	12,4	18,0	7,8	8,6	-	-	-	-	9,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06/10/2000	3,5	6,5	5,3	7,6	12,6	6,0	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,1	6,0	-	-	5,7	-	-	-	-	-	-	-
07/10/2000	5,0	8,6	5,0	8,6	13,4	3,1	3,8	-	6,0	-	7,0	-	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08/10/2000	3,6	6,8	10,0	11,2	14,4	4,9	5,2	-	6,9	7,8	-	-	-	-	-	-	-	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09/10/2000	9,2	12,5	11,8	17,4	16,4	8,7	10,5	-	10,4	11,6	-	-	-	-	-	-	-	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10/10/2000	12,0	15,3	15,4	17,0	18,6	10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,4	-	7,8	-	-	-	10,6	-	-	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-
11/10/2000	12,4	15,0	15,0	17,7	17,3	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,8	-	8,2	-	-	-	9,3	-	-	-	9,3	-	-	-	-	-	-	-

continua...

2.7. Cenário Mundial

A Tabela 2.6 apresenta a participação das fontes de geração de energia térmica para aquecimento distrital para vários países da Europa, destacando-se em amarelo a maior participação de cada fonte. Pode-se notar que a Islândia tem a maior participação da energia geotérmica para o aquecimento distrital.

No caso da Islândia, em 1999, a energia geotérmica, considerada uma fonte renovável, representava 98,7% da composição de fontes para a geração de calor, colocando o país como o que apresentava a maior fração de renováveis considerando o calor gerado per capita (WERNER, 2003).

Tabela 2.6 – Composição do fornecimento de energia para aquecimento distrital gerada durante 2003 em PJ térmico

PAÍS	Carvão e produtos de carvão	Produtos de petróleo	Gás natural	Nuclear	Geotermia	Energia solar e eólica	Combustíveis renováveis	Lixo	Eletricidade	Calor (a)	Total	% sobre o total
Austria	3,5	8,1	28,0	0,0	0,4	0,0	11,8	3,6	0,0	0,0	55,4	2,41
Bélgica	0,0	0,0	21,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,8	0,0	0,0	23,0	1,00
Bulgária	25,4	2,1	25,8	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,0	2,35
Croácia	0,0	3,9	9,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1	0,57
Chipre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Rep. Checa	96,6	6,7	38,6	0,0	0,0	0,0	2,6	2,7	0,0	0,0	147,2	6,39
Dinamarca	36,9	7,9	41,9	0,0	0,1	0,1	20,1	22,9	0,0	0,1	130,0	5,65
Estonia	8,1	2,6	11,9	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	25,6	1,11
Finlândia	70,2	13,2	47,6	0,0	0,0	0,0	30,8	8,5	0,1	0,0	170,4	7,40
França	14,0	14,0	52,8	0,0	4,4	0,0	1,3	18,3	2,4	1,7	108,9	4,73
Alemanha	132,3	16,3	211,3	0,0	0,4	0,0	0,0	26,6	0,0	3,7	390,6	16,97
Grécia	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,04
Hungria	12,4	3,7	46,4	0,7	0,3	0,0	0,2	0,4	0,0	0,0	64,1	2,78
Islândia	0,0	0,0	0,0	0,0	19,3	0,0	0,0	0,1	0,6	0,0	20,0	0,87
Irlanda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,00
Itália	2,4	1,4	12,3	0,0	0,5	0,0	0,7	1,9	0,2	0,3	19,7	0,86
Letônia	0,6	2,6	25,5	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	33,5	1,46
Lituânia	0,3	5,4	32,6	2,2	0,1	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	44,4	1,93
Luxemburgo	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,0	0,09
Malta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Holanda	4,8	2,3	99,7	0,0	0,0	0,0	0,2	7,8	0,0	0,0	114,8	4,99
Noruega	0,4	2,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,8	6,0	0,7	0,5	10,8	0,47
Polónia	335,5	8,8	20,2	0,0	0,0	0,0	2,8	0,9	0,0	0,0	368,2	15,99
Portugal	0,0	3,1	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	0,41
Romenia	32,6	34,4	83,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,0	0,0	150,8	6,55
Rep. Eslovaca	12,0	0,9	39,4	2,0	0,1	0,0	0,7	0,3	0,0	0,0	55,4	2,41
Slovenia	5,9	0,2	3,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	9,6	0,42
Espanha	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Suécia	18,5	15,1	8,0	0,0	0,0	0,0	77,7	21,2	9,0	35,8	185,3	8,05
Suíça	0,0	0,0	6,5	0,9	0,0	0,0	0,0	12,0	0,2	0,0	19,6	0,85
Turquia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Reino Unido	13,7	5,3	54,2	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	75,3	3,27
TOTAL	827,1	160,1	927,8	6,5	25,6	0,1	164,5	135,1	13,2	42,2	2302,2	100,00
% sobre o total	35,9	7,0	40,3	0,3	1,1	0,0	7,1	5,9	0,6	1,8	100,0	

(a) Se refere ao calor gerado em processos industriais exotérmicos

Fonte: (Euroheat & Power, 2005-2006)

Existe um potencial adicional considerável para plantas de cogeração, pois atualmente estas respondem somente por cerca de 10% da produção global de eletricidade. A Figura 18 mostra que somente alguns poucos países expandiram com sucesso o uso de cogeração para

30 a 50% da geração total de energia. Cada um destes países tem um enfoque particular, mas um elemento tem sido comum para todos os países com mercado de cogeração bem sucedido: a existência de uma política governamental focada no abastecimento de eletricidade e energia térmica. A sua experiência coletiva demonstra o que pode ser alcançado através de uma intervenção de políticas públicas sérias e bem implementadas.

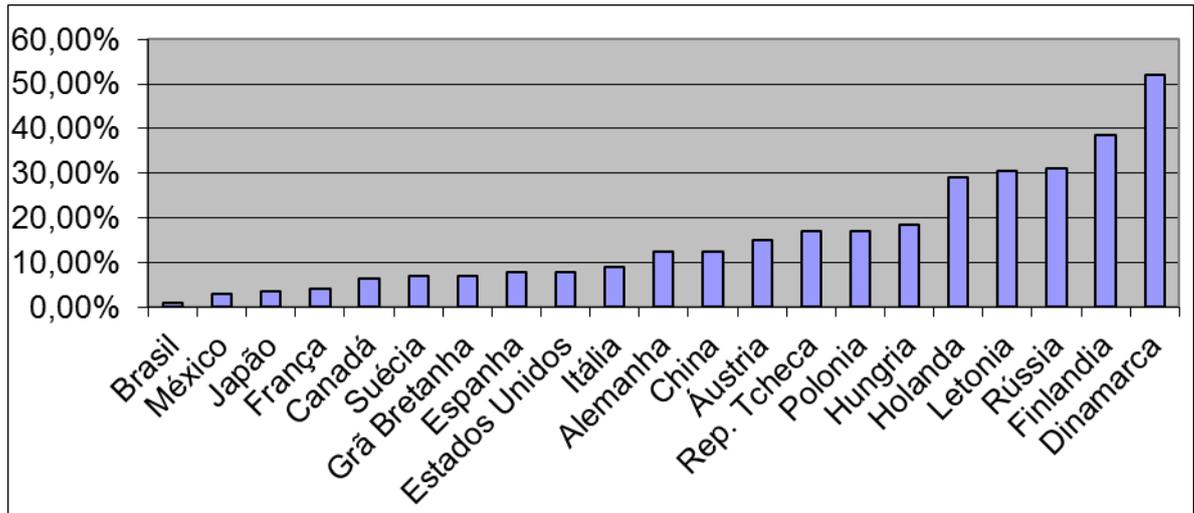


Figura 18 - Participação da cogeração (CHP) na produção nacional de energia
Fonte: (IEA, 2008)

A outra conclusão principal a partir da Figura 18 é que na grande maioria dos países, a cogeração representa somente uma parcela marginal na geração de eletricidade e calor. A Figura 19 mostra os resultados da análise do IEA, com relação ao grupo dos países do G13, no potencial econômico para cogeração em um cenário com políticas públicas de incentivo (o “cenário de cogeração acelerado do IEA”), que foca as políticas utilizadas em alguns dos mais bem sucedidos países para cogeração. Por volta de 2030, a participação de cogeração na geração de eletricidade dos países do G13 poderá crescer de 10% para cerca de 24%, se um regime de políticas públicas adequado for introduzido com base nas melhores práticas de políticas públicas para cogeração. Para as economias de crescimento acelerado como China e Índia, a participação de cogeração na geração de eletricidade poderá aumentar para 28% e 26% respectivamente por volta de 2030. Atualmente, a cogeração corresponde a aproximadamente 13% da eletricidade gerada na China e 5% na Índia (IEA, 2008). Este fato oferece uma excelente oportunidade para investimentos lucrativos em tecnologias de baixa emissão de carbono.

