

PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

- EDIÇÃO 2015 -

Propostas para Análise do
Desempenho Energético
das Edificações



PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

– EDIÇÃO 2015 –

PARTICIPANTES:

- v SINDIGÁS - Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo
- v ABRINSTAL – Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência das Instalações
- v IEE USP – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

CATEGORIA: Meio Ambiente

TÍTULO:

**PROPOSTAS PARA ANÁLISE DO DESEMPENHO
ENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES**

AUTORES:

Adriano Loureiro (Sindigás)
Alberto J. Fossa (Abrinstal)
Aurélio Ferreira (Sindigás)
José Jorge Chaguri Jr (Abrinstal)
Murilo T. Werneck Fagá (IEE-USP)

HISTÓRICO DAS ORGANIZAÇÕES E PROFISSIONAIS ENVOLVIDOS

O Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo – SINDIGÁS foi criado em 1974 com a finalidade de estudar, coordenar, proteger e representar a categoria diante da sociedade brasileira e nas diversas esferas dos governos federal, estadual e municipal. Além disso, o SINDIGÁS busca uma maior colaboração junto aos poderes públicos, associações e entidades sindicais, de todos os níveis, no sentido da solidariedade social e de sua subordinação aos interesses nacionais.

A Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência das Instalações - ABRINSTAL é uma entidade criada com o objetivo de planejar, organizar e catalisar ações que visem à conformidade e eficiência das instalações elétricas, hidráulicas, gás, combate a incêndio, automação predial, segurança eletrônica e de telecomunicações. Desde 2006, a ABRINSTAL realiza projetos envolvendo estudos técnicos, planejamento, avaliações estratégicas e difusão de informação, vinculados à conformidade e eficiência das instalações prediais, buscando apoiar os processos de tomada de decisão, formulação e implantação de políticas públicas, além de subsidiar decisões de empresas.

O Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo – IEE USP é um Instituto Especializado que tem suas atividades baseadas na pesquisa, ensino e extensão universitária nos âmbitos da Energia e Ciências Ambientais. O IEE USP tem por missão promover a interação entre as necessidades da Sociedade, a Ciência e a Tecnologia, atuando em atividades de Ensino, Pesquisa e Extensão, desenvolvendo soluções com qualidade, em articulação com as demais unidades da Universidade de São Paulo e parceiros, nas áreas de Energia e Ambiente, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do Brasil.

PROBLEMAS E OPORTUNIDADES

O consumo energético em edificações representa uma parcela significativa do consumo nacional, cerca de 12,2% de toda a energia consumida no Brasil em 2015, e 42,9% da energia elétrica consumida no país durante o mesmo período. Racionalizar o uso desta energia é fundamental para o país e ações de eficiência energética através da etiquetagem e avaliação do desempenho energético das edificações têm obtido resultado em todo o mundo. Alinhar os conceitos utilizados

O Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo (Sindigás), em parceria com a Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência das Instalações (Abrinstal) e o Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP), tem contribuído para o aprimoramento das políticas de eficiência energética do Ministério de Minas e Energia (MME), promovendo estudos, os quais, posteriormente, têm sido incorporadas pelas políticas públicas, visando a maior eficiência energética.

A influência dos estudos já realizados e entregues ao MME permitiu, entre outros, que os benefícios da adoção do gás LP como energético mais eficiente, particularmente nos usos diretamente associados com o aquecimento de água e ambiente, fossem reconhecidos e computados em todos os principais documentos técnicos que referenciam e suportam o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações Eficientes (PBE), tanto para edificações residenciais como para prédios públicos e comerciais. Dentro deste escopo desenvolveu-se o estudo de propostas para análise do desempenho energético em edificações.

PLANO DE AÇÃO – OBJETIVOS, METAS E ESTRATÉGIAS

Este documento tem por objetivo estabelecer os procedimentos gerais para avaliação do desempenho energético de edificações, incluindo os serviços prediais, considerando os diferentes tipos de rateio da energia.

Entre os propósitos aqui descritos, destacam-se:

- a) Verificar a interface com outras referências normativas que servem para o cálculo do uso de energia em serviços prediais específicos;
- b) Cálculo da energia gerada na edificação, que pode ser “exportada” para forma dos limites da edificação;
- c) Apresentar um sumário do uso geral da energia consumida na edificação;
- d) Prover rateio de energia baseado na energia primária, emissões de CO₂ ou outros parâmetros definidos por uma política de eficiência energética nacional;
- e) Estabelecer princípios gerais para o cálculo de fatores de energia primária e coeficientes de emissão de CO₂.

