

# P259: O Uso Eficiente do Gás Natural em Centrais de Água Quente com Demanda Variável Ciclo 2020/2021

Vitor C. Randoli<sup>1</sup>; Claudio Azer Maluf<sup>2</sup>; Lucas de O.S.Campos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Comgás – Companhia de Gás de São Paulo.

<sup>2</sup> Innovatori Engenharia Ltda.

**Resumo** – O foco deste trabalho são os hotéis, motéis e estabelecimentos comerciais afins, dotados de sistemas centrais de água quente e sujeitos às grandes variações de demanda, justamente por conta das condições de ocupação. Em instalações centrais sujeitas a tais condições de uso, nota-se que, embora ocorra enorme flutuação no uso da água quente, o consumo de gás natural para a aplicação não se comporta de forma análoga. Infere-se, portanto, que grande parte do consumo de GN em um sistema central é devido, não ao aquecimento da água propriamente, mas sim às perdas térmicas ocorridas no armazenamento e distribuição do insumo.

Com o intuito de auxiliar os estabelecimentos no processo de implementação de ações visando o aumento da eficiência energética e, portanto, aproximando as curvas de demanda de água quente e de consumo de GN, foi criada uma ferramenta que permite o usuário: 1. Identificar a tipologia hidráulica do sistema central de água quente; 2. Caracterizar o sistema sob diversos aspectos (operação, controle, armazenamento térmico, distribuição, produção de calor); 3. Propor ações mitigadoras, de acordo com as condições de operação específicas do usuário; 4. Para cada ação mitigadora aventada, mostrar o potencial (qualitativo e, por vezes quantitativo), sob diversos ângulos (benefícios primários, benefícios secundários, custo, complexidade e dificuldade de execução); 5. Comparar diferentes ações mitigadoras, de modo a permitir ao usuário a criação de um plano de implementação voltado às suas necessidades e limitações.

Palavras-chave: central de água quente; demanda variável; hotéis; eficiência energética.

## Objetivos e Metas

O principal objetivo deste projeto de pesquisa e desenvolvimento é a otimização do uso do gás natural em sistemas centrais de aquecimento de água de hotéis, motéis e afins, de modo a aproximar a taxa de consumo do referido insumo energético à taxa de ocupação do estabelecimento (uso da água quente). Embora os resultados pretendidos ao final desta pesquisa visem, em primeira instância, a implementação em instalações pré-existentes, entende-se, servirão, adicionalmente, como diretrizes para a elaboração de instalações futuras.

Para tanto, as metas do projeto são:

- Elaboração de “book” com as tipologias hidráulicas mais observadas em hotéis (água quente e fria);
- Estudo das diversas tipologias hidráulicas para levantamento de características e pontos críticos;
- Simulação computacional (análise transiente) das tipologias modeladas (sem modificações) para visualização e caracterização dos sistemas, para vários níveis de ocupação;
- Com base nos estudos de tipologias e nos resultados das simulações computacionais, as propostas para solução (total ou parcial) dos problemas serão enquadradas em diferentes categorias, a serem listadas no tópico subsequente.
- Proposição de ações mitigadoras, dentro de cada categoria proposta, e realização de simulações computacionais para obtenção de resultados inerentes à eventual implementação;
- Realização de ensaios físicos instrumentados para levantamento de aspectos importantes das instalações centrais, visando complementar ou confirmar resultados obtidos computacionalmente;
- Criação de ferramenta para permitir que o usuário, mediante entrada de dados, 1. Identificar a tipologia em que seu sistema central se enquadra; 2. Caracterizar a referida instalação sob diversos

aspectos (operação, controle, armazenamento térmico, distribuição, produção de calor); 3. Propor ações mitigadoras, de acordo com as condições de operação específicas do usuário; 4. Para cada ação mitigadora aventada, mostrar o potencial (qualitativo e, por vezes quantitativo), sob diversos ângulos (benefícios primários, benefícios secundários, custo, complexidade e dificuldade de execução); 5. Comparar diferentes ações mitigadoras, de modo a permitir ao usuário a criação de um plano de implementação voltado às suas necessidades e limitações.

## Desenvolvimento & Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas e cada uma delas visava o atingimento de metas específicas. A seguir, serão descritas, de forma resumida, cada uma destas etapas.

