
Anexo V - Resumo Técnico do Projeto

P311 - Projeto conceito District Heating: Tipologias aderentes, projeto básico e estudo de implementação com análise de viabilidade técnica e financeira, com aplicações do gás natural - Ciclo 2024/2025

Eng. Rafael Gonzalez Ruiz¹, Msc. Pedro Luis de Avila², Carlos Alberto Ortega²,
Leandro Paiva Braga²

Comgás¹
SENAI-SP²

Resumo: O Projeto P-311 teve como objetivo avaliar e priorizar os arranjos tecnológicos possíveis de serem aplicados em condomínios residenciais considerando o conceito de 'District Power, Heating and Cooling', ou 'Distritos de Energia'. O conceito de um Distrito de Energia é fornecer energia elétrica, água quente e climatização para um conjunto de usuários (por exemplo, as residências de um condomínio), com a geração centralizada dessas utilidades. O trabalho considerou como fonte de energia principal o gás natural, e a complementação energética da energia solar. O escopo do trabalho considera a avaliação da tipologia (descrição das características construtivas, padrão, porte e tipos de uso dos condomínios), das tecnologias possíveis (aquecedores de passagem, caldeiras, motores a gás, CHP, GAHP, bomba de calor, etc.), e a definição dos arranjos tecnológicos possíveis (associação entre a tipologia e a(s) tecnologia(s)). Para a comparação dos arranjos tecnológicos foram estabelecidos 10 critérios (3 quantitativos e 7 qualitativos): viabilidade econômica, eficiência energética, consumo firme, sustentabilidade, flexibilidade, disponibilidade, segurança, facilidade de implementação, replicabilidade e resiliência. Após a pontuação dos arranjos tecnológicos pela equipe de especialistas envolvidos no projeto, foi utilizado o método de avaliação multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) para estabelecer estratégias de priorização dos arranjos, conforme determinadas premissas. Por fim, foi desenvolvido um pré-projeto executivo para um arranjo selecionado.

Palavras-chave: District Power, Heating and Cooling; Gás Natural; Condomínio Residencial; Analytic Hierarchy Process.

1 Introdução

Os Romanos foram a primeira civilização a descobrir os benefícios da água quente canalizada, e a usavam em suas casas de banho comunitárias. Mas foi no século 14, na França, o primeiro sistema real de district heating de que se tem registro, que atendia cerca de 30 residências na cidade de Chaudes-Aigues.

A partir da segunda metade do século 19, iniciaram os primeiros projetos nos Estados Unidos e Europa. Mas foi a partir da metade do século 20, com a maior disponibilidade de gás natural nos Estados Unidos, e influenciado pelas crises do petróleo na Europa, que começam os District Heating and Cooling (DHC) começam a ser mais difundidos.

Um estudo da IRENA, intitulado “RENEWABLE ENERGY IN DISTRICT HEATING AND COOLING” apresenta alguns dados interessantes sobre a utilização atual do conceito em alguns países do mundo.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi estabelecer e avaliar arranjos tecnológicos possíveis de serem aplicados em um projeto de Sistema Distrital de Energia (District Power Heating and Cooling) para aplicação em edificação residencial, considerando as tipologias construtivas aderentes, as soluções tecnológicas aplicáveis, e utilizando o gás

natural como energético principal.

Esse estudo foi motivado pela possibilidade de promover uma maior eficiência energética no uso do gás natural, analisando a possibilidade do fornecimento combinado de calor (em forma de água quente), energia elétrica (promovendo interface com renováveis e/ ou cogeração) e frio (água gelada, climatização), a consumidores presentes em uma determinada área geográfica (como um condomínio horizontal, por exemplo), que aqui conceituamos como distrito.

A metodologia aplicada no desenvolvimento do estudo seguiu os seguintes passos:

- 1) Caracterização das principais tipologias construtivas em edificações residenciais, como por exemplo: condomínio residencial horizontal; condomínio residencial vertical; condomínio residencial misto (vertical + horizontal);
- 2) Identificação das tecnologias possíveis de serem aplicadas nas diversas tipologias construtivas, considerando o atendimento das demandas de calor, frio e eletricidade, utilizando como fonte de energia o gás natural, bem como tecnologias de aproveitamento da energia solar;
- 3) Definição de 10 arranjos tecnológicos a partir da associação da tipologia construtiva com as tecnologias aplicáveis, conforme a demanda de

utilidade (calor, frio e eletricidade) a ser atendida;

4) Estabelecimento de critérios de comparação para aplicação da análise multicritério, utilizando o método AHP (Analytic Hierarchy Process), visando estabelecer uma priorização entre os arranjos tecnológicos definidos na etapa anterior; e

5) Desenvolvimento de um projeto pré-executivo para um dos 10 arranjos, selecionado a partir da priorização estabelecida na etapa anterior.