Este trabalho propõe a definição dos serviços de energia a serem levados em consideração para a análise de rateio do desempenho energético para edifícios projetados e existentes. São apresentados:

- 1) Método para cálculo padrão de rateio da energia, padrão de uso da energia que não depende da ocupação, clima e outras condições;
- 2) Método para avaliar o rateio da energia medida, baseado na energia consumida e exportada.

As propostas se aplicam a parte da edificação, a toda a edificação ou a um conjunto de edifícios.

IMPLEMENTAÇÃO

Este documento propõe mecanismos de cálculo para o desempenho energético de edificações que podem ser utilizados para a identificação de seu nível de eficiência no uso da energia.

Reconhece-se uma relação de usos de energia amplo, particularmente focalizando aspectos térmicos (calor e frio) como direcionadores principais do uso da energia. Destaca-se o reconhecimento de sutilezas e características de uso bastante sofisticadas (umidificação, desumidificação) que não se encontram presentes em modelos atualmente utilizados no Brasil.

A proposta destaca a necessidade de se observar o balanço energético de uma identificação, partindo-se a definição clara de limites a serem tratados. A partir desses “limites”, reconhece-se a possibilidade de que a edificação consuma energia (através de seus sistemas convencionais de uso) e também possa gerar energia (através da adoção de sistemas internos que permitam “exportar” energia, desde que excedente).

São estabelecidos formatos de cálculo para o rateio do uso da energia, com o objetivo de isolar e tratar subsistemas (consumidores e produtores) aplicáveis às diversas condições da edificação (projeto, construção, reforma, uso contínuo).

Dentro do conceito do rateio do uso da energia, reconhecem-se tipos específicos, particularmente vinculados aos aspectos da envoltória da edificação, dos sistemas prediais específicos, e da possibilidade de expressão da energia através do consumo de energia primária e geração de CO₂, formas consideradas como relevantes, dentro do cenário internacional, para o estabelecimento de adequação do uso da energia e sua identificação de “eficiência”.

O cálculo de rateio preconizado leva em consideração, ainda, detalhes da operação energética da edificação, tais como perdas térmicas recuperáveis, aspectos de cogeração, usos de energia renováveis entre outros.

O Anexo A estabelece o detalhamento do modelo proposto para análise de desempenho energético das edificações.

INDICADORES DE DESEMPENHO

O modelo apresentado é fonte de inspiração para análise do futuro das regulamentações de eficiência energética das edificações, estabelecendo conceitos mais amplos e robustos, alinhados com o pensamento internacional vigente.

O desenvolvimento de uma metodologia clara e válida para a análise do desempenho energético das edificações serve como guia para projetistas que desejam implementar eficiência energética em seus empreendimentos, o que no caso de aquecimento de água representa a necessidade da adoção de aquecedores a gás em seus projetos.

ANEXO A

O conceito de desempenho energético aplicável ao modelo de etiquetagem de Edificações Eficientes

I Escopo

Este documento tem por objetivo estabelecer os procedimentos gerais para avaliação do desempenho energético de edificações, incluindo os serviços prediais, considerando os diferentes tipos de rateio da energia.

Entre os propósitos aqui descritos, destacam-se:

- a) Verificar a interface com outras referências normativas que servem para o cálculo do uso de energia em serviços prediais específicos;
- b) Cálculo da energia gerada na edificação, que pode ser “exportada” para forma dos limites da edificação;
- c) Apresentar um sumário do uso geral da energia consumida na edificação;
- d) Prover rateio de energia baseado na energia primária, emissões de CO² ou outros parâmetros definidos por uma política de eficiência energética nacional;
- e) Estabelecer princípios gerais para o cálculo de fatores de energia primária e coeficientes de emissão de CO².

Este trabalho propõe a definição dos serviços de energia a serem levados em consideração para a análise de rateio do desempenho energético para edifícios projetados e existentes. São apresentados:

- 1) Método para cálculo padrão de rateio da energia, padrão de uso da energia que não depende da ocupação, clima e outras condições;
- 2) Método para avaliar o rateio da energia medida, baseado na energia consumida e exportada.

As propostas se aplicam a parte da edificação, a toda a edificação ou a um conjunto de edifícios.