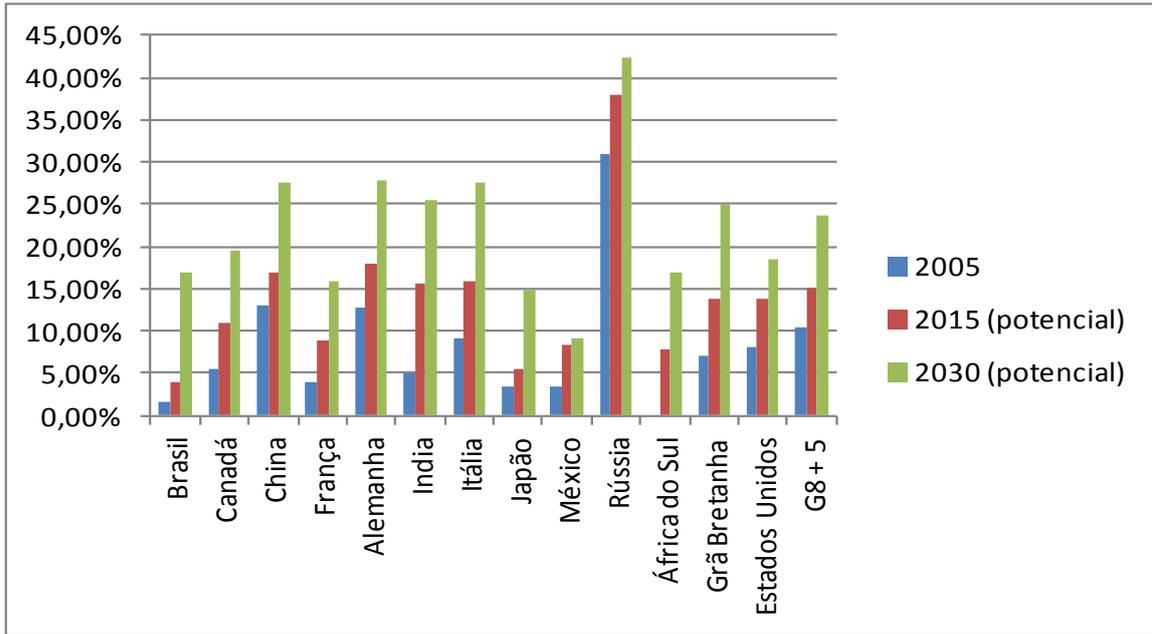


Figura 19 - Potencial de cogeração (CHP) das maiores economias sob um cenário acelerado para cogeração (CHP), 2015 e 2030

Fonte: (IEA, 2008)

Embora aproximadamente 40% da energia consumida seja para aquecimento e resfriamento de edifícios e fornecimento de calor para processos industriais, a maioria das políticas energéticas e climáticas tendem a deixar em segundo plano a energia térmica e a focalizar na eletricidade a partir de fontes renováveis.

3. PROPOSTA DE INCENTIVO ECONÔMICO E MECANISMOS DE INCENTIVO

O Aquecimento Distrital pode se enquadrar dentro das atividades da administração pública no que diz respeito à planificação, controle, regulamentação e desenvolvimento no setor de planejamento urbanístico e de energia.

A legislação atual na Europa prevê que a administração pública, seja a nível regional ou local, deve assumir um papel de condução da regulamentação, planificação e definição dos projetos de desenvolvimento de plantas de Aquecimento Distrital, em sintonia com os objetivos de economia de energia primária e de redução do impacto ambiental.

Por este motivo resulta particularmente importante afrontar o tema do aquecimento urbano através de redes (Aquecimento Distrital), que justamente por suas características específicas, representa uma tecnologia com reduzido impacto ambiental e com alta economia de energia primária. O Aquecimento Distrital também permite regular a utilização das fontes energéticas segundo a necessidade e disponibilidade local e fornecer aos consumidores finais um serviço de alta segurança e simples gestão.

O objetivo é também, de uma parte, chamar a atenção para os benefícios energéticos e ambientais que podem ser alcançados através do desenvolvimento das redes de Aquecimento Distrital, e de outra, indicar a importância de buscar instrumentos públicos de incentivo para a difusão de tal infraestrutura energética, também em consonância com as políticas públicas de redução da dependência energética de fontes fósseis e de emissões de gases de efeito estufa.

A concretização da difusão deste projeto poderia ser eficazmente suportada por um sistema de incentivo econômico destas redes, tanto mais necessário, quanto mais se pretende expandir este novo serviço na realidade urbana de cidades de pequena e média dimensão.

O critério que se pode propor é o de reconhecer o incentivo econômico em função da energia térmica a baixo impacto ambiental efetivamente produzida pela central. O benefício ambiental é constituído pela menor emissão de dióxido de carbono e redução do consumo de energia primária fóssil, com relação à simples produção de calor pela combustão de gás natural através de caldeiras individuais nos edifícios. Trata-se de um mecanismo já largamente adotado no setor energético e industrial. Na Itália, por exemplo, existe a portaria CIP-6/92, um certificado verde para produção de eletricidade a partir de fontes renováveis e títulos de eficiência energética. Na Itália também se verifica que o tipo de instalação que consente o fornecimento de aquecimento e água quente sanitária é predominante, o que

constitui um sintoma evidente de que a instalação das novas edificações se presta melhor a ser interligada a redes de Aquecimento Distrital.

Deve ser adotado um modelo (pode ser um programa de simulação de balanço energético-ambiental) que permita estimar corretamente os benefícios energéticos e ambientais do sistema de Aquecimento Distrital, e, portanto, atribuir com eficácia o incentivo público às iniciativas que realmente produzem estes benefícios. O método proposto na Itália permite desagregar a porção da central relacionada à quantidade de calor produzida exclusivamente para a rede de Aquecimento Distrital.

3.1. Política de incentivo ao Aquecimento Distrital e suporte financeiro às redes de Aquecimento Distrital

Cabe ressaltar que o que se apresenta a seguir é uma visão do panorama europeu, que pode servir de referência para a implantação do sistema de Aquecimento Distrital no Brasil.

No Brasil, políticas do tipo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) poderiam ser estendidas à implantação de sistemas de Aquecimento Distrital, com a condição de que utilizassem sistemas de produção de energia (por exemplo, centrais de cogeração) a partir de fontes de energia renováveis.

O obstáculo principal para a difusão dos sistemas de Aquecimento Distrital não está ligado aos aspectos tecnológicos, que já estão testados e são bem conhecidos, ou aos aspectos ambientais, mas sim aos aspectos culturais, financeiros e normativos. Do ponto de vista cultural, o Aquecimento Distrital é mais desconhecido e frequentemente confundido com os antigos sistemas centralizados de aquecimento, que devido à falta de sistemas de contabilização individual não tinham boa aceitação. Isto ainda ocorre mesmo nos países que já possuem tradição no seu uso.

Do ponto de vista financeiro, o único obstáculo é representado pelos custos iniciais para a realização da rede de distribuição, que garante um retorno econômico do investimento somente a médio ou longo prazo e, portanto, nem sempre são considerados vantajosos pelos investidores privados.

As administrações públicas locais poderiam incentivar os operadores privados para a realização de sistemas de Aquecimento Distrital, dentro das iniciativas de caráter imobiliário. O envolvimento dos operadores privados depende mais da sensibilidade e estratégia de cada administração pública para estabelecer o diálogo com os empreendedores.

Do ponto de vista normativo, existe de um lado a legislação fiscal, que permite utilizar impostos especiais (mais baixos). Por outro lado, a administração pública não pode obrigar os cidadãos residentes em edifícios já existentes a conectar-se ao serviço, mesmo no caso em que este serviço esteja disponível à porta dos usuários.

Diante do exposto, é sem dúvida útil uma intervenção do planejamento regional ou municipal para dar uma indicação clara de como atuar com relação à opção de considerar as redes de Aquecimento Distrital no plano urbanístico.

Pode ser levantada a discussão, com respeito ao sistema de Aquecimento Distrital, da vantagem em termos de sustentabilidade ambiental. Se por um lado é indiscutível a redução global de emissão de CO₂, pode aparecer alguma objeção sobre o impacto devido à produção combinada, isto é, também de energia elétrica, aumentando o consumo de gás, o que determinaria uma piora da qualidade do ar local. Para evitar esta objeção, a central termelétrica de cogeração deve ser projetada considerando fatores como: altura da chaminé adequada, sistemas de filtração, estudo da pluma de dissipação dos gases de exaustão da chaminé em função das condições locais de ventos, de forma a manter as emissões abaixo dos níveis definidos pelas normas locais.

Quando todas as condições são respeitadas, se pode atingir um nível de emissão local de poluentes inferior àquele representado pela soma das caldeiras convencionais que o sistema de Aquecimento Distrital substitui. O impacto sonoro destas centrais também não representa mais um problema em função da adoção de modernos sistemas de redução de ruído.

Entretanto, é importante ressaltar que o enfoque deste trabalho é mostrar a vantagem de utilizar uma central termelétrica em ciclo combinado (com finalidade principal de produção de energia elétrica) funcionando com cogeração e aproveitando a extração de uma quantidade de água quente de um estágio da turbina a vapor para realizar o Aquecimento Distrital.

A rede de transporte e distribuição de energia térmica é o meio necessário (ainda que não suficiente) para consentir ao setor de climatização de ambientes o acesso à energia térmica de baixo impacto ambiental.

A rede é necessária: na ausência desta, é de fato impossível, no estado atual da tecnologia, se ter acesso a utilização de energia a baixo impacto ambiental. Não é viável conseguir significativos benefícios ambientais recorrendo a sistemas difusos localizados em cada simples consumidor (por exemplo, através de centrais de microcogeração).

