



## 257, Manual de Cogeração – Padronização de Soluções CHP em Sistemas Prediais, 2020/2021

João Roberto Costa Martins Silva Filho<sup>1</sup>; Pedro Novak Nishimoto<sup>1</sup>; Henrique Sales de Souza<sup>1</sup>; Alberto J. Fossa<sup>2</sup> & Edmilson Moutinho dos Santos<sup>3</sup>

COMGÁS<sup>1</sup>  
ABRINSTAL<sup>2</sup>  
IEE/USP<sup>3</sup>

**Resumo** – Nas edificações residenciais e comerciais, o gás natural tem sido utilizado para aquecimento de água e, eventualmente, em piscinas, saunas, climatização etc. Do ponto de vista das construtoras e incorporadoras, o gás natural tem permitido a implementação de sistemas e serviços que agregam valor à edificação, adicionando novos usos e conforto. No entanto, os sistemas de aquecimento de água centralizado competem com soluções individuais de aquecimento, sem que se leve em conta as possibilidades de sinergias de uso do gás natural em sistemas mais integrados, como no caso dos sistemas CHP (combined heat and power). O objetivo deste projeto foi a elaboração de um “Manual de Cogeração a Gás Natural”, incluindo os principais aspectos e padrões de tecnologias, configuração, arranjos, instalação e operação, a ser disponibilizado de forma digital para o mercado em geral.

Palavras-chave: CHP; comercial; gás natural; residencial; instalação.

### Introdução

Os consumidores pertencentes aos segmentos residencial e comercial têm apresentado crescente interesse por novos serviços energéticos, principalmente observando os fatores econômicos, e cada vez mais atentos à importância dos aspectos de segurança energética. O gás natural tem avançado modestamente em alguns novos tipos de soluções energéticas. Nas edificações residenciais e comerciais, o gás natural tem sido utilizado para aquecimento de água dos apartamentos (em sistemas de aquecimento central), e eventualmente em piscinas. Tem sua aplicação também prevista na geração de frio em escritórios, bem como na substituição do diesel em geradores de energia elétrica de emergência nos dois segmentos de mercado. As aplicações são normalmente isoladas e desconsideram aspectos mais relevantes de eficiência energética no uso do gás natural. O uso do gás natural nos geradores prediais serve normalmente áreas coletivas e elevadores, não contemplando a possibilidade mais ampla de uma solução de segurança energética, particularmente na atual situação em que sistemas de comunicação e de informática são fundamentais para manutenção da continuidade dos padrões de trabalho, tanto

em escritórios quando nas residências. Os sistemas de aquecimento de água centralizado competem com soluções individuais de aquecimento, sem que se leve em conta as possibilidades de sinergias de uso do gás natural em sistemas mais integrados, como no caso dos sistemas CHP (combined heat and power).

Evidencia-se que o gás natural não é percebido como substituto mais seguro da eletricidade, nem se conhecem estruturas construtivas que permitam uma visão de uso mais integrada do energético no setor residencial e comercial. Em função desse tipo de deficiência, o gás natural vem perdendo mercado recentemente para a eletricidade, mesmo em aplicações onde há vantagem evidente no uso do energético, como no caso de piscinas e centrais de água quente. No ano de 2020 foi identificada a perda de 5 condomínios que tiveram seus sistemas de aquecimento central alterado de gás para eletricidade, representando perda de 263.496 m<sup>3</sup> no ano. A migração para GLP em sistemas de central de aquecimento foi de 14 condomínios, anotando uma perda de volume de 404.184 m<sup>3</sup> no ano. Ainda como referência ao período do ano de 2020, foram desligados 60 sistemas de aquecimento de piscinas, potencialmente sendo transferidos para sistemas elétricos.

Todos esses movimentos desprezam de forma evidente o incremento de eficiência energética na adoção de sistemas CHP.

Através da elaboração de um Manual Técnico, foi padronizada a concepção e operação de cogeração predial que envolva o setor da construção civil e corporativo nas soluções para energia elétrica, aquecimento de água e geração de frio.

O projeto ainda contextualizou a mudança energética a partir de *driver's* econômico, de eficiência e de segurança energética, estabelecendo um novo patamar de serviços energéticos residenciais e comerciais associados ao gás natural.