2 Avaliação do desempenho energético de edificações

2.1 Usos da energia

A avaliação do uso da energia anual de uma edificação deveria compreender os seguintes serviços prediais:

- aquecimento;
- resfriamento e desumidificação;
- ventilação e umidificação;
- aquecimento de água;
- iluminação (opcional para edificações residenciais);
- transporte de pessoas (opcional);

- outros serviços (opcional).

O uso anual da energia inclui energia auxiliar e perdas em todos os sistemas energéticos.

2.2 Definição dos limites da edificação

Os limites da edificação para avaliação do desempenho energético devem ser claramente definidos antes de qualquer avaliação. Pode-se adotar a terminologia de “limite do sistema”. O “limite do sistema” é relacionado ao objeto sob análise (por exemplo um apartamento ou todo edifício).

A energia pode ser importada ou exportada através do limite do sistema. Alguns desses fluxos de energia podem ser quantificados por medidores (por exemplo: gás, eletricidade e água). Se uma parte dos serviços prediais (por exemplo: reservatórios térmicos, chiller, torres de resfriamento, etc.) está localizada fora da envoltória da edificação mas faz parte dos serviços prediais avaliados, eles devem ser considerados dentro do “limite do sistema” e as perdas desses sistemas devem ser levadas em consideração explicitamente.

A Figura I ilustra um exemplo de sistema, seus limites e fluxo de energia

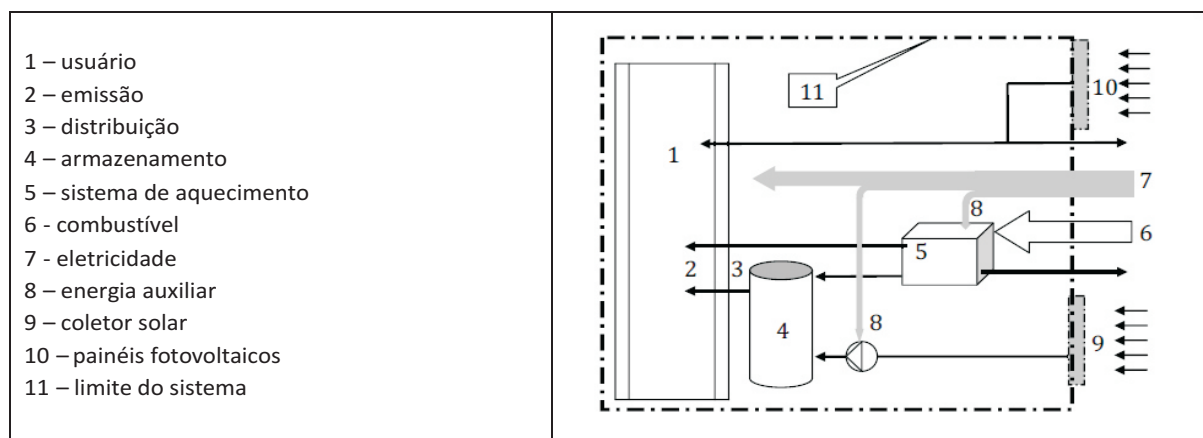


Figura I – Limite do sistema – Exemplo de fluxo de energia através do limite do sistema

A radiação solar incidente em painéis solares ou a energia cinética do vento ou água não faz parte do balanço energético da edificação. Somente a energia exportada através da geração de aparelhos e a energia auxiliar consumida para geração de energia dessas fontes para a edificação é que devem ser levadas em consideração no balanço da energia.

2.3 Tipos e rateios de usos da energia

Existem duas opções principais para rateio da energia nas edificações:

- cálculo do rateio da energia;
- medição do rateio da energia.

As formas de determinação de rateio da energia não devem ser comparadas entre si sem que sejam tomados cuidados específicos.

2.3.1 Cálculo do rateio da energia

O cálculo do rateio da energia inclui uso da energia para aquecimento, refrigeração, ventilação, aquecimento de água, e quando apropriado, iluminação. Ele não inclui energia para outros serviços. Há a opção de que esses outros serviços sejam incluídos, se houver alguma motivação ou política nacional.

O cálculo do rateio da energia pode também ser:

- padrão, baseado no clima convencional, uso, ambiente, e definidos por dados relativos à ocupação levantados em âmbito nacional. Este rateio é denominado “rateio de projeto” quanto se aplica a planejamento de edificações;
- específico, calculado com dados de clima, ocupação e ambiente adaptados para a edificação atual e o propósito do cálculo.