2 Tipologias Construtivas

A demanda global por soluções energéticas mais sustentáveis e eficientes tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas inovadores para climatização de edifícios. Entre essas soluções, os sistemas de District Power Heating and Cooling (DPHC), ou aquecimento e resfriamento distritais com geração complementar de eletricidade, destacam-se como uma alternativa promissora para reduzir o consumo de energia e as emissões de gases do efeito estufa.

Para a caracterização das tipologias foram considerados os seguintes aspectos:

- Processos construtivos
- Legislação e normas
- Tendências de mercado
- Transição energética

Para a definição dos perfis de consumo de utilidades foram avaliados os seguintes fatores:

- Geográficos
- Climáticos
- Sociais
- Econômicos
- Ambientais

Para a avaliação de um arranjo tecnológico, o projeto hipotético proposto trata de um condomínio horizontal de médio padrão, localizado em uma área total de 15.000 m². Este empreendimento foi planejado para oferecer conforto e praticidade aos seus moradores, com 32 unidades residenciais, cada uma com 70 m², idealmente projetadas para acomodar famílias de até quatro pessoas.

Cada unidade conta com uma infraestrutura robusta de água quente, com dois chuveiros e quatro torneiras, garantindo o máximo de conforto e conveniência diária. Além disso, o condomínio oferece uma ampla piscina com capacidade de 50 m³, e uma sauna moderna com capacidade de 27 m³, proporcionando um espaço de bem-estar para todos os residentes.

O sistema de climatização foi projetado para atender a todas as necessidades dos moradores, com cobertura de 70 m² por unidade tanto para água quente quanto para água fria, assegurando um ambiente sempre agradável em todas as estações do ano.

Em termos de energia elétrica, cada unidade é

equipada com 120 pontos, garantindo eficiência energética e suporte a todos os eletrodomésticos modernos. O condomínio, por sua vez, dispõe de 500 pontos de energia elétrica, assegurando o funcionamento ideal das áreas comuns e de lazer.

O condomínio hipotético representa o equilíbrio entre conforto, funcionalidade e sustentabilidade, oferecendo residências para aqueles que buscam qualidade de vida em um ambiente seguro e acolhedor.

Para o desenvolvimento deste trabalho, adotamos as seguintes premissas para condomínios residenciais horizontais de médio padrão:

- Área do condomínio: 15.000m²
- Área da unidade (32 unidades): 70m²
- Pessoas por unidade: 4
- Chuveiro (AQ): 2 pontos
- Torneira (AQ): 4 pontos
- Piscina do condomínio (AQ): 50m³
- Sauna do condomínio (AQ): 27m³
- Climatização da unidade (AQ): 70m²
- Climatização da unidade (AF): 70m²
- Energia Elétrica da unidade: 120 pontos
- Energia Elétrica do condomínio: 500 pontos

3 Tecnologias Aplicadas

Utilidades de interesse

Como ponto de partida da pesquisa, buscou-se identificar as utilidades de interesse em condomínios ou distritos, definidos como locais geográficos de grande concentração de pessoas, como condomínios residenciais, pontos comerciais, hospitais, parques, escolas e instalações industriais (fábricas).

Notadamente, são quatro as utilidades demandas:

- Água quente:
 - Para temperaturas na faixa de 40°C são utilizadas para higiene e limpeza em chuveiros, pias, torneiras, lavadoras de roupa e louças;
 - Em temperaturas na faixa de 60°C são utilizadas para o aquecimento de piscinas e banheiras, calefação, rechaud em cozinhas, etc; e
- Água fria: normalmente utilizada em solução com alguma substância anticongelante, são produzidas na faixa de -5°C e utilizadas em temperaturas médias de 10°C em sistemas de calefação de pequeno porte, sistemas de climatização central (fan coils), e como água de resfriamento em processos industriais.

- Eletricidade: utilizada de diversas formas, em máquinas e equipamentos elétricos, eletromecânicos e eletrônicos, atende as demandas de frio, calor, movimento e transformações químicas em aplicações residenciais, comerciais e industriais.

Todas as utilidades descritas acima podem ser produzidas de forma centralizada para um determinado grupo de consumidores dispostos em condomínios ou distritos.

Equipamentos disponíveis

O objetivo desse tópico é identificar as tecnologias (máquinas e equipamentos) disponíveis para a produção de utilidades (calor, frio e eletricidade), de forma centralizada, para um conjunto de consumidores dispostos em forma de condomínio. Será realizada uma breve descrição sobre as seguintes tecnologias:

- Geradores de vapor (caldeiras);
- Geradores de água quente (boilers);
- Geradores de água gelada (chillers);
- Reservatórios de acumulação térmica;
- Turbinas a vapor;
- Turbinas a gás;
- Bombas de calor;
- Trocadores de calor;
- Tecnologias de aproveitamento da energia solar; e
- Controle e automação.