A rede, entretanto, desempenha unicamente a função de transferência de energia, e consequentemente, por si só, não é suficiente para produzir benefícios ambientais de ordem superior àqueles próprios de centrais distribuídas: a rede de distribuição deve ser acompanhada de um sistema de produção de energia térmica que faça uso de tecnologias com baixo impacto ambiental (uso de biomassa, sistemas de produção combinada eletricidade-calor, recuperação de energia distribuída, utilização de fluidos geotérmicos, etc.). As redes alimentadas unicamente de centrais que recorrem à combustão simples de fontes fósseis, ainda que capazes de realizar rendimentos de produção superiores àqueles das caldeiras de edifícios, produzem benefícios energéticos, e, portanto, ambientais, insignificantes, frequentemente inexistentes, quando não opostos (a rede, na realidade, pode “perder” mais de quanto “ganha” a combustão centralizada).

As redes são infraestruturas urbanas muito onerosas, que exigem investimentos iniciais consideráveis, e o são tanto mais, em termos relativos (investimento por unidade de energia térmica produzida), quanto mais é limitada a área de consumidores e mais baixa a densidade de edifícios.

Como referência, considerando uma densidade de edifícios equivalente, se observa que o custo específico (€/m³ de edifício interligado) de uma rede a serviço de um volume a ser aquecido de 500.000 m³ é cerca de 20 a 25% superior àquele de uma rede a serviço de um volume de 2.000.000 m³. (ENEA, 2008).

Um incentivo econômico às redes poderá se constituir como consequência, em uma ação eficaz de promoção do desenvolvimento do aquecimento urbano para cidades de médias dimensões.

3.2. Avaliação da economia de energia fóssil e emissões de CO₂ evitadas

Como mencionado anteriormente, deve-se utilizar um método que permita avaliar a economia de energia fóssil e emissões evitadas de CO₂ atribuídas a uma rede de Aquecimento Distrital alimentada de um mix qualquer de fontes energéticas. Uma proposta é confrontar o sistema de Aquecimento Distrital com o sistema energético convencional substituído.

O sistema energético substituído pelo Aquecimento Distrital e sistemas energéticos integrados compreende:

- O sistema térmico substituído (TS)
- O sistema elétrico substituído (ES)
- O sistema frigorífico substituído (FS)

O sistema térmico substituído

Uma rede de Aquecimento Distrital, produzindo calor a um dado distrito urbano, substitui a utilização (total ou parcial) das caldeiras nos edifícios (caldeiras convencionais) que produziriam a mesma quantidade de calor através da utilização de combustíveis fósseis, tais como: gás, óleo diesel, óleo combustíveis, gás liquefeito de petróleo (GLP).

O sistema elétrico substituído

Uma rede de Aquecimento Distrital, se alimentada também por centrais de produção combinada de eletricidade-calor (centrais de cogeração), pode permitir a transferência de certa quantidade de energia elétrica para a rede nacional. Tal sistema de Aquecimento Distrital substitui o Sistema Elétrico Nacional na produção de uma quantidade de energia elétrica equivalente.

O sistema frigorífico substituído

Uma rede de Aquecimento Distrital pode alimentar grupos frigoríficos a absorção (GFA) localizados nos edifícios que necessitam de energia térmica para refrigeração, como por exemplo, ar condicionado ambiente no verão. Em tais situações, podem-se utilizar verdadeiras redes de “telerefriamento”, isto é, redes enterradas que transportam água refrigerada (produzida em uma única central frigorífica) destinada à climatização de um dado distrito urbano no verão. Em ambos os casos, a energia térmica líquida para refrigeração fornecida aos consumidores substitui uma quantidade equivalente de energia que teria sido produzida através de grupos frigoríficos a compressão (GFC) alimentados pela rede elétrica nacional.

3.3. Consumo de energia primária e emissões de um sistema de Aquecimento Distrital

Um sistema de Aquecimento Distrital é por sua natureza um “Sistema Energético Integrado”, que pode compreender (e geralmente compreende) uma pluralidade de fontes energéticas: algumas utilizando combustíveis fósseis, outras fontes renováveis, algumas produzem calor através de combustão simples e outras através de sistemas de cogeração. Portanto, em tal sistema estão presentes a recuperação de energia dispersa proveniente de

processos industriais, utilização de energia geotérmica ou bombas de calor. Uma rede de Aquecimento Distrital é compatível com a utilização potencial de energia solar e com as fontes que se prevêem disponíveis a médio e longo prazo (célula combustível, hidrogênio).

A natureza do sistema energético integrado pode ser observada na Figura 20. Do lado esquerdo da figura se indicam o consumo de energia primária e emissões de um sistema de Aquecimento Distrital e do lado direito, o consumo de energia primária e emissões atribuídas ao sistema convencional substituído.

Para ter a correta definição do balanço energético e ambiental de uma central de cogeração a serviço de uma rede de Aquecimento Distrital deve-se identificar a energia elétrica efetivamente associada à energia térmica transferida à rede pela mesma central. Deve ainda ser avaliado o quantitativo de energia elétrica efetivamente proveniente de cogeração de uma central de ciclo combinado, no caso em que esta central opere também somente destinada à produção de energia elétrica.

Quanto ao ciclo combinado de grande porte (250/400 MWe) é evidente que seu escopo principal é produzir energia elétrica para o mercado, e em segundo lugar, produzir energia térmica para a rede de Aquecimento Distrital a qual está conectado.

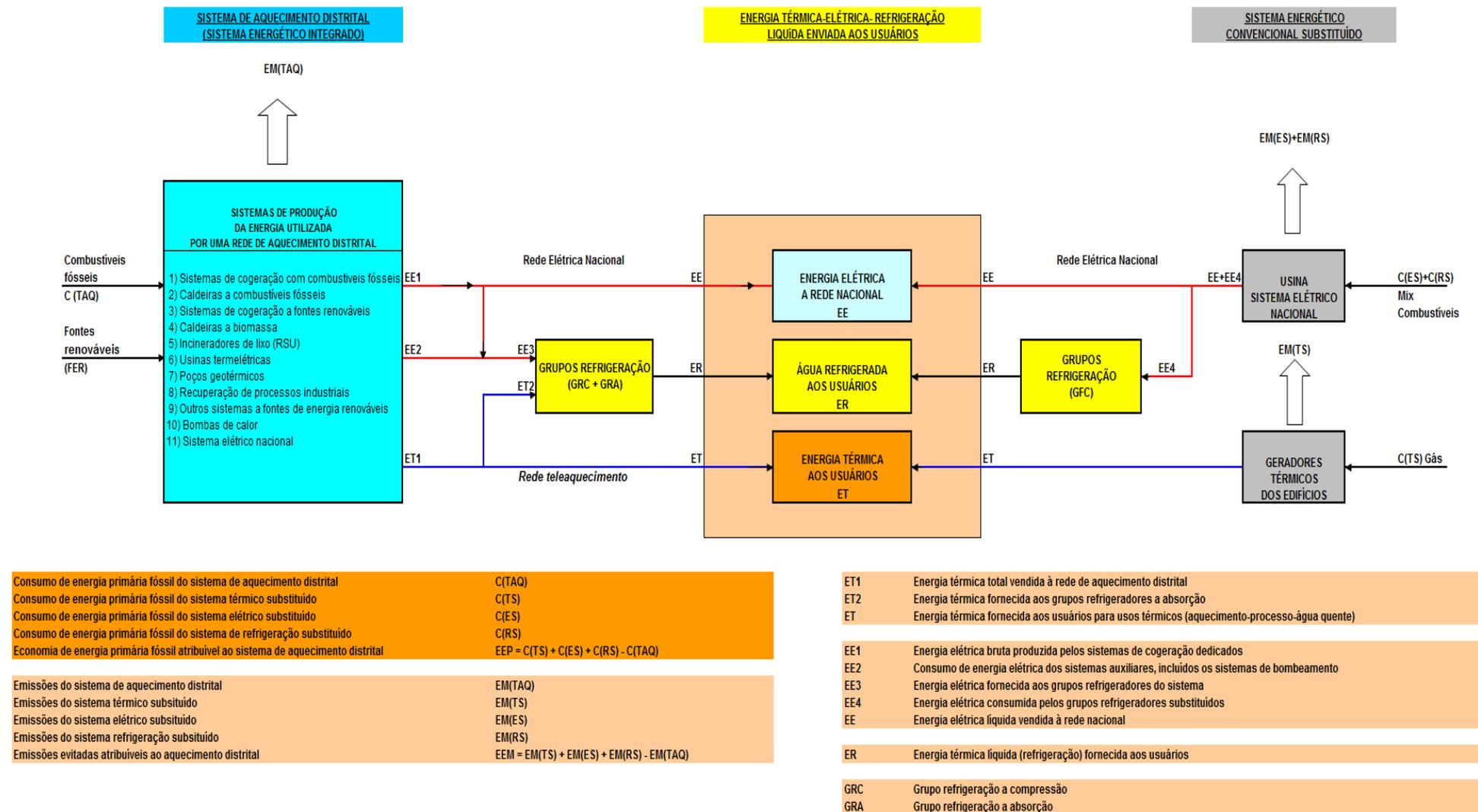


Figura 20 - Modelo energético-ambiental geral de um sistema de aquecimento urbano e do sistema convencional substituído. Fluxos energéticos e fontes de emissões

Fonte: ENEA (2008)

3.4. Sistemas de cogeração “dedicados” e “não dedicados” alimentados a combustíveis fósseis

Existem sistemas de cogeração “dedicados” alimentados a combustíveis fósseis. O termo “dedicado” se aplica a um sistema realizado com o escopo de alimentar uma rede de Aquecimento Distrital e, conseqüentemente, dimensionado em relação à carga térmica requerida por esta mesma rede.