Os tipos de rateios são resumidos na Tabela CI.

Tabela CI – Tipos de rateios

	Nome	Dados de Uso	Dados de clima	Dados da edificação	Uso ou propósito
Calculado	Projeto	Padrão	Padrão	Projeto	Permissão de construção, Certificado sob condições
	Padrão	Padrão	Padrão	Atual	Certificado de desemp. Energ.. Regulação
	Específico	Depende	Depende	Atual	Otimização, validação, planejamento de manut
Medido	Operacional	Atual	Atual	Atual	Certificado de desemp. Energ.. Regulação

As quantidades de todos os tipos de energia entregues à edificação, e eventualmente exportadas, podem ser mensuradas e relatadas conforme sugerido na Tabela C2.

Tabela C2 – Quantidade de energia entregue para medição de rateio de energia

	C1	C2	C3
	Energia entregue (Quantidades)	Unidade (l, kg, m ³ , kWh, MJ, etc.)	Energia entregue (em kWh ou MJ)
L1	Ex: Gás, óleo, Eletricidade, Madeira, ...		
	Energia exportada (Quantidades)	Unidade (kWh, MJ, etc.)	Energia exportada (em kWh ou MJ)
L2		Térmica: Elétrica:	
	Energia renovável produzida (Quantidades)	Unidade (kWh, MJ, etc.)	
L3		Térmica: Elétrica:	

3 Pesos no rateio da energia

3.1 Tipos de rateios e indicadores de uso

Referências normativas internacionais (ex. ISO/FDIS 23045) fazem referência a indicadores para diversos aspectos da eficiência energética de edificações. Pode-se citar os seguintes:

- desempenho da envoltória da edificação;
- desempenho da envoltória da edificação incluindo os sistemas prediais;
- desempenho de sistemas prediais;
- desempenho da edificação expresso em termos de energia primária;
- desempenho da edificação expresso em termos relativos à Co²;

Os indicadores podem ser expressos como valores absolutos que apresentam informações sobre o desempenho global da edificação, ou como valores relativos que permitem comparação entre edificações e/ou serviços prediais de mesma categoria. Como a quantidade de energia consumida e, conseqüentemente, a energia produzida estão relacionadas às características de conforto, as condições do projeto dos ambientes internos devem ser estabelecidas no estágio da definição de projeto.

Uma edificação utiliza normalmente mais que um fornecedor de energia. Desta forma, uma expressão comum de toda energia fornecida deve ser utilizada para agregar as quantidades de energia utilizada (por exemplo Joule), normalmente expressada através de várias unidades (kWh, m³ gas, etc.)

Os métodos de agregação são normalmente baseados nos seguintes impactos de uso da energia:

- energia primária;
- emissão de CO²;
- outros parâmetros definidos por política nacional de eficiência energética.

NOTA Custos da energia podem ser utilizados como parâmetros nos métodos de agregação que levam em consideração políticas de eficiência energética.

3.2 Tipos de fatores ou coeficientes

A agregação do uso de diferentes fontes de energia pode necessitar de fatores e coeficientes para permitir o cálculo de energia primária e/ou emissão de CO² associados. Esses fatores e coeficientes são normalmente estabelecidos em nível nacional.

Alguns fatores e coeficientes podem ser necessários e/ou indicados para o processo de agregação do uso das fontes de energia distintas, tais como:

- fatores ou coeficientes de média;
- fatores ou coeficientes marginais;
- fatores ou coeficientes de uso final da energia;
- fatores ou coeficientes ambientais.

3.3 Indicador do uso da energia

3.3.1 Geral

O indicador de uso da energia representa o desempenho da envoltória da edificação. Este indicador não leva em consideração o desempenho dos serviços prediais. Ele pode ser utilizado para levar em consideração a habilidade intrínseca do edifício durante sua vida útil em estender a vida dos componentes dos sistemas de serviços prediais.

3.3.2 Indicador

Este indicador é calculado a partir do uso de energia para aquecimento, refrigeração e iluminação incluindo ganhos da energia solar e internos, mas não de aquecimento recuperados por sistemas prediais.

$$E_d = \sum Q_i$$

Onde:

Q_i = energia necessária para qualquer propósito dentro da edificação

Para propósitos de comparação, este indicador pode ser usado como valor absoluto (MJ ou KWh) ou como um valor relativo a unidade de superfície. Os indicadores devem ser calculados levando-se em consideração as normas aplicáveis para cada tipo de sistema ou subsistema de uso da energia.