## Desenvolvimento

O projeto foi estruturado em 4 atividades:

Atividade 1 – Levantamento do cenário tecnológico e aspectos de concepção de sistemas CHP. Nesta fase foram realizados os levantamentos necessários para analisar os principais conceitos e tecnologias utilizadas nos sistemas “*Combined Head and Power*” (CHP). Foram realizadas pesquisas adicionais associadas à sua aplicação para geração de energia elétrica, aquecimento de água em sistemas prediais e geração de frio em edificações corporativas. O objetivo desta primeira fase foi o estabelecimento claro dos conceitos técnicos envolvendo tipos de sistemas disponíveis, características técnicas e aspectos de uso gerais. A pesquisa contemplou: (i) realização de uma pesquisa bibliográfica sobre o conceito e características técnicas dos sistemas CHP; (ii) identificação dos principais fabricantes e fornecedores de soluções tecnológicas envolvendo sistemas de cogeração a gás natural; (iii) levantamento das características associadas a configurações e arranjos técnicos para suprir os serviços de geração de eletricidade, aquecimento de água e geração de frio a partir do gás natural; (iv) determinação dos principais aspectos e elementos a serem detalhados nas atividades posteriores do projeto.

Atividade 2 – Identificação de soluções e modelos, bem como premissas de projetos, instalação e operação do CHP. A partir do resultado da pesquisa inicial, esta segunda atividade tratou do aprofundamento dos aspectos tecnológicos e operacionais, envolvendo o funcionamento e a eficiência dos

sistemas CHP utilizados nos serviços de geração de energia elétrica, aquecimento de água em sistemas prediais e geração de frio em prédios corporativos. Foram detalhados os principais arranjos a serem potencialmente utilizados, destacando os elementos que permitem a elaboração de projeto do sistema CHP, informações necessárias para seu correto dimensionamento, identificação das atividades de instalação e principais pontos a serem observados na operação do sistema. O mapeamento de tais condições contemplou: (i) identificação dos melhores arranjos para os serviços energéticos de geração de eletricidade, aquecimento de água e geração de frio; (ii) levantamento dos dados necessários para elaboração e apresentação de projetos do sistema CHP; (iii) identificação dos parâmetros e informações necessárias para dimensionamento dos sistemas, incluindo características de eficiência; (iv) identificação das principais atividades de implantação do sistema de cogeração e dados necessários; (v) identificação dos principais pontos de operação do sistema CHP para que garanta o desempenho planejado.

Atividade 3 – Detalhamento de metodologias de dimensionamento, instalação e operação do sistema CHP. Com base nas informações da atividade anterior, particularmente quanto aos detalhes de arranjos do sistema CHP, esta atividade realizou um aprofundamento das metodologias de dimensionamento e dos aspectos de sua instalação e operação. Buscou explorar e tratar lacunas de conhecimento que têm dificultado a implantação dos sistemas CHP, trabalhando esses pontos de forma didática que facilite a compreensão por parte do público-alvo do Manual. Fez parte desta atividade as seguintes providências: (i) realização da revisão dos pontos críticos envolvendo lacunas de conhecimento para implantação de sistemas CHP junto aos principais stakeholders; (ii) detalhamento da metodologia de seleção e dimensionamento dos sistemas CHP e construir exemplos de cálculo; (iii) Detalhar aspectos de implementação e instalação dos sistemas CHP destacando aspectos de conexão com a rede hidráulica de água quente, sistema de ar-condicionado e refrigeração e interface com sistema elétrico; (iv) detalhamento dos procedimentos de operação

de forma a garantir desempenho previsto e otimização dos níveis de eficiência energética.