A relevância desse tópico para a pesquisa está na avaliação tanto de tecnologias de aplicação comprovada, como também de novas tecnologias.

Arranjos tecnológicos

A figura abaixo apresenta a configuração de um projeto hipotético para um condomínio horizontal de médio padrão, com a disposição, a central de utilidades e as linhas principais de distribuição.

Sigla	Conceito Aplicado	Arranjo tecnológico
Arranjo 1	District Heating	Aquec. Passagem + Solar
Arranjo 2		Caldeira de Condensação
Arranjo 3		GAHP (foco aquecimento)
Arranjo 4	District Power & Heating	mCHP
Arranjo 5	District Power, Heating & Cooling	mCHP + GAHP (foco resfriamento)
Arranjo 6		mCHP + GEHP (foco em resfriamento)
Arranjo 7		mCHP + GAHP (foco aquecimento) + GEHP (foco em resfriamento)
Arranjo 8	District Heating & Cooling	Aquec. Passagem + Solar + Chiller absorção
Arranjo 9		GAHP (foco em aquecimento) + GEHP (foco em resfriamento)
Arranjo 10		Caldeira de condensação + Chiller absorção

Figura 1 - Resumo dos arranjos tecnológicos

4 Método de Avaliação Multicritério

Analytic Hierarchy Process

O método AHP (Analytic Hierarchy Process) é um processo de análise hierárquica de alternativas amplamente utilizado para tomar decisões em situações complexas, onde há múltiplos critérios a serem considerados.

O AHP foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970, sendo apresentado no livro "The Analytic Hierarchy Process" (1980). O principal objetivo do AHP é ajudar na tomada de decisões complexas, estruturando o problema em uma hierarquia de objetivos, critérios, subcritérios e alternativas.

A estrutura básica do AHP envolve três níveis principais:

- Objetivo (nível superior): o objetivo da decisão;
- Critérios e subcritérios (nível intermediário): critérios usados para avaliar as alternativas; e
- Alternativas (nível inferior): as opções ou soluções possíveis.

A decisão é realizada a partir da análise de todas as comparações entre os elementos no nível de critérios e alternativas.

O processo envolve as seguintes etapas:

- Construção de uma hierarquia: o problema é modelado hierarquicamente, com o objetivo no topo, seguido por critérios e subcritérios e, finalmente, as alternativas;
- Comparações paritárias: as alternativas e critérios são comparados duas a duas, atribuindo valores de importância relativa;
- Cálculo dos pesos: com base nas comparações, os pesos relativos são calculados utilizando a técnica de matrizes de comparação; e
- Consistência: o método inclui um mecanismo de verificação da consistência das comparações feitas, utilizando o índice de consistência (CI) e o índice de consistência aleatória (CR).

O núcleo do AHP é a comparação paritária entre os elementos. Isso é feito por meio da construção de uma matriz de comparação paritária para os critérios (ou alternativas).

Critérios de comparação

Foram estabelecidos dez (10) critérios de comparação entre os arranjos tecnológicos, conforme apresentado na tabela abaixo.

CRITÉRIO	TIPO	FATORES	DESCRIÇÃO
Viabilidade Econômica	Quantitativo	Consumo GN, CAPEX, O&M e taxa de desconto	Busca estabelecer o ponto de equilíbrio econômico do arranjo, ou seja, o nível de receita equivalente aos custos.
Eficiência Energética	Quantitativo	Consumo GN, rendimento térmico, perdas devido à configuração.	Busca medir o nível de eficiência energética do arranjo, expresso através de um indicador de desempenho energético.
Consumo Firme	Quali-quantitativo	Consumo GN e fator de demanda.	Busca medir o nível de consumo de GN do arranjo, ponderado pela variabilidade no consumo anual.
Sustentabilidade	Quali-quantitativo	Emissões, conservação de energia e perda de consumo.	Busca medir o nível de sustentabilidade do arranjo, considerando fatores como nível de emissões, conservação de energia e perda de consumo.
Facilidade de Implementação	Qualitativo	Infraestrutura, tecnologia e operação.	Busca medir o nível de facilidade de implementação do arranjo.
Flexibilidade	Qualitativo	Atendimento da demanda e modularidade.	Busca medir a capacidade do arranjo de atender a demanda variável das utilidades tanto em termos de quantidade quanto de tipo de utilidade.
Confiabilidade	Qualitativo	Redundância e manutenções.	Busca medir a capacidade do sistema em atender a demanda de utilidades em um nível mínimo de falha.
Segurança	Qualitativo	Risco para o patrimônio e risco para as pessoas.	Busca medir o nível de segurança do arranjo para todos os stakeholders.
Replicabilidade	Qualitativo	Desafio técnico e desafio de mercado.	Busca medir a capacidade do arranjo de ser replicado.
Resiliência	Qualitativo	Grau de inovação e impacto na demanda elétrica.	Busca medir a capacidade do arranjo de tornar recurso energético distribuído relevante para o sistema de energia como um todo.