3.4 Rateio de energia primária

3.4.1 Geral

A abordagem da energia primária torna possível a análise de diferentes tipos de energia (por exemplo térmicas ou elétricas) porque a energia primária inclui as perdas da cadeia de energia, incluindo aquelas localizadas fora do limite do sistema sob análise. Essas perdas (e possíveis ganhos) estão incluídas no fator de energia primária.

3.4.2 Pesos do uso da energia - ISO

Os fatores de energia primária variam em todo o mundo. No entanto, para comparação internacional do desempenho energético de uma edificação, um fator comum de desempenho da energia estabelecido pela ISO pode ser utilizado.

O fator de peso do uso da energia definido pela ISO é calculado a partir da energia consumida e exportada para cada fornecedor de energia:

$$E_{iso} = \text{SUM } E_{iso} \text{ consumo} - \text{SUM } E_{iso} \text{ exportado}$$

3.4.3 Energia primária

O uso de energia primária anual, E_p , é calculado através da energia entregue e exportada de cada fornecedor de energia:

$$E_p = \text{SUM } E_p \text{ entregue} - \text{SUM } E_p \text{ exportado}$$

Com:

$$E_p \text{ entregue} = E_{ep} \text{ entregue} \times f_p \text{ entregue}$$

$$E_p \text{ exportado} = E_{ep} \text{ exportado} \times f_p \text{ exportado}$$

Onde:

E_p é a energia primária anual usada para todos os usos de energia, em MJ ou kWh;

E_p entregue é a quantidade de energia entregue, em unidade de energia primária, em MJ ou kWh;

E_p exportado é a quantidade de energia exportado, em unidade de energia primária, em MJ ou kWh;

E_{ep} entregue é a quantidade de energia entregue, por cada tipo de energia e fornecedor, para todos os usos da energia, em MJ ou kWh

E_{ep} exportado é a quantidade de energia exportada, por cada tipo de energia e receptor, para todos os usos da energia, em MJ ou kWh;

fp entregue é o fator de energia primária para cada tipo de energia entregue;
fp exportado é o fator de energia primária para cada tipo de energia exportada.

Os fatores fp entregue e fp exportado podem ser os mesmos.

3.4.4 Fatores de energia primária

Existem duas convenções para definição dos fatores de energia primária:

- a) Fator de energia primária total: Os fatores de conversão representam toda a energia utilizada entregue até o ponto de uso (por exemplo, produção fora dos limites do sistema, transporte, extração). Neste caso, o fator de conversão da energia primária excede a unidade;
- b) Fator de energia primária não renovável: Os fatores de conversão representam a energia utilizada entregue até o ponto de uso mas exclui componentes de energia renovável, que leva a fatores de conversão de energia primária menores que a unidade para fontes de energia renovável.

Os fatores de energia primária devem incluir, no mínimo:

- energia de produção da energia primária;
- energia de transporte da energia da produção até o local de utilização;
- energia usada no processo, estoque, geração, transmissão, distribuição e qualquer outra operação necessária para entrega à edificação no qual a energia é utilizada

Os fatores de energia primária também podem incluir:

- energia para construir transformação de unidades;
- energia para construir sistemas de transporte, e
- energia para limpeza ou disposição de resíduos

Valores de fatores que representem as condições locais para geração de eletricidade e suprimento de combustíveis devem ser estabelecidos.

3.5 Rateio de CO₂

3.5.1 Emissões de CO₂

A massa emitida de CO₂ é calculada a partir da energia entregue e exportada para cada fornecedor de energia:

$$mCO_2 = \text{SUM} (E_{ent} \times k_{ent}) - \text{SUM} (E_{exp} \times k_{exp})$$

Onde:

E_{ent} é a energia entregue por cada fornecedor de energia;

E_{exp} é a energia exportada para cada fornecedor de energia;

Kent é o coeficiente de emissão de CO₂ para cada fornecedor de energia;
Kexp é o coeficiente de emissão de CO₂ para cada exportador de energia.

Os coeficientes Kent e Kexp podem ser os mesmos.

3.5.2 Coeficientes de emissão de CO₂

O coeficiente de emissão de CO₂ deve incluir as emissões associadas à energia primária a ser utilizada na edificação. Ele deve ser definido a nível nacional e deve incluir emissões equivalentes de outros gases de efeito estufa (por exemplo: metano).