Atividade 4 – Formalização e divulgação do “Manual de Cogeração a Gás Natural” aplicado a sistemas prediais. O produto desta fase se consolidou no “Manual de Cogeração a Gás Natural”. Com base no desenvolvimento das atividades anteriores, buscou compor um documento estruturado que venha a servir ao mercado da construção civil e mercado corporativo contendo as principais informações para implantação de um sistema CHP com o objetivo de geração de energia elétrica, aquecimento de água e geração de frio. O Manual contém as diretrizes técnicas referentes a forma de como selecionar os equipamentos, como projetar e dimensionar o sistema, como realizar as interfaces entre os demais sistemas de serviços prediais (água quente, frio, energia elétrica), como instalar e operar o CHP. Foram desenvolvidas as seguintes tarefas: (i) detalhamento da estrutura capitular e de conteúdo do Manual de cogeração a gás natural; (ii) consolidação das informações gerais de referências bibliográficas sobre aplicação e funcionamento conceitual de um sistema CHP; (iii) consolidação dos principais tipos de sistemas CHP e as configurações mais adequadas para suprimento dos serviços prediais de energia elétrica, aquecimento de água e geração de frio; (iv) consolidação das diretrizes de projeto e dimensionamento do sistema CHP; (v) consolidação das orientações de interface com outros sistemas de serviços prediais e aspectos de instalação do sistema CHP; (vi) consolidação das orientações para uso e operação do sistema CHP, particularmente envolvendo os aspectos de eficiência energética. Realizado no dia 23 de fevereiro de 2022 um workshop para divulgação dos resultados do projeto e do Manual junto aos departamentos internos da Comgas. Um workshop extra será realizado para apresentação do projeto aos principais atores da construção civil.

## Resultados

Com o objetivo de fornecer orientação adicional aos profissionais responsáveis por projetos e execução de sistemas de cogeração CHP aplicados a edificações, foi desenvolvido o “Manual Técnico de Cogeração – Padronização de soluções CHP em sistemas

prediais” que procura documentar o desenvolvimento dos estudos relacionados ao tema. Este Manual concentra o resultado de dez meses de pesquisa, incorporando fontes de referência e experiências nacionais e internacionais sobre conceitos de sistemas de cogeração *Combined Heat and Power* – CHP, serviços prediais termo hidráulicos, metodologias de aplicação e tecnologias disponíveis no mercado, aplicadas particularmente aos sistemas de aquecimento de água e/ou sistemas de refrigeração a partir dos sistemas CHP que utilizam gás natural.

Em função da extensão do assunto, das características técnicas associadas a particularidades da arquitetura das edificações, configurações dos sistemas prediais, legislações e regulamentações construtivas locais, bem como a outros fatores que contribuem para uma grande diversidade de opções tecnológicas e soluções construtivas dos sistemas de cogeração, este Manual Técnico não tratou ou resolve todas as situações encontradas para se projetar e instalar um sistema de CHP aplicável a uma edificação residencial ou comercial. Sua intenção foi de estabelecer parâmetros mínimos de projeto e de dimensionamento e oferecer aos profissionais diretamente envolvidos no estabelecimento e implantação de soluções para sistemas de cogeração CHP, critérios que o auxiliem a tomar decisões adequadas para desenvolver uma instalação que corresponda às necessidades da edificação, que atenda aos serviços de aquecimento de água e/ou refrigeração, e proporcione uma solução adequada ao longo da sua vida útil a partir do uso do gás natural.

Registra-se a realização de um Workshop para divulgação do Manual Técnico.

## Conclusões e Contribuições

O desenvolvimento deste “Manual Técnico de Cogeração – Padronização de soluções CHP em sistemas prediais”, possibilitou (i) a identificação dos avanços tecnológicos e de modelagem operacional de cogeração, e de sua aplicação no ambiente predial, considerando esforços em curso em escala internacional; (ii) o desenvolvimento de estudos a partir de parceria com o setor da construção civil e desenvolvimento de novas tecnologias e

modelagens de fornecimento de serviços energéticos; (iii) a contextualização da mudança de paradigmas energéticos a partir dos drivers econômico e de segurança energética; (iii) o acesso aos sistemas que propiciem segurança energética e eficiência no uso de recursos energéticos; (iv) a disponibilização de orientações práticas para acesso a soluções energéticas vinculadas à cogeração; (v) o desenvolvimento de modelos de negócios para substituição mais ampla da eletricidade pelo gás natural com ganhos de eficiência e segurança energética aportando visibilidade no setor da construção civil e corporativo.