### A. Mapeamento de tipologias

Foram identificados os aspectos mais importantes em um sistema de aquecimento de água central, bem como suas variações mais comumente observadas, de modo a permitir a diferenciação de uma dada tipologia hidráulica, frente às demais. Os aspectos e respectivas variações consideradas estão listados abaixo:

- Local da Central:
  - Topo
  - Base
- Predominância da Distribuição Hidráulica:
  - Vertical
  - Horizontal
- Sentido da Distribuição:
  - Ascendente
  - Descendente
    - Misto
- Sistema de Retorno:
  - Sem Retorno
  - Retorno Vertical Compartilhado

- Retorno Vertical não Compartilhado
- Retorno Vertical Compartilhado e Horizontal
- Retorno Vertical não Compartilhado e Horizontal

A partir do cruzamento das variações de cada aspecto considerado, e da eliminação do de cruzamentos incoerentes, foram obtidas 28 configurações de tipologias, as quais foram tomadas como base para todo o desenvolvimento do trabalho, deste ponto em diante.

### B. Estudo de Tipologias e de Ações Mitigadoras

Cada uma das tipologias levantadas foi analisada em busca de pontos fracos e fortes. Após isto, para facilitar a etapa de proposição de ações visando à melhoria dos sistemas, foram criadas 5 frentes de abordagem, a saber:

- Operação;
- Lógica de Controle;
- Armazenamento Térmico;
- Distribuição;
- Produção do Calor.

Para cada uma das frentes listadas, e para cada uma das 28 tipologias tomadas como base, foram trabalhadas ações visando à melhoria ou eliminação dos problemas levantados nesta mesma etapa do trabalho, resultando em uma matriz composta pelo cruzamento de tipologias, problemas e ações mitigadoras.

### C. Modelamento e Simulações Computacionais

Nesta etapa, inicialmente foram feitos os modelos computacionais para cada uma das 28 tipologias. Para isto, foram definidas algumas premissas fixas, tais como: pé-direito dos pavimentos, distâncias horizontais entre pontos de consumo, quantidade de quartos por hotel para cada uma das categorias consideradas, nº de pavimentos por categoria de hotel (grande, médio, pequeno, para hotéis verticais e horizontais), vazão média de banho, tempo médio de banho, temperatura média de banho, etc. Foram definidas, posteriormente, as variáveis e as condições de variação para cada uma delas, de modo a permitir a programação das baterias de simulações. Dentre as variáveis, pode-se citar: taxa de ocupação do hotel (25%, 50%, 75%, 100%), predominância de distribuição (vertical, horizontal), porte do hotel (pequeno, médio, grande), temperatura de armazenamento, eficiência na geração de calor, material das tubulações de distribuição de água quente, existência de isolamento térmico e espessura do isolante térmico.

Através do cruzamento de variáveis e tipologias, definiram-se os blocos de simulações, as quais foram modeladas e executadas com o auxílio de ferramenta computacional baseada em Matlab.

Os resultados das simulações, já agrupados, foram analisados e compilados.

### D. Ensaios Práticos Instrumentados

Além da etapa de simulações computacionais, e de forma a complementar estas simulações, foi montado na Innovatori um arranjo hidráulico de central de água

quente, o qual possibilitou a execução de uma série de ensaio para entendimento ou confirmação de determinados padrões de comportamentos. Este arranjo foi amplamente instrumentado através de sensores de temperatura, medidores de vazão de água e de consumo de gás, e os sinais destes instrumentos foram enviados e armazenados em data-logger, em curtos e pré-definidos intervalos de tempo, de modo a permitir a análise comportamental do sistema, suas variações e correlações.

Abaixo, uma foto do arranjo instrumentado:



### E. Criação de Ferramenta

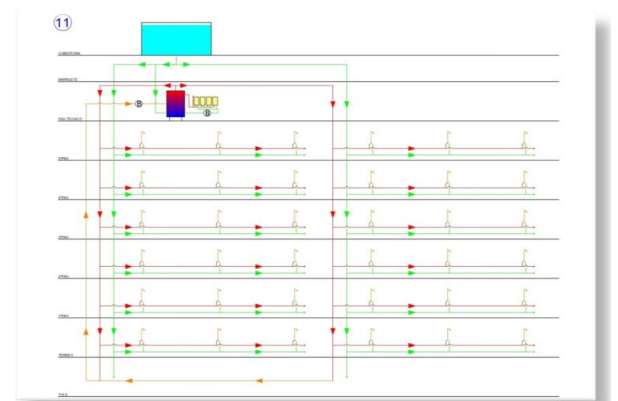
Nesta etapa foi desenvolvida, como principal produto deste trabalho de pesquisa, uma ferramenta para auxílio aos hotéis e afins na busca pela melhoria na eficiência energética e operacional das centrais térmicas, de modo a diminuir a lacuna existente entre demanda por água quente e o consumo de gás natural como insumo neste processo.