3.6 Rateio considerando política energética

Com o objetivo de influenciar o uso da energia por parte dos consumidores, fatores de políticas podem ser utilizados para favorecer, ou penalizar, algum fornecedor ou tipo de energia. Fatores de política para rateio são calculados a partir da energia entregue e exportada de cada fornecedor de energia:

$$E_{pol} = \text{SUM} (E_{ent} \times f_{pol\ ent}) - \text{SUM} (E_{exp} \times f_{pol\ exp})$$

Onde:

E_{ent} é a energia entregue por cada fornecedor de energia;

E_{exp} é a energia exportada para cada fornecedor de energia;

F_{pol ent} é o fator de política para cada fornecedor de energia;

F_{pol exp} é o fator de política para cada exportador de energia.

4 Cálculo de rateio de energia

4.1 Procedimento de cálculo

4.1.1 Geral

A determinação de cálculo considera desde a necessidade de uso final até a fonte de energia (ex: das necessidades de uso de energia da edificação para a energia primária).

Serviços de eletricidade (ex: iluminação, ventilação, auxiliar) e serviços térmicos (ex: aquecimento, refrigeração, humidificação, desumidificação, aquecimento de água) são considerados separadamente dentro dos limites da edificação.

A produção de energia dentro dos limites da edificação, baseada em fontes renováveis disponíveis e as energias entregues são consideradas separadamente.

4.1.2 Passos de cálculo

O objetivo do cálculo é determinar a quantidade total de energia anual utilizada, a energia primária ou a emissão de CO². Para diferentes serviços prediais, o cálculo pode ser feito de duas maneiras diferentes:

- cálculo do desempenho usando valores médios anuais;
- cálculo do desempenho dividindo-se o ano em um número de períodos de cálculo (ex: meses, horas, etc.), realizando o cálculo para cada período usando valores associados, e consolidando os resultados de todos os períodos na base anual.

Tabelas podem ser utilizadas para resumir o desempenho energético anual da envoltória da edificação e dos sistemas prediais.

4.1.3 Princípios de cálculo de ganhos e perdas recuperáveis

4.1.3.1 Geral

A interação entre diferentes serviços de energia (ex: aquecimento, refrigeração, iluminação) são levados em consideração pelos métodos de cálculo de ganhos de aquecimento e sistemas de recuperação de perdas nos quais possa ter um impacto positivo, ou negativo, do desempenho energético da edificação.

Podem ser consideradas as necessidades da edificação de acordo com a ISO 13790. Os ganhos de aquecimento e perdas térmicas recuperáveis (ex: ganho de aquecimento solar, ganho de processos metabólicos, etc.) incluídos nas necessidades da edificação devem ser definidos a nível nacional. Eles devem ser especificados em relatórios apropriados que devem ser levados em consideração.

Duas abordagens são possíveis para se levar em conta perdas térmicas recuperáveis que não estão incluídas nas necessidades de energia da edificação, conforme apresentado a seguir.

4.1.3.2 Abordagem holística

Na abordagem holística, a totalidade dos efeitos de otimização de aquecimento e fontes presentes na edificação e os sistemas prediais que são recuperáveis por condicionamento do espaço podem ser considerados no cálculo das necessidades de energia térmica.

Como as perdas dos sistemas de serviços prediais térmicos dependem da entrada da energia, que por sua vez depende das fontes térmicas dos sistemas de recuperação, iterações para determinação de valores podem ser necessárias.

O procedimento para cálculo é o seguinte:

- a) Calcular, para cada subsistema, as perdas térmicas recuperáveis (podem ser utilizadas normas como ENI 5241, ENI 5243, ENI 5316 ou outras aplicáveis)
- b) Adicionar as perdas térmicas recuperáveis às outras fontes de calor recuperáveis (ex: solar, sistema de água quente, etc.) para o cálculo das necessidades de aquecimento e refrigeração
- c) Calcular a energia térmica necessária para aquecimento e refrigeração novamente.
- d) Repetir as etapas a) até c) até que as mudanças entre as necessidades de energia entre duas iterações sucessivas sejam menores que um limite definido (ex: 1%) or interromper o processo depois de um número de iterações, conforme definido em nível nacional.
- e) Calcular a diferença entre a energia no início do processo e no final das iterações. Este valor representa a quantidade de energia recuperável nos sistemas térmicos.