Entretanto, a abordagem deste trabalho se concentrará sobre os sistemas de cogeração “não dedicados” alimentados a combustíveis fósseis.

Pertencem a esta categoria aquelas centrais de cogeração realizadas ou administradas predominantemente com finalidade diversa daquela de alimentar uma rede de Aquecimento Distrital, mas que se prestam (por um conjunto de circunstâncias: tipologia, tamanho, localização, regras impostas a título de medidas compensatórias, etc.) **também** a fornecer calor a uma rede de Aquecimento Distrital.

Como exemplos mais comuns nesta categoria de centrais, se podem citar:

- Extração de calor do ciclo termodinâmico de uma central termelétrica, realizada com o escopo de produzir energia destinada ao mercado elétrico. Estas centrais (sejam os antigos grupos a vapor, ou as recentes a ciclo combinado gás-vapor) podem facilmente fornecer energia térmica a uma rede de Aquecimento Distrital localizada dentro de uma distância compatível com os custos de transporte de calor. A extração de vapor da turbina tem impacto pequeno no rendimento do ciclo e a perda de energia elétrica é limitada. Esta varia na faixa de 0,14 a 0,25 kWh_e para cada kWh_t extraído (β), em função da pressão na qual se extrai o vapor e das condições termodinâmicas existentes no condensador. (ENEA, 2008).

β = perda de energia elétrica por unidade de energia térmica cogorada.

Na Tabela 3.1 se apresenta um exemplo para uma central termelétrica de cogeração em ciclo combinado.

Tabela 3.1 – Exemplo perda de energia elétrica por unidade de energia térmica cogeraada (β)

Estação do Ano	Potência Elétrica gerada (MWe)	Potência Térmica gerada (MWt)
Verão	382	0
Inverno	322	260
Variação	-60	260

Fonte: Central Termelétrica de Moncalieri – Torino – Itália – IRIDE ENERGIA S.p.A. (2005)

Neste caso $\beta = 60/260 = 0,23$

- Extração de calor de centrais de cogeração industriais que dispondo de um excedente de potência em relação às necessidades do estabelecimento a que estão a serviço, são capazes de destinar uma parte de sua potência a rede de Aquecimento Distrital localizadas nas proximidades.

Restringindo ainda mais o âmbito deste trabalho, será considerada somente a primeira das duas categorias supracitadas.

4. PROJETO E EXECUÇÃO DE UMA REDE DE AQUECIMENTO DISTRITAL

4.1. Projeto de uma rede de Aquecimento Distrital

Para projetar uma rede de Aquecimento Distrital o primeiro passo é definir a área que se deseja cobrir e que será objeto do estudo de viabilidade, que se articula em outras fases interdependentes, tal como exemplificado na Figura 24.

A fase principal do estudo é representada pela análise dos consumidores, cujo objetivo é estimar a demanda térmica do Aquecimento Distrital. Com base nisto se prossegue com a definição da localização da central, o traçado da rede, a tecnologia e o dimensionamento da central. Em função dos resultados obtidos nas fases precedentes se simula o funcionamento da central e se produz o balanço energético ambiental e a análise econômico-financeira.

Cada uma destas etapas encontra-se detalhada a seguir.

4.2. Identificação da área

Em linhas gerais é possível identificar as características que a área que se pretende cobrir com o Aquecimento Distrital deve possuir para que o projeto seja viável.

Estas características são:

- Uma boa densidade de edifícios, com edifícios de vários andares, de volume superior a 2000 a 3000 m³;
- Presença de instalações de aquecimento centralizadas;
- Utilização significativa de combustíveis líquidos.

As áreas de novas edificações ou de recuperação urbana representam por si só, uma condição ótima para a realização de uma rede de Aquecimento Distrital.

Em fase de urbanização de novas áreas, a instalação das tubulações é facilitada e a realização das conexões está menos sujeita às incertezas porque a aquisição dos usuários pode ser definida de modo agregado com as empresas construtoras. Neste caso se pode também definir um projeto integrado do Aquecimento Distrital com a instalação da parte dos usuários.

4.3. Análise dos consumidores e estimativa da demanda térmica para Aquecimento Distrital

O objetivo desta fase é estimar de forma mais precisa possível a demanda térmica global na área considerada e a demanda térmica para Aquecimento Distrital.

Uma vez identificada a área, o primeiro passo é a coleta de dados relativos aos edifícios, que são:

- Idade, tipo de construção, volume e tipo de uso (residencial, setor terciário, etc.);
- Número de instalações de aquecimento existentes, subdividas por tipo (centralizado ou autônomo) e combustível;
- Consumo de combustível (no mínimo nos três anos precedentes);
- Regime de propriedade.

Procede-se então à estimativa da demanda térmica na área, que pode ser realizada de duas maneiras:

- Inferida com base em dados de consumo de combustível;
- Reconstruída com base nas características do edifício (relação entre a superfície de dispersão / volume, área das superfícies com vidro, tipo de isolamento, etc.), tipo de uso e condições climáticas da localidade, normas (classe energética do edifício).

Consumidores tais como, hospitais, grandes edifícios públicos, centros esportivos, centros comerciais, ou indústrias que requeiram calor para o processo, necessitam de um estudo específico mais aprofundado. Em muitos casos as pequenas redes de Aquecimento Distrital são em uma primeira fase subordinadas a instalações esportivas públicas (particularmente as piscinas, que têm uma carga térmica estendida além da estação de inverno) e depois são gradualmente estendidas às áreas residenciais de nova expansão, e também às áreas já construídas.

A partir daí se procede a estimar a penetração do Aquecimento Distrital, separando a demanda térmica com base nas seguintes características do consumidor:

- Regime proprietário (privado ou público, neste último caso a conexão à rede de Aquecimento Distrital depende de decisões administrativas de consenso);

- Idade das instalações existentes (maior possibilidade de conexão para as instalações que devem ser substituídas porque estão atingindo o fim de sua vida útil);
- Tipo de instalação (maior possibilidade de conexão para as instalações centralizadas);
- Combustível utilizado.

Sendo esta a fase mais importante para a avaliação do projeto de Aquecimento Distrital, deve-se fazer uma aproximação por cenário, definindo um cenário principal e pelo menos outros dois cenários (situação mínima e máxima). Os resultados desta análise são:

- O total de energia térmica que será requerido na rede;
- A potência máxima dos consumidores particulares.

4.4. Dimensionamento do Sistema de Cogeração

Também o dimensionamento do sistema de cogeração em um sistema de Aquecimento Distrital representa uma fase muito delicada, porque une considerações técnicas, econômico-financeiras e comerciais (venda de energia elétrica nas melhores condições). Outro fator relevante é a estratégia que se pensa seguir para o funcionamento, nas várias condições de carga térmica e de faixas tarifárias impostas pelo órgão regulador de Energia Elétrica dependendo da estação do ano e da hora.

Um método útil para selecionar a capacidade do sistema de cogeração é compilar um diagrama que apresente a potência térmica requerida durante o ano, em função do número de horas em que esta potência se apresenta, ordenada da potência máxima à mínima. Nos casos mais comuns se pode simplificar a construção do diagrama fazendo hipóteses simplificativas sobre o andamento durante o dia e a semana, e se limitar a um valor médio de potência por mês. A capacidade do sistema de cogeração pode ser definida em correspondência a um número de horas suficiente para garantir a remuneração do investimento (em geral, no mínimo 4000 horas / ano).

Durante o verão a central de cogeração pode priorizar a produção de energia elétrica, até o limite de operar produzindo 100% de energia elétrica, o que não caracterizaria produção em cogeração.

O vapor na saída da turbina de média pressão passa através da válvula de desvio “V1” (*by-pass*) e entra na turbina de baixa pressão. Durante o inverno, esta válvula “V1” modula a

vazão de vapor para a turbina de baixa pressão em função da demanda de energia térmica que é controlada pela válvula “V2”. Deste modo, a vazão de vapor na turbina de baixa pressão pode ser modulada de 100% a 0% (“V1”), enquanto que a vazão complementar na válvula “V2” será modulada de 0% a 100% para produzir água quente para a rede de Aquecimento Distrital. Este controle de vazão na válvula “V2” é função da diferença de temperatura entre a alimentação e retorno da água quente para a rede de Aquecimento Distrital (ver Figura 21).

A água quente é entregue aos consumidores através de uma derivação da rede principal que alimenta um trocador de calor (na subcentral) para aquecimento do ambiente e produção de água quente sanitária. O controle de temperatura é feito através da válvula de três vias “V3”, em função da diferença da temperatura ambiente externa e da água de retorno (ver Figura 22).