Figura 2 – Resumo dos critérios

Priorização das alternativas

O gráfico abaixo apresenta o resultado da priorização obtido a partir da aplicação do método AHP.

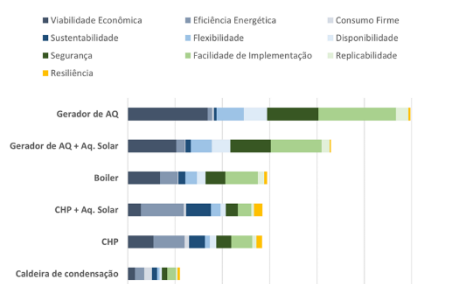


Figura 3 – Resultado da priorização

5 Conclusões e Contribuições

O desenvolvimento principal do projeto foi avaliar e priorizar os arranjos tecnológicos possíveis de serem aplicados em condomínios residenciais considerando o conceito de 'District Power, Heating and Cooling', ou 'Distritos de Energia'.

O conceito de um Distrito de Energia é fornecer energia elétrica, água quente e climatização para um conjunto de usuários (por exemplo, as residências de um condomínio), com a geração centralizada dessas utilidades. O trabalho considerou como fonte de energia principal o gás natural, e a complementação energética da energia solar.

O escopo do trabalho considerou a avaliação da tipologia (descrição das características construtivas, padrão, porte e tipos de uso dos condomínios), das tecnologias possíveis (aquecedores de passagem, caldeiras, motores a gás, CHP, GAHP, bomba de calor, etc.), e a definição dos arranjos tecnológicos possíveis (associação entre a tipologia e a(s) tecnologia(s)).

Para a comparação dos arranjos tecnológicos foram estabelecidos 10 critérios (3 quantitativos e 7 qualitativos): viabilidade econômica, eficiência energética, previsibilidade de consumo, sustentabilidade, flexibilidade, disponibilidade, segurança, facilidade de implementação, replicabilidade e resiliência.

Após a pontuação dos arranjos tecnológicos pela equipe de especialistas envolvidos no projeto, foi utilizado o método de avaliação multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) para estabelecer estratégias de priorização dos arranjos, conforme determinadas premissas.

Como resultado, foi criada uma ferramenta que realiza a priorização para condomínios residenciais de portes variados. A partir dos critérios, diversas análises podem ser realizadas, considerando diferentes percepções para tomada de decisões de

investimentos em sistemas distritais de energia.

Referências

ABRACE (2023). Gás para empregar. Apresentação da Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia na reunião pública do Grupo de Trabalho do Gás para Empregar – Comitê 2: Acesso ao mercado de GN (escoamento, processamento, transporte, estocagem e terminal de GNL).Disponível em: Gás para Empregar — Ministério de Minas e Energia. Acesso em: 02 de julho de 2025

AMARAL, Volmir Ribeiro do; BÜTTENBENDER, Pedro Luís; THESING, Nelson José. Novo Marco Legal À Geração Distribuída De Energia Elétrica No Brasil: Uma Abordagem Das Principais Mudanças. In: Informe GEPEC, ISSN: 1679-415X, TOLEDO, v. 28, n.1, p.449-470, jan./jun. 2024. Disponível em <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pdfs.semanticscholar.org/02f7/89680e9b72ede0181799acd81d08c2db713e.pdf>, acesso em 26 de agosto de 2024.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, GA, 2022.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 62.1: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, GA, 2022.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, GA, 2023.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM A312/A312M: Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes. West Conshohocken, PA: ASTM International, [s.d.].

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM B280/B280M: Standard Specification for Seamless Copper Tube for Air-Conditioning and Refrigeration Field Service. West Conshohocken, PA: ASTM International, [s.d.].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 15575-1: 2024: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais. ABNT, Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 5580: 2015 Tubos de aço-carbono para usos comuns na condução de fluidos - Especificação. ABNT, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5626: Instalação predial de água fria e água quente. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8160: Sistemas prediais de esgotos sanitários – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 16280: Reforma em edificações – Sistema de gestão de reformas. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 5410 Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15526: Instalações de gás combustíveis em instalações residenciais – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 16401 Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 15220-2: Desempenho térmico de

edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, capacitância térmica e de massa específica. Rio de Janeiro, 2005.