A ferramenta foi desenvolvida em Excel, e compila os resultados das simulações realizadas, dentro da lógica de tipologias e de categorias seguidas durante o desenvolvimento do trabalho. Os resultados numéricos são orientativos, uma vez que se relacionam às premissas (termos fixos) pré-definidas.

Abaixo, são mostrados os principais blocos de entrada de dados, bem como os blocos de resultados:

#### Bloco de Definição de Tipologia:

Localização da central de água quente	Topo
Predominância da distribuição hidráulica	Vertical
Sentido da distribuição hidráulica	Descendente
Sentido do retorno da distribuição	Retorno Vertical não Compartilhado
Quantidade de pavimentos do hotel	15
Total de quartos do hotel	100
ID Tipologia	TIP6



### Bloco de Dados de Operação:

OPERAÇÃO	Taxa média de ocupação do hotel	100%
	Ordem a ocupação de acordo com a distribuição de água quente	Não
	Qual é o vazão aproximada atual das duchas (l/min.)	12
	Reduziria a vazão atual para quanto (l/min.)	8
	Possui ducha higiênica nos quartos	Não
	Efetua regularmente a manutenção preventiva no sistema	Sim
	Efetua regularmente o ajuste das vazões de água quente e fria	Sim
Monitora o funcionamento do sistema de retorno	Sim	

### Bloco de Dados de Controle:

CONTROLE	Controlador de temperatura da central térmica	Digital
	Controlador de temperatura da linha de retorno	Digital
	Modo de operação da linha de retorno (sem desligamento programado)	Monitorando 24 Horas
	Modo alternativo de operação da linha de retorno (desligamento programado)	Desligado de Madrugada
	Temperatura de circulação da linha de retorno (°C)	50
	Temperatura de armazenamento de água (°C)	65
	Reduz a temperatura de armazenamento em horários sem uso	Não
Possui sistema inteligente de controle de temperatura	Não	

### Bloco de Dados de Armazenamento Térmico:

ARMAZENAMENTO TÉRMICO	Quantidade de reservatório térmicos	3
	Posição do reservatório térmico	Vertical
	Reservatório térmico está em boas condições	Sim
	Central de aquecimento possui isolamento térmico	Sim
Troca de sistema central por bateria de aquecedores de passagem nos andares	Bateria de Aquecedores de Passagem Alta Eficiência	

### Bloco de Dados de Distribuição:

DISTRIBUIÇÃO	Material de tubulação de distribuição	Cobra
	Tubulação de distribuição possui isolamento térmico	Poliuretano Expandido 5mm
	Isolamento térmico das tubulações está em boas condições	Sim
	Upgrade do isolamento térmico	Poliuretano Expandido 10mm
	Setorização da linha de distribuição	Não
	Pressurização da linha de abastecimento	Não Existe
	Há dificuldade em ajustar a temperatura da água através dos misturadores	Não

### Bloco de Dados da Produção de Calor:

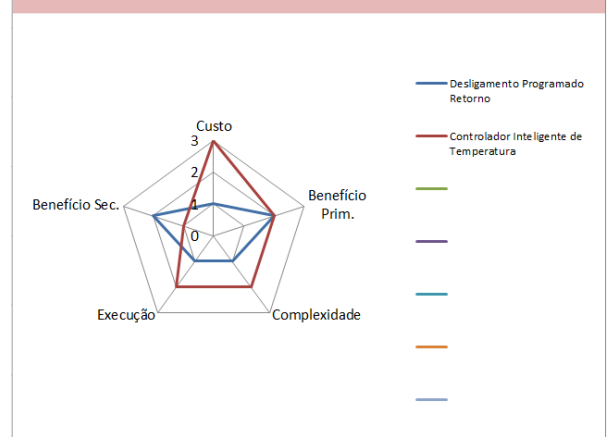
PRODUÇÃO DE CALOR	Sistema de produção de calor	Aquecedor de Passagem Baixa Eficiência
	Rendimento aquecedor	80%
	Upgrade do sistema de produção de calor	Aquecedor Condensante
	Rendimento aquecedor upgrade	97%
	Dutos de exaustão dos gases dos aquecedores em boas condições	Sim
	Substituição do sistema de produção de calor atual por GAHP's	Sim
	Sistema de aquecimento complementar	Não Possui