Normalmente o limite de bateria da central de cogeração para Aquecimento Distrital é definido no flange do trocador de calor (ver item 4 da Figura 6). A rede de Aquecimento Distrital (tubulações e sistema de bombeamento) é de competência de outras companhias (distribuidoras), de maneira análoga ao que ocorre com os sistemas de geração e distribuição de energia elétrica.

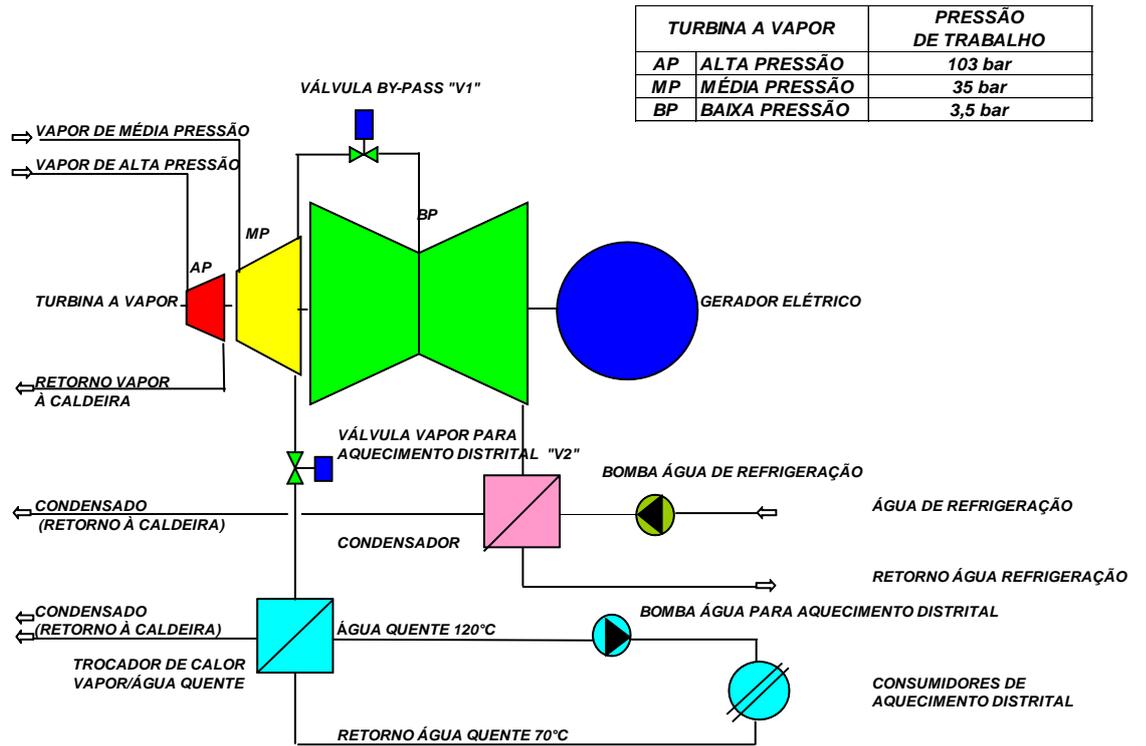


Figura 21 - Produção de Água Quente para Aquecimento Distrital

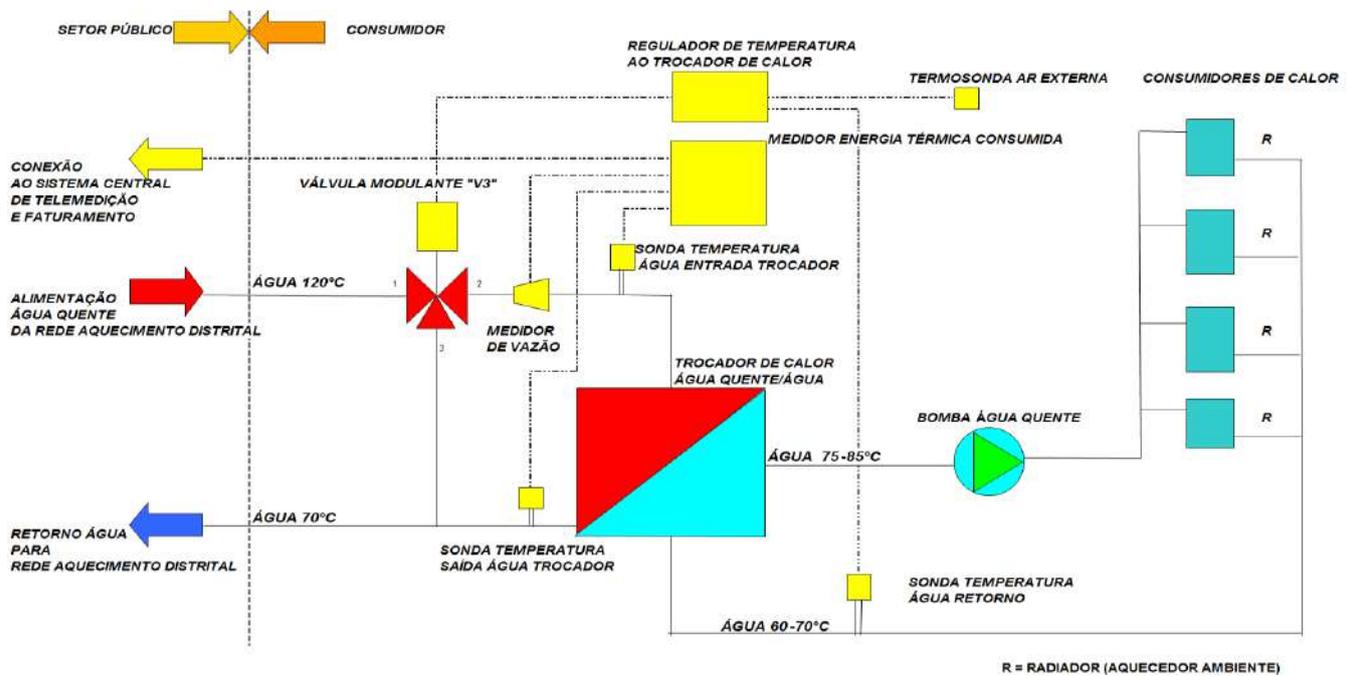


Figura 22 - Distribuição de Água Quente para os Consumidores

4.5. Localização das Centrais

O primeiro passo é verificar a possibilidade de conexão a centrais pré-existentes, ou a possibilidade de recuperar calor de indústrias, incineradores ou centrais elétricas. A seleção da localização da central deve ser efetuada tendo em vista atingir os seguintes objetivos:

- Minimizar o impacto ambiental (emissões, ruído) para os habitantes;
- Minimizar o percurso médio do calor transportado através do fluido termo vetor desde a central até os consumidores (posição o mais central possível em relação à área considerada);
- Minimizar os custos de fornecimento de energia primária (isto se verifica somente no caso de fontes como a biomassa ou geotermia);

Estes objetivos podem obviamente ser atingidos através de mais de uma central de produção de energia térmica para o Aquecimento Distrital.

4.6. Traçado e dimensionamento da rede

O traçado da rede pode ser dividido em:

- Rede primária (a rede dorsal, instalação subterrânea em solo público);
- Rede secundária (conexão a cada consumidor e trechos em propriedade privada).

Os diversos cenários de aquisição do consumidor, definidos em fase de estimativa da demanda térmica para Aquecimento Distrital, repercutem na extensão da rede secundária (por exemplo, a oferta de condições facilitadas para conexão pode fazer crescer a rede secundária).

O correto dimensionamento da rede primária (diâmetro das tubulações) é muito importante porque incide de maneira significativa sobre o custo total da planta.

O dimensionamento da rede depende dos seguintes parâmetros:

- Potência térmica, dependente do dimensionamento das cargas térmicas existentes e da previsão de futura expansão;
- Diferença de temperatura entre alimentação e retorno do fluido termo vetor (que pode ser água quente, água superaquecida ou vapor);

A vazão de fluido termo vetor (Q), também esta fundamental para o dimensionamento das tubulações, se determina como relação entre a potência térmica requerida pelos

consumidores (P) e o produto do calor específico do fluido (c) pela diferença de temperatura entre alimentação e retorno (ΔT):

$$Q = P / c \cdot \Delta T$$

Nos casos mais comuns, onde o fluido termo vetor é água quente, a sua velocidade na rede de Aquecimento Distrital é selecionada na faixa entre 1-2,5 m/s (velocidades muito baixas implicam em grandes diâmetros de tubulação, com conseqüente aumento da dispersão térmica, enquanto que velocidades muito altas produzem maior perda de carga). Normalmente, como primeira tentativa, se escolhe a velocidade inferior da faixa (1 m/s) e se seleciona o diâmetro comercial de tubulação mais próximo ao calculado. Desta forma se garante que a velocidade efetiva na tubulação estará dentro da faixa estabelecida. Estabelecendo como constante a velocidade do fluido termo vetor, o diâmetro dos tubos vai decrescendo à medida que se distribui a vazão através dos ramos da rede, desde o tronco principal até as derivações mais periféricas. É também necessária a instalação de sistemas de compensação das dilatações térmicas, que aumentam com o aumento da temperatura.