## Referências

- BAGHERIAN, M. A.; MEHRANZAMIR, K. A comprehensive review on renewable energy integration for combined heat and power production *Energy Conversion and Management* Elsevier Ltd, , 15 nov. 2020.
- ISA, N. M.; TAN, C. W.; YATIM, A. H. M. A comprehensive review of cogeneration system in a microgrid: A perspective from architecture and operating system *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Elsevier Ltd, , 1 jan. 2018.
- FOSSA, A. J. et al. Usos Inovadores do Gás Natural na Indústria: Promoção da Eficiência Energética em Arranjos Produtivos Locais (APL) em Sintonia com Melhores Práticas de Gestão de Energia. 1. ed. Rio de Janeiro: Sinergia Editora, 2018.
- AMBER, K. P. et al. Development of a Combined Heat and Power sizing model for higher education buildings in the United Kingdom. *Energy and Buildings*, v. 172, p. 537–553, 1 ago. 2018.
- GALLO, A. B. et al. Promoting energy efficiency by increasing natural gas use: An opportunity assessment in the Brazilian industrial sector through benchmark analysis *Proceedings of International Gas Union Research Conference IGRC 2017. Anais...* Rio de Janeiro: IBP, 2017
- MOUSSAWI, H. AL; FARDOUN, F.; LOUAHLIA-GUALOUS, H. Review of tri-generation technologies: Design evaluation, optimization, decision-making, and selection approach *Energy Conversion and Management* Elsevier Ltd, , 15 jul. 2016.
- MURUGAN, S.; HORÁK, B. A review of micro combined heat and power systems for residential applications *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Elsevier Ltd, , 1 out. 2016.
- SIBILIO, S. et al. Building-integrated trigeneration system: Energy, environmental and economic dynamic performance assessment for Italian residential applications *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Elsevier Ltd, , 1 fev. 2017.
- WU, D. W.; WANG, R. Z. Combined cooling, heating and power: A review *Progress in Energy and Combustion Science*, set. 2006.
- AHN, H.; RIM, D.; FREIHAUT, J. D. Performance assessment of hybrid chiller systems for combined cooling, heating and power production. *Applied Energy*, v. 225, p. 501–512, 1 set. 2018.
- SAFARI, M.; SOHANI, A.; SAYYAADI, H. A higher performance optimum design for a tri-generation system by taking the advantage of water-energy nexus. *Journal of Cleaner Production*, v. 284, 15 fev. 2021.
- MOGHADDAM, I. G.; SANIEI, M.; MASHHOUR, E. A comprehensive model for self-scheduling an energy hub to supply cooling, heating and electrical demands of a building. *Energy*, v. 94, p. 157–170, 1 jan. 2016.
- GEIDL, M.; FROHLICH, K.; KOEPEL, G.; FAVRE-PERROD, P.; KLOCKL, B.; ANDERSSON, G. Energy hubs for the future. *IEEE Power Energy*, v. 5, n. 1, p. 24-30, 2007.
- JUNG, Y.; KIM, J.; LEE, H. Multi-criteria evaluation of medium-sized residential building with micro-CHP system in South Korea. *Energy and Buildings*, v. 193, p. 201–215, 15 jun. 2019.
- BOUKHANOUF, R. 15 - Small combined heat and power (CHP) systems for commercial buildings and institutions. In: BEITH, R. (Ed.). *Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems*. Woodhead Publishing Series in Energy. [s.l.] Woodhead Publishing, 2011. p. 365–394.
- BACKMAN, J. L. H.; KAIKKO, J. 7 - Microturbine systems for small combined heat and power (CHP) applications. In: BEITH, R. (Ed.). *Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems*. Woodhead Publishing Series in Energy. [s.l.] Woodhead Publishing, 2011. p. 147–178.
- BONA, F. S. DE; RUPPERT FILHO, E. As microturbinas e a geração distribuída. Encontro



de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, v. 5, 2004.

VISHWANATHAN, G. et al. A Review of Residential-Scale Natural Gas-Powered Micro-Combined Heat and Power Engine Systems. In: SRINIVASAN, K. K. et al. (Eds.). Natural Gas Engines - For Transportation and Power Generation. [s.l.] Springer, 2019. p. 381–419.

MIKALSEN, R. 6 - Internal combustion and reciprocating engine systems for small and micro combined heat and power (CHP) applications. In: BEITH, R. (Ed.). Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems. Woodhead Publishing Series in Energy. [s.l.] Woodhead Publishing, 2011. p. 125–146.

ZHU, S. et al. A review of Stirling-engine-based combined heat and power technology. Applied Energy, v. 294, 15 jul. 2021.

GLUESENKAMP, K.; RADERMACHER, R. 11 - Heat-activated cooling technologies for small and micro combined heat and power (CHP) applications. In: BEITH, R. (Ed.). Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems. Woodhead Publishing Series in Energy. [s.l.] Woodhead Publishing, 2011. p. 262–306.