A depender dos dados imputados na aba de "folha de rosto" da ferramenta, os resultados das simulações que se aplicam à situação apresentada (quantitativos e qualitativos) são buscados, organizados e mostrados, de forma a permitir a comparação entre distintas ações, sob as óticas dos benefícios potenciais (primários e secundários), do custo, da complexidade tecnológica e da complexidade de execução. A seguir, exemplo dos radares de resultados para cada grupo:

### Controle:

SOLUÇÃO	Benefício Primário	Benefício Secundário	Consumo médio anual condição atual	Consumo médio anual com melhoria aplicada	Percentual de melhoria	Volume salvo de gás
Desligamento Programado Retorno	Redução do consumo de gás.	0	153580	154950	0,88%	1370
Controlador Inteligente de Temperatura	Redução do consumo de gás.	Melhora de desempenho do sistema.	142875	118446	17,08%	24389

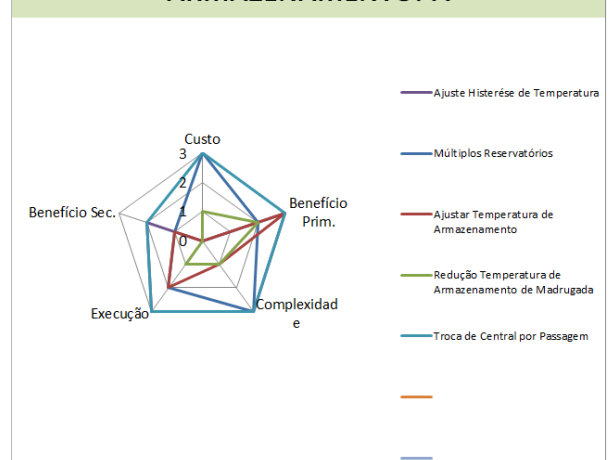
### CONTROLE: C



### Armazenamento:

SOLUÇÃO	Benefício Primário	Benefício Secundário	Consumo médio anual condição atual	Consumo médio anual com melhoria aplicada	Percentual de melhoria	Volume salvo de gás
Ajuste Histerese de Temperatura	Redução do consumo de gás.	-	-	-	-	-
Múltiplos Reservatórios	Redução do consumo de gás.	Possibilidade de modularização no armazenamento de água quente.	141680	141680	0,00%	0
Ajustar Temperatura de Armazenamento	Redução do consumo de gás.	-	141680	124613	12,05%	17067
Redução de temperatura de armazenamento em horário sem demanda	Redução do consumo de gás.	-	141680	129873	8,53%	11807
Troca de sistema central por bateria de aquecedores de passagem	Redução do consumo de gás.	Elimina sistema de controle de temperatura baseado em queda de temperatura, possibilitando atendimento "on-demand".	141680	73414	48,18%	68266

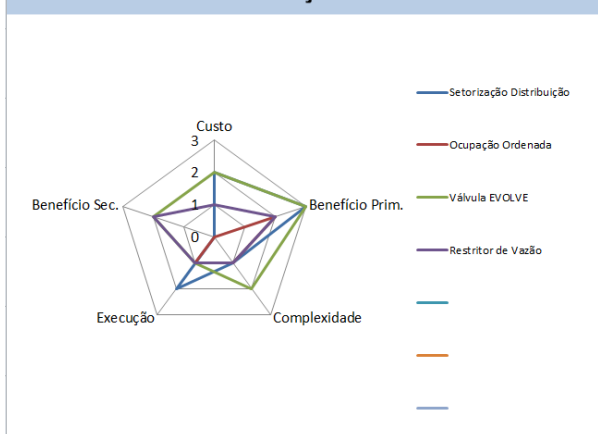
### ARMAZENAMENTO: A



### Operação:

SOLUÇÃO	Benefício Primário	Benefício Secundário	Consumo médio anual condição atual	Consumo médio anual com melhoria aplicada	Percentual de melhoria	Volume salvo de gás
Setorização Distribuição	Redução do consumo de gás.	-	-	-	-	-
Ocupação Ordenada	Redução do consumo de gás.	-	-	-	-	-
Válvula EVOLVE	Redução do consumo de água.	Redução do consumo de gás.	15475	8754	36,00%	3450
Restritor de Vazão	Redução do consumo de água.	Redução do consumo de gás.	12792	9435	21,62%	4307