Todas as variáveis indicadas influenciam no diâmetro das tubulações (uma maior potência ou uma menor diferença de temperatura, resultam em uma maior vazão e, portanto, maior diâmetro), que repercute sobre o custo do sistema. Os custos da instalação aumentam com o diâmetro das tubulações, enquanto que os custos operacionais aumentam com o aumento da perda de carga, isto é, ao diminuir o diâmetro das tubulações para a mesma potência térmica.

Com a utilização de modernos tubos pré-isolados, as perdas de calor ao longo da rede são extremamente reduzidas, igual tipicamente a 3% da potência transportada na rede (0,1°C por quilômetro, se a diferença de temperatura entre alimentação e retorno for de 15 °C em uma rede de 5 km) (AESS, 2009). Ver Figura 23b.

Influenciam também na seleção do dimensionamento ótimo, hipóteses sobre eventuais extensões futuras da rede e a escolha da tecnologia na central de produção da energia térmica para o Aquecimento Distrital, que define o nível de entalpia máxima (produto do calor específico pela diferença de temperatura) do calor recuperável.

No que diz respeito à rede secundária, esta pode ter um horizonte de tempo mais longo para ser definida, sincronizado com os planos de aquisições dos usuários.



Figura 23a - Instalação de tubulações de uma grande rede de Aquecimento Distrital com visão da central termelétrica ao fundo (Lombardia – Itália)

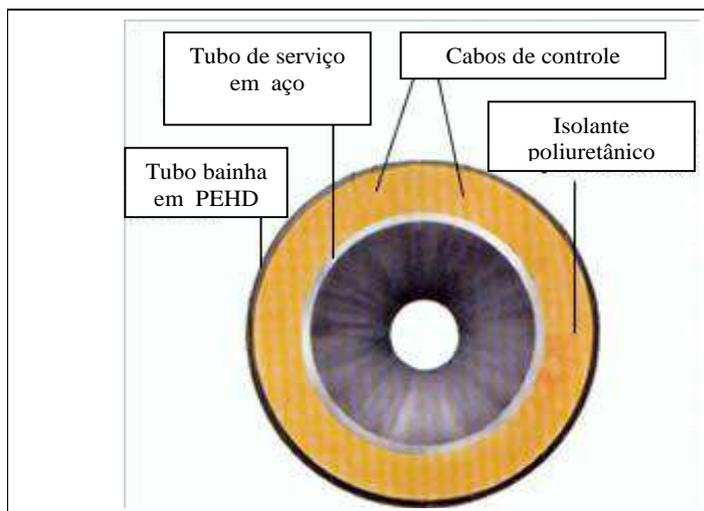


Figura 23b – Seção de um tubo para o Aquecimento Distrital

Figura 23 – Tubulações de uma rede de Aquecimento Distrital (Figuras “23a” e “23b”)

Fonte: (AESS, 2009).

4.7. Seleção do tipo de planta de geração de energia

Antes de proceder à definição do tipo de planta de geração de energia, é necessário efetuar uma seleção preliminar sobre o tipo de fontes de energia que se utilizará. Efetuada esta escolha, as tecnologias disponíveis são diversas, mas a mais adequada e, por este motivo mais difundida, é a cogeração a gás.

No caso da cogeração os fatores que influenciam a escolha são:

- A dimensão do sistema de Aquecimento Distrital;
- O nível de temperatura requerido na distribuição de calor;
- O nível de prioridade econômica que se quer atribuir à venda de energia elétrica.

A dimensão do sistema é determinada com base no diagrama horário da demanda de calor e às dispersões da rede, que devem ser somadas para obter a demanda térmica na central. Obtido o valor da potência térmica, se obtém o valor da potência elétrica com base na relação térmica / elétrica da tecnologia disponível.

Com base nos valores da potência elétrica (P_e), é possível definir quais são as opções tecnológicas disponíveis. De forma puramente indicativa para $P_e > 20\text{MW}$ a seleção recai sobre os ciclos combinados. (AESS, 2009).

Deve ser observado que a situação tecnológica se encontra sempre em contínuo aperfeiçoamento.

Também a escolha do nível de temperatura influi sobre a seleção da tecnologia de cogeração. Por exemplo, nos ciclos combinados há uma diminuição do rendimento elétrico ao aumentar a temperatura de recuperação do calor.

Uma vez selecionada a tecnologia, se passa ao dimensionamento dos componentes da central e a eventual subdivisão do módulo de cogeração em mais unidades. Um sistema modular permite adiar os investimentos com base nas conexões efetivas, bem como melhorar a capacidade de adaptação às variações de carga.

As centrais de produção podem, portanto, ser integradas com aporte de energia térmica proveniente de poços geotérmicos, caldeiras alimentadas de descarte de madeira ou biomassa agrícola e florestal, etc.

4.8. Simulação do funcionamento

Nesta etapa, uma vez definidos todos os dados de entrada necessários, se passa a simulação do funcionamento do sistema hipotético, através da utilização de um software específico ou de modelos predispostos em folhas de cálculo.

A simulação do funcionamento por um ano típico produz os seguintes dados de saída:

- Consumo de combustível
- Eletricidade produzida

- Eletricidade cedida à rede
- Calor produzido (de cogeração e de integração)
- Calor entregue aos consumidores
- Emissões

4.9. Balanço energético e ambiental

O objetivo da elaboração do balanço energético e ambiental é o de quantificar a economia de energia obtida e as emissões evitadas com o sistema de Aquecimento Distrital, em comparação à produção descentralizada convencional. Também se nem sempre resulta fácil efetuar esta avaliação em termos quantitativos exatos, o primeiro passo é estudar os sistemas convencionais que serão substituídos, seja em termos de consumo de combustível, seja em termos de emissões produzidas, conforme ilustrado na Figura 20. Confrontam-se então estes resultados com os obtidos das simulações de funcionamento da planta de Aquecimento Distrital.

4.10. Análise financeira e econômica

A análise financeira e econômica conclui o estudo de viabilidade e é uma fase de verificação decisiva para a efetiva realização do projeto.

Os principais itens de custo de um projeto para um sistema de Aquecimento Distrital são:

- A rede de distribuição;
- A central de produção de energia;
- O combustível;
- A manutenção e gestão da central;
- A manutenção e gestão da rede de transmissão de calor.

Os custos apresentam uma componente fixa e uma variável com a produção, e dependem, portanto, dos planos de aquisição dos consumidores.

As receitas da iniciativa são representadas pela venda de energia térmica e eletricidade (no caso de cogeração, que é o objeto deste trabalho).

A análise da conveniência econômica de uma planta de cogeração apresenta uma elevada sensibilidade às condições de interface com o sistema elétrico e com o do gás natural

(impostos, preços, tipo de contrato, etc.). Deve sempre ser considerado que os preços e tarifas do setor energético dependem dos mercados internacionais, freqüentemente submetidos a turbulências cíclicas.

As tarifas de Aquecimento Distrital praticadas para os consumidores finais são geralmente compostas de uma quota fixa anual, calculada com base na potência empenhada e uma quota variável, ligada ao consumo, que é atualizada periodicamente com base nos preços do gás natural aprovados pela autoridade regulatória para energia elétrica e gás. Os impostos são calculados de modo a gerar uma conveniência econômica para o consumidor em comparação ao sistema convencional.

Uma vez quantificado os custos e a receitas, se calcula o fluxo de caixa anual como a diferença entre as receitas e a soma das despesas (custos de operação e despesas de capital). O andamento do fluxo de caixa no tempo determina os índices econômicos de conveniência do investimento.

As etapas anteriormente descritas constituem o estudo de viabilidade apresentado na Figura 24.