JRADI, M.; RIFFAT, S. Tri-generation systems: Energy policies, prime movers, cooling technologies, configurations and operation strategies Renewable and Sustainable Energy Reviews, abr. 2014.

KANG, L. et al. Effects of load following operational strategy on CCHP system with an auxiliary ground source heat pump considering carbon tax and electricity feed in tariff. Applied Energy, v. 194, p. 454–466, 15 maio 2017.

LIU, M.; SHI, Y.; FANG, F. A new operation strategy for CCHP systems with hybrid chillers. Applied Energy, v. 95, p. 164–173, 2012.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15569. Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Requisitos de projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2021.

ABRINSTAL; COMGÁS. Sistemas de aquecimento de água através da associação Energia Solar e Gás Natural. Manual técnico para projeto e construção de sistemas de aquecimento solar & gás natural. São Paulo, 2011.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Arquivos climáticos. 2018. Disponível em:

<https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>

AUER, T. Trnsys-Type 144: Assessment of an indoor or outdoor swimming pool. TRANSSOLAR, 1996.

HAHNE, E.; KUBLER, R. Monitoring and simulation of the thermal performance of solar heated outdoor swimming pools. Solar Energy, v. 53, n. 1, p. 9 – 19, 1994.

STARKE, Allan Ricardo. Uma análise de sistemas de aquecimento de piscinas domésticas através de bombas de calor assistidas por energia solar. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, UFSC: 2013.

ASHRAE. 1999 ASHRAE Handbook—HVAC Applications. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1999.

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

ABNT, 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.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

PROCEL. Selo Procel. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br>

MMA. Ar-condicionado: manual sobre sistemas de água gelada. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudança do Clima e Florestas, Departamento de Monitoramento, Apoio e Fomento de Ações em Mudança do Clima. Brasília: MMA, 2017. 3 volumes.

BRUNING, S. Load Calculation Spreadsheets – Quick Answers without Relying on Rules of Thumb. ASHRAE Journal, v. 54, n. 1. 40-46, 2012.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16057. Sistema de aquecimento de água a gás (SAAG) — Projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2012.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. Tubulações Industriais: Materiais, projeto, montagem. 10ª Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro. 2005.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. ABNT NBR 5626.

Sistemas prediais de água fria e água quente: Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL, M. DO T. E E. Portaria 1082 de 18 de dezembro de 2018-NR-13 Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento. v. i, n. 13, p. 1–2, 2018.

SHILLING, Richard L et al. Perry's Chemical Engineer's Handbook. Seção 11. 8ª Edição. Editora McGraw-Hill Companies. Estados Unidos da América. 2008.

RMB ENERGIE. Operation Manual. Combined heat and power unit neoTower® LIVING. Status 10.2021.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15526. Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais — Projeto e execução. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13103. Instalações de aparelhos a gás - Requisitos. Rio de Janeiro, 2020.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. RESOLUÇÃO NORMATIVA 482. Estabelece as condições gerais para o cesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. 17 de abril de 2012.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. RESOLUÇÃO NORMATIVA 414. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. 9 de setembro de 2010.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. RESOLUÇÃO NORMATIVA 235. Estabelece os requisitos para o reconhecimento da qualificação de centrais termelétricas cogeneradores, com vistas a participação nas políticas de incentivo ao uso racional dos recursos energéticos. 14 de novembro de 2006.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. RESOLUÇÃO NORMATIVA 697. Altera a Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. 24 de novembro de 2015.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimento de distribuição de energia elétrica no sistema

elétrico nacional – PRODIST – Módulo 3: Acesso ao sistema de distribuição. Revisão 7. 01 de janeiro de 2017.

ENEL SÃO PAULO – NOTA TÉCNICA 6012 – Requisitos mínimos para interligação de microgeração e minigeração distribuída com rede de distribuição da ENEL DISTRIBUIÇÃO SÃO PAULO com paralelismo permanente através do uso de inversores – consumidores de alta, média e baixa tensão. Revisão 5. Abril de 2019.

CHAGURI CONSULTORIA E ENGENHARIA DE PROJETOS – Projeto de sistema de aquecimento de água sanitária e piscina através da tecnologia de CHP.2020

CHAGURI CONSULTORIA E ENGENHARIA DE PROJETOS – Estudos técnicos de análise do consumo de gás natural em centrais de água quente coletivas – Condomínio Edifício Retrato Paulista e Condomínio La Residence Paulista. 2021.