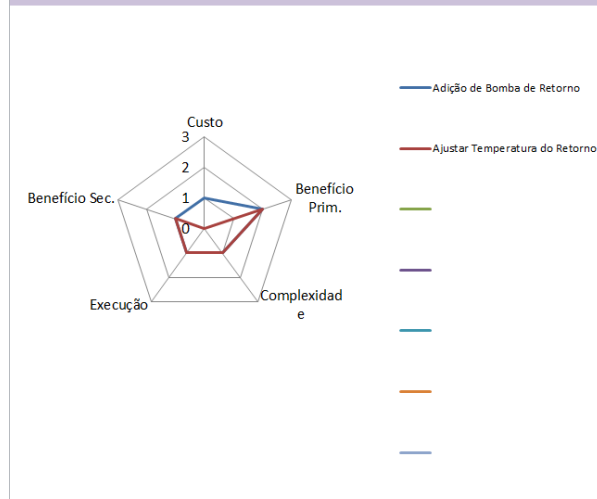
### OPERAÇÃO: O



**Distribuição:**

SOLUÇÃO	Benefício Primário	Benefício Secundário	Consumo médio anual condição atual	Consumo médio anual com melhoria aplicada	Porcentual de melhoria	Volume salvo de gás
Adição de Bomba de Retorno	Redução do consumo de gás.	Possibilidade de modularização na distribuição de água quente.	-	-	-	-
Ajustar Temperatura do Retorno	Redução do consumo de gás.	Redução do consumo de água.	123856	110542	10,75%	13314

**DISTRIBUIÇÃO: D**



**Resultados**

A ferramenta de auxílio na criação e implementação de um plano de melhoria de eficiência dos sistemas centrais de água quente sistematiza um processo complexo através dos seguintes passos sequenciais: 1. Identificação da tipologia hidráulica, muitas vezes desconhecida pelo operador; 2. Proposição de ações mitigadoras, agrupadas por categoria, e comparáveis entre si sob diversas óticas, permitindo ao usuário a programação de um plano de implementação aderente com suas necessidades, limitações e particularidades. Através de um plano de implementação o qual permite o prévio conhecimento, em ordem de grandeza, dos resultados possíveis, o operador pode, por exemplo, aguardar o retorno obtido através da implementação de uma dada ação para, então, executar uma próxima ação.

A ferramenta orienta, também, a identificação de ações cuja relação custo/benefício é ou não interessante.

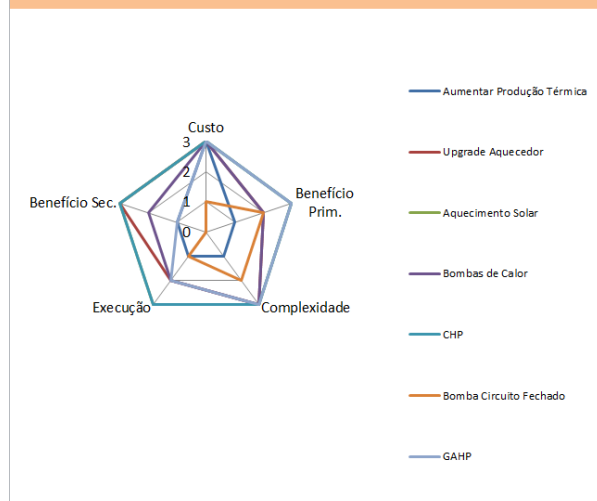
Através da análise dos resultados das simulações computacionais, o principal aspecto a ser destacado é que as ações com maior potencial de benefícios primários e secundários são:

- Ações que resultam em racionalização do consumo de água quente (e de energia térmica, por consequência);
- Ações que mitigam o comportamento inadequado do usuário (redução automática do desperdício);
- Ações que resultam em melhoria da eficiência de queima (melhoria de rendimento);
- Ações de descentralização do sistema de aquecimento e eliminação de reserva térmica.