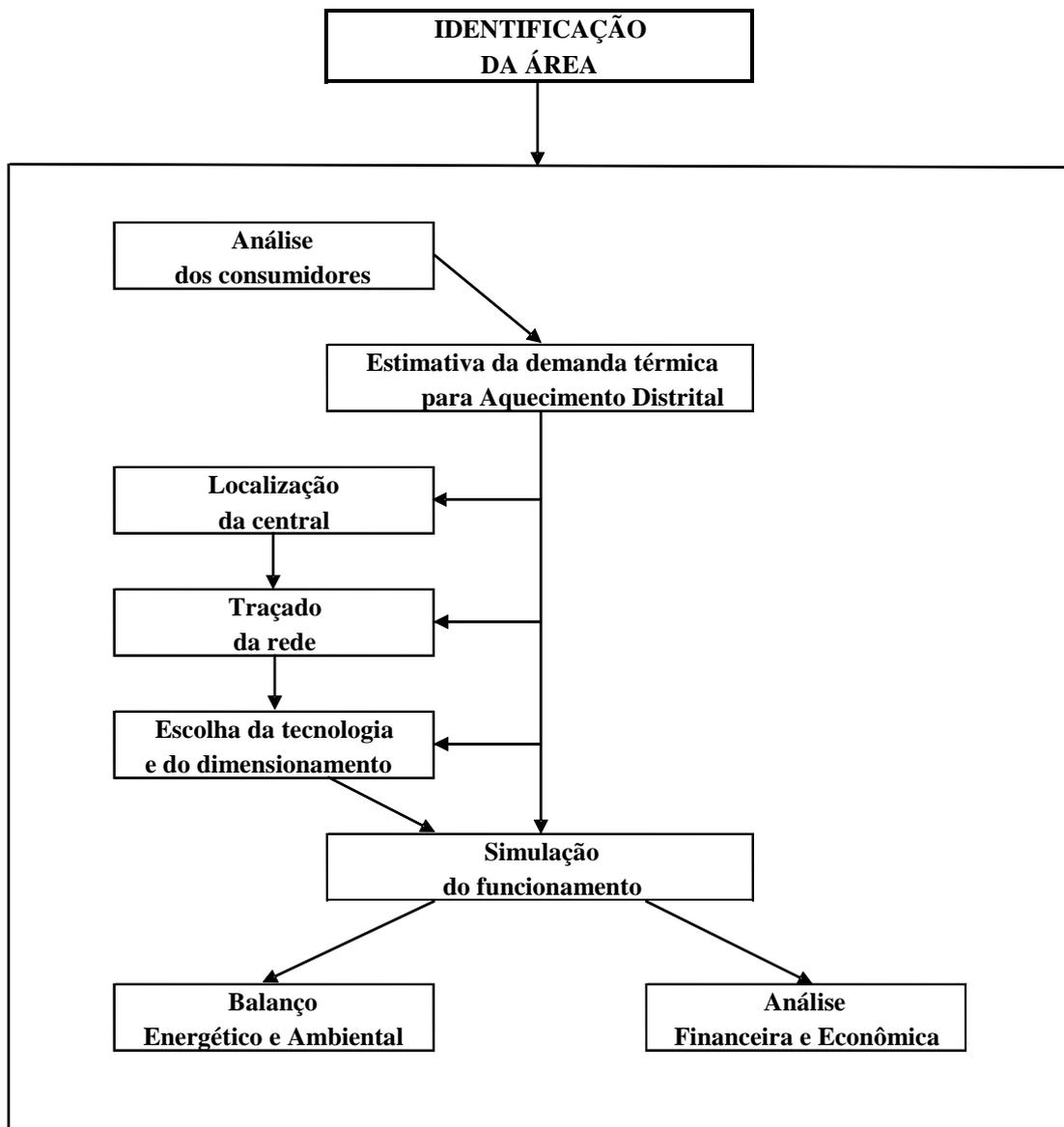


Figura 24 - Esquema Exemplicativo - Fases do Estudo de Viabilidade

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o objetivo de apresentar a tecnologia de plantas de cogeração (geração combinada de energia elétrica e térmica) e de Aquecimento Distrital (Teleaquecimento), demonstrando seus benefícios em termos energéticos e ambientais e sua ampla difusão na Europa e Estados Unidos, onde foram implantadas há mais de um século. Portanto, a cogeração (CHP) e Aquecimento Distrital (DH) representam uma série de tecnologias comprovadas, confiáveis e amplamente disponíveis, que têm dado uma importante contribuição para atender a demanda global de eletricidade e energia térmica. Devido a sua eficiência energética superior e utilização do calor desperdiçado e fontes de energia renováveis de baixa emissão de CO₂, as plantas de cogeração e Aquecimento Distrital já constituem uma parte importante nas estratégias das nações para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

O sistema de Aquecimento Distrital é um sistema de rede, alimentado de uma ou mais centrais, para o aquecimento à distância de uma cidade inteira ou de um bairro, e este serviço é similar a outros serviços públicos de redes (abastecimento água, gás ou energia elétrica), compreendendo, portanto, o transporte, distribuição, contabilização e faturamento aos consumidores.

Os ciclos combinados representam hoje a tecnologia termelétrica a cogeração mais avançada à disposição para utilização em Aquecimento Distrital, apresentando um alto rendimento global e também uma grande flexibilidade operativa, que permite balancear a produção térmica ou elétrica com base nas exigências da demanda.

Comprova-se uma tendência global em fazer uso cada vez maior de fontes renováveis de energia para a geração termelétrica. O Aquecimento Distrital permite utilizar todas as fontes energéticas disponíveis, integrando-as eficazmente. Na central termelétrica é possível queimar diversos combustíveis, de acordo com a maior conveniência econômica do momento e disponibilidade no mercado, quando da definição do projeto. Também é possível utilizar o calor recuperado de vários processos industriais, fornos incineradores de resíduos urbanos, ou de outras fontes energéticas renováveis, como biomassa (subprodutos agrícolas, descartes da indústria, etc.) ou fonte geotérmica.

Tendo-se em conta a eficiência energética, o Aquecimento Distrital é claramente a melhor solução para o aquecimento em áreas urbanas.

Ainda hoje, as políticas públicas para o clima e energia raramente consideram a energia térmica.

O Aquecimento Distrital pode se enquadrar dentro das atividades da administração pública no que diz respeito à planificação, controle, regulamentação e desenvolvimento no setor de planejamento urbanístico e de energia.

As administrações públicas locais poderiam incentivar os operadores privados para a realização de sistemas de Aquecimento Distrital, dentro das iniciativas de caráter imobiliário. O envolvimento dos operadores privados depende mais da sensibilidade e estratégia de cada administração pública para estabelecer o diálogo com os empreendedores.

É sem dúvida útil uma intervenção do planejamento regional ou municipal para dar uma indicação clara de como atuar com relação à opção de considerar as redes de Aquecimento Distrital no plano urbanístico.

As áreas de novas edificações ou de recuperação urbana representam por si só, uma condição ótima para a realização de uma rede de Aquecimento Distrital.

Em fase de urbanização de novas áreas, a instalação das tubulações é facilitada e a realização das conexões está menos sujeita às incertezas porque a aquisição dos usuários pode ser definida de modo agregado com as empresas construtoras. Neste caso se pode também definir um projeto integrado do Aquecimento Distrital com a instalação da parte dos usuários.

O Aquecimento Distrital, envolvendo o transporte e distribuição de energia térmica, permite o desenvolvimento de todo um mercado correlato a este serviço, como por exemplo, aperfeiçoamento dos medidores de energia, isolantes térmicos, sistemas de compensação de dilatação das tubulações, sistemas de monitoração de vazamento e supervisão das redes, bem como o estabelecimento de empresas para manutenção de redes.

O próprio Plano Nacional de Energia 2030 da EPE destaca que é imprescindível que os estudos de planejamento energético admitam e explicitem a integração dos recursos energéticos.

No caso do gás natural, sua evolução pode afetar tanto a formulação das estratégias de expansão do refino do petróleo, quanto o setor elétrico, seja pelo lado da oferta, como efetiva alternativa mundialmente reconhecida de produção de eletricidade, seja pelo lado da demanda, deslocando a energia elétrica no uso final, por exemplo, no aquecimento ambiental, aquecimento da água ou principalmente nos processos industriais.

Apenas com o objetivo de ilustrar alguns aspectos cotidianos do aproveitamento do calor, pode-se observar que, quando se considera o aspecto de eficiência energética, existe no Brasil um desperdício de energia térmica que poderia ser aproveitada utilizando recursos

muito simples. Para mencionar apenas alguns exemplos, se pode tomar o caso dos telhados das casas e edifícios, que poderiam utilizar mais amplamente a energia solar térmica e também o caso das padarias e pizzarias, que poderiam aproveitar o calor gerado em seus fornos para o aquecimento da água, como já era usual nos sítios e fazendas, onde se aproveitava o calor dos fogões a lenha para aquecer a água, através da instalação de serpentinas de cobre.

A eficiência no uso da energia, em especial da energia elétrica, faz parte da agenda mundial desde os choques no preço do petróleo da década de 70, quando ficou claro que o uso das reservas fósseis teria custos cada vez mais altos, seja do ponto de vista econômico e comercial, seja do ponto de vista ambiental. Logo se reconheceu que o mesmo serviço (iluminação, força motriz e os usos que proporciona, como aquecimento, condicionamento ambiental, equipamentos eletroeletrônicos, etc.) poderia ser obtido com menor gasto de energia e conseqüentemente, com menores impactos econômicos, ambientais, sociais e até mesmo, culturais. Equipamentos e hábitos de consumo passaram então a ser analisados também sob o ponto de vista da conservação da energia e demonstrou-se que muitas medidas na direção de uma maior eficiência energética eram economicamente viáveis, ou seja, o custo de sua implantação era menor que o custo da energia cujo consumo seria evitado.

A conveniência técnico-econômica para a realização de uma planta de cogeração não pode prescindir de uma análise específica e acurada da demanda da carga elétrica e térmica requerida pelos consumidores. A análise deve avaliar a potência máxima requerida, curva de carga diária, mensal e sazonal. Este fato faz com que a aplicação de um sistema de cogeração não possa absolutamente ser genérica, ou seja, a escolha da tecnologia, porte e modalidade de gestão adequados para o empreendimento deve ser avaliada caso a caso.

O trabalho também visou chamar a atenção para o fato de que ainda não existe no Brasil este tipo de aplicação (Aquecimento Distrital) para as centrais de cogeração. Entretanto, o levantamento de dados meteorológicos das cidades mais frias da região sul do Brasil evidencia um potencial para a implantação de redes de Aquecimento Distrital, uma vez que estas cidades apresentam baixas temperaturas (≤ 10 °C) durante um período de tempo significativo (129 dias no caso da cidade de São Joaquim).

Uma proposta para o Brasil é que seja considerado que a exemplo de outros países, onde os programas foram bem sucedidos, é importante a existência de uma política governamental focada no abastecimento de eletricidade e também de energia térmica.