**Produção Térmica:**

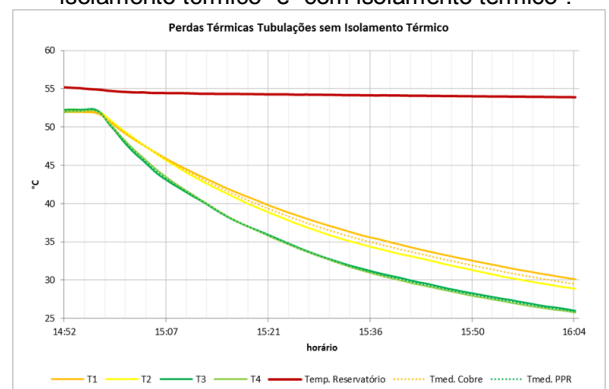
SOLUÇÃO	Benefício Primário	Benefício Secundário	Consumo médio anual condição atual	Consumo médio anual com melhoria aplicada	Porcentual de melhoria	Volume salvo de gás
Aumentar Produção Térmica	Redução do consumo de gás.	Redução do consumo de energia elétrica.	-	-	-	-
Upgrade Aquecedor	Redução do consumo de gás.	Redução da poluição gerada pelos gases do combustível.	159566	130442	18,25%	29124
Aquecimento Solar	Redução do consumo de gás.	-	-	-	-	-
Bombas de Calor	Redução do consumo de gás.	-	-	-	-	-
CHP	Redução do consumo de gás.	Produção de energia elétrica.	-	-	-	-
Bomba Circuito Fechado	Redução do consumo de gás.	Redução do consumo de energia elétrica.	-	-	-	-
GAHP	Redução do consumo de gás.	Redução da poluição gerada pelos gases do combustível.	159566	117469	26,35%	41897

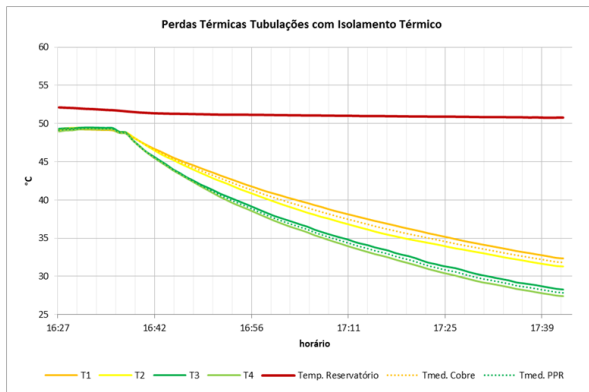
**PRODUÇÃO: P**



Através da análise de resultados dos ensaios físicos instrumentados, destaca-se:

- Deve-se dar importância na escolha do material das tubulações de distribuição e de retorno de água quente nos sistemas de aquecimento. As tubulações em PPR, propagadas pelo mercado como sendo termicamente auto isoladas, mostraram desempenho muito ruim neste quesito. A velocidade das perdas térmicas neste tipo de material foi, inclusive, maior do que a verificada para tubulação de cobre em condições idênticas, e para diâmetro comercial correspondente (nos testes foram utilizados os seguintes materiais: PPR PN20 DN25, correspondente ao Cobre Classe A, DN22). Os gráficos abaixo mostram a variação de temperatura ao longo do tempo para dois circuitos idênticos, um deles em PPR e outro em cobre, respectivamente para as situações “sem isolamento térmico” e “com isolamento térmico”:





## Considerações Finais

O presente trabalho permitiu a criação de uma metodologia para a identificação de sistemas e sistematização do processo de definição e implementação de um plano de ação voltado à melhoria da eficiência energética.

É importante destacar, contudo, que os resultados mostrados pela ferramenta, produto deste projeto, se baseiam em premissas tomadas como base para permitir o desenvolvimento do trabalho, mas que podem, entretanto, divergir parcial ou integralmente, das condições de operação específicas de cada usuário. Tais resultados não podem, portanto, ser tomados como valores absolutos. Há de se ponderar sua aplicabilidade caso a caso. Na medida da necessidade, sugere-se a execução de simulação específica para as condições reais apresentadas.

Por fim, recomenda-se que todo e qualquer usuário do sistema esteja ciente das premissas consideradas, bem como passe por um treinamento que o habilite no uso apropriado da ferramenta.