O primeiro passo seria a divulgação da tecnologia de Aquecimento Distrital e de seus benefícios para os órgãos governamentais de decisão das políticas energéticas em todas as

esferas (federal, estadual e municipal), evidenciando também as aplicações mais simples de aproveitamento de calor e suas vantagens do ponto de vista de eficiência energética e redução do impacto ambiental.

As políticas de incentivo podem ser mais efetivas se os potenciais usuários estiverem conscientes de que a oportunidade para o Aquecimento Distrital existe e as tecnologias emergentes estão maduras o suficiente para serem aplicadas em base comercial.

Os fatores chave de sucesso são:

- Envolver no desenvolvimento do projeto todos os principais interessados.
- Ser acompanhado de políticas de incentivo efetivas.
- Ter como alvo os grupos usuários de energia mais adequados.

É igualmente importante:

- Identificar prioridades: definir plantas de alta eficiência e introduzir garantias de origem (eletricidade / energia térmica gerada a partir de plantas de cogeração de alta eficiência) assegura que o suporte seja direcionado para os melhores projetos.
- Conhecer o ponto de partida: analisar o potencial da Cogeração e Aquecimento Distrital auxilia os responsáveis por políticas públicas a estabelecer metas realistas e a elaborar uma legislação efetiva.
- Permitir a diversidade: deixar a implementação de medidas detalhadas para cada Estado assegura que as novas políticas reflitam as condições locais.

Uma lei poderia requerer que as municipalidades executassem estudos do potencial para o Aquecimento Distrital nas suas jurisdições, permitindo uma distribuição mais efetiva das redes ao longo do país para serem planejadas a nível nacional. A partir daí, pode-se elaborar um planejamento estratégico e incentivos financeiros, que funcionam em conjunto para criar condições de mercado adequadas. O plano estratégico poderia inclusive incluir uma obrigação para se conectar ao Aquecimento Distrital ou um veto ao aquecimento elétrico.

Outros incentivos para a Cogeração e Aquecimento Distrital poderiam ser:

- Tarifas diferenciadas para os combustíveis para aquecimento individual e distrital.
- Uma tarifa para o fornecimento de energia elétrica produzida por cogeração com bônus para utilização de biomassa ou biogás.
- Existem casos onde fornecedores de energia locais oferecem incentivos financeiros para os clientes instalarem plantas de cogeração, por exemplo, um

fornecedor de gás que oferece desconto de um determinado valor no preço do gás por kWh de eletricidade gerada através de cogeração.

A exemplo de outros países significa ter um regime planejado a nível nacional, mas envolvendo forte participação local e municipal na fase inicial do desenvolvimento do programa. Isto cria um objetivo estratégico claro, a partir do qual incentivos financeiros são introduzidos para assegurar a viabilidade econômica da Cogeração e do Aquecimento Distrital.

Um estudo aprofundado de viabilidade técnico-econômica para o caso brasileiro não foi considerado no escopo do presente trabalho, particularmente devido à multiplicidade de situações a serem analisadas, devendo ser realizado com estudos específicos. A determinação da viabilidade econômica é mais complexa porque requer não somente um balanço contábil das receitas, despesas e investimentos, mas também o estabelecimento de diferentes cenários futuros e a valoração das externalidades relacionadas a outros serviços ambientais prestados. Esta pode ser uma proposta para um futuro trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente (ARPA). Disponível em:<
<http://www.arpa.emr.it/liberiamo/index.asp>> Acesso em: 28 jan.2012.

Azienda Energia e Servizi Torino S.p.A (AES). **Teleriscaldamento e Cogenerazione Distribuita**. Seminário. Ordine Ingegneri Napoli. Napoli, Italia, 2007

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Seção 6, p.189.

CEN/CENELEC Workshop Agreement. **Manual for Determination of Combined Heat and Power (CHP)**. Ref. No.:CWA 45547:2004 E – Belgium, Brussels, 2004.

Ente per le Nuove tecnologie, l’Energia e l’Ambiente (ENEA). BOTTIO, I. et al. **Teleriscaldamento e Sistemi Energetici Integrati. Metodologia di valutazione dei benefici energetici ed ambientali e strumenti di incentivazione**. Roma, Italia, 2008.

Disponível

em:<http://www.enea.it/produzione_scientifica/pdf_volumi/V2009_08_Teleriscaldamento.pdf> Acesso em:19 nov.2010.

Euroheat & Power – The International Association of District Heating and Cooling. **Ecoheatcool Work Package 4. Possibilities with more district heating in Europe - Final Report**. Brussels, Belgium, 2005-2006. Disponível em:<
http://www.euroheat.org/Files/Filer/eoheatcool/documents/Ecoheatcool_WP4_Web.pdf> Acesso em: 10 dez.2011.

GARRIDO, S.G.; CHICO, D.F. **Cogeneración. Diseño, Operación y Mantenimiento de plantas.** España: Díaz de Santos, 2008. Cap. 1 e 2, p.17,36,53.

Helsingin Energia. **Application for the International District Energy Climate Award. Helsingin Energia's smart CHP/DH system – the most energy-efficient solution for heating Finland's capital.** Helsinki, Finland, 2011. Disponível em:<[http://www.districtenergyaward.org/download/awards2011/Modernization Finland Helsinki 2011.pdf](http://www.districtenergyaward.org/download/awards2011/Modernization_Finland_Helsinki_2011.pdf)> Acesso em: 06 out.2011.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Valores Extremos.** Disponível em:<[http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=Valores Extremos](http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=Valores_Extremos)> Acesso em: 10 dez.2011.

International Energy Agency (IEA). **Cogeneration and District Energy – Sustainable energy technologies for today and tomorrow.** Paris, France, 2009. Disponível em:<<http://www.iea.org/files/CHPbrochure09.pdf>> Acesso em: 16 set.2011.

International Energy Agency (IEA). **District heating and CHP in Russia: Room for improvement,** 2009 Disponível em: <<http://www.cospp.com/articles/print/volume-10/issue-6/features/district-heating-and.html>> Acesso em: 06 out.2011.

International Energy Agency (IEA). **District Heating and Cooling: Environmental Technology for the 21st Century.** In: 38th meeting in Copenhagen, 16.05.2002. Disponível em: <http://www.iea-dhc.org/download/Policy%20paper%20District%20Heating%20in%20the%2021st%20century%20FINAL.pdf>> Acesso em: 06 out.2011.

IRIDE ENERGIA S.p.A. **Dichiarazione Ambientale Anno 2006. Centrale Termoelettrica di Moncalieri.** Torino, Italia, 2007. Disponível em: < [http://www.iride-energia.it/Immagini/File_Gallery/Dichiarazione Ambientale 2006 ver 6 Definitiva file ridotta.pdf](http://www.iride-energia.it/Immagini/File_Gallery/Dichiarazione_Ambientale_2006_ver_6_Definitiva_file_ridotta.pdf) > Acesso em: 19 ago.2010.

IRIDE ENERGIA S.p.A. **Dichiarazione Ambientale. Aggiornamento informazioni ambientali anno 2007 della Dichiarazione Ambientale anno 2006. Centrale Termoelettrica di Moncalieri.** Torino, Italia, 2008. Disponível em: <[http://www.iride-energia.it/Immagini/File_Gallery/Aggiornamento DA 2007 ver3.pdf](http://www.iride-energia.it/Immagini/File_Gallery/Aggiornamento_DA_2007_ver3.pdf)> Acesso em: 19 ago.2010.

Ministero delle Attività Produttive e Ministero dell' Ambiente e Tutela del Territorio. Rete Nazionale delle Agenzie Locali per L'Energia (RENAEL) e Agenzia per l'Energia e lo Sviluppo Sostenibile (AESS) di Modena. MAZZA, M.; ANTINUCCI, M. **Vademecum sulle tecnologie del risparmio energético. Campagna di informazione, comunicazione ed educazione a sostegno delle fonti rinnovabili, del risparmio e dell'uso efficiente dell'energia.** Modena, Italia, 2009. Disponível em: <<http://www.apevv.it/store/20090327-1242-Teleriscaldamento.pdf>> Acesso em: 19 ago.2010.

New York City Global Partners. **Best Practice: District Heating System. Copenhagen.** Report Updated: May 25, 2011. Disponível em: <http://www.nyc.gov/html/unccp/gprb/downloads/pdf/Copenhagen_districtheating.pdf > Acesso em: 06 out.2011.

THORNTON, Robert P. International District Energy Association. **Copenhagen's District Heating System – Recycling Waste Heat Reduces Carbon Emissions and Delivers Energy Security.** Westborough, MA, USA, 2009. Disponível em: <<http://www.metrovancouver.org/services/solidwaste/planning/ReportsforQA/IDEACopenhagenDistrictHeating.pdf>> Acesso em: 06 out.2011.

WÄRTSILÄ Corporation. Brochure. **Combined Heat and Power**. Helsinki, Finland, 2009.

WERNER, S. **The Position of District Heating in the World and the Corresponding Use of Renewables**. Department of Energy Systems Technology, Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden, 2003. Disponível em: <<http://www.nordiq.se/pdf/PositionofDH.pdf>> Acesso em: 06out.2011.

World Energy Council. **Regulating District Heating and Cogeneration in Central and Eastern Europe**. ISBN 0 946121 13 3. London, United Kingdom, 2004.