4.1.3.3 Abordagem simplificada

Na abordagem simplificada, as perdas recuperáveis dos sistemas de aquecimento são obtidas pela multiplicação das perdas recuperáveis dos sistemas térmicos por fator convencional de recuperação e são diretamente subtraídos das perdas de cada sistema de serviço predial considerado. Isto elimina a necessidade de iterações.

O procedimento para cálculo é o seguinte:

- a) Calcular, para cada subsistema, as perdas térmicas recuperáveis (podem ser utilizadas normas como ENI 5241, ENI 5243, ENI 5316 ou outras aplicáveis).
- b) Calcular as perdas térmicas recuperáveis multiplicando-se o valor calculado em a) por um fator convencional de recuperação.
- c) Subtrair as perdas recuperáveis dos sistemas térmicos do total de perdas térmicas dos sistemas considerados.

Os valores de fatores de recuperação podem ser estabelecidos a nível nacional para os tipos de sistemas mais usuais. Para sistemas complexos (instalação de aquecimento e refrigeração) a abordagem holística é recomendada.

4.2 Relação de fórmulas aplicáveis

4.2.1 Fórmulas em nível primário

A demanda anual de energia, por fornecedor de energia, é determinada pelas fórmulas apresentadas a seguir.

Para eletricidade:

A quantidade de eletricidade entregue é igual à quantidade de eletricidade utilizada menos a parte de eletricidade produzida na edificação (ex: painéis solares, energia eólica) que é utilizada para

para cobrir parte do uso.

$$Eep \text{ entregue} = Eep \text{ usada} - Eep \text{ produzida}$$

Para outros tipos de energia:

A quantidade de energia entregue é igual à quantidade de energia (na forma que essa energia é entregue) que é usada na edificação para cálculo de desempenho energético.

$$Eep \text{ entregue} - Eep \text{ usada}$$

Onde:

Eep entregue é a energia anual entregue, por tipo de fornecedor, para desempenho energético, incluindo (se existente) energia usada para produzir energia na própria edificação (MJ ou kWh);

Eep usada é a energia anual usada para desempenho energético, por tipo de fornecedor (MJ ou kWh);

Eep produzida é a parte da eletricidade anual produzida na edificação, que é utilizada na própria edificação para desempenho energético (MJ ou kWh).

4.2.2 Fórmulas para uso de energia

As fórmulas podem ser agrupadas por tipo de uso da energia. Por exemplo para resfriamento:

A energia anual utilizada para resfriamento de ambiente (C), para cada fornecedor de energia (ci), é igual à soma de todos os períodos do ano (mi) que a energia é entregue aos equipamentos (gi) que utilizam energia do fornecedor (ci), para todos os sistemas envolvidos (si)

$$Ec,ci = \text{SUM}(mi) \text{ SUM}(si) \text{ SUM}(gi) Ec$$

Onde:

Ec,ci é a energia anual utilizada para resfriamento de ambiente, para cada fornecedor (ci) (MJ ou kWh), determinada de acordo com normas aplicáveis para os sistemas de resfriamento;

Ec é a energia anual utilizada (C), por período mi, sistema si e desse sistema, o equipamento gi, obtendo energia do fornecedor ci (MJ ou kWh).

4.3 Necessidades térmicas da edificação

As necessidades térmicas da edificação, transferências térmicas da edificação, e ganhos térmicos da edificação e perdas térmicas recuperáveis podem ser relatadas conforme descrito na Tabela C3.

Tabela C3 – Necessidades de energia da edificação

	C1	C2	C3	C4	C5
	Aquecimento		Resfriamento		Água quente
	Calor sensível	Calor latente (humidificação)	Calor sensível	Calor latente (desumidificação)	
L1 – ganhos de calor da edificação e perdas térmicas recuperáveis	QH,gn QH,ls,rbl	-	QC,gn + QC,ls,rbl	-	-
L2 – transferências térmicas da edificação	QH,ht	-	QC,ht	-	-
L3 – necessidades térmicas da edificação	QH,nd	QH,hum,nd	QC,nd	QC,dhum,nd	QW,nd

As entradas necessárias são calculadas de acordo com as seguintes normas internacionais listadas abaixo:

QH,nd	energia necessária para aquecimento de ambiente (sem humidificação)	ISO 13790
QC,nd	energia necessária para resfriamento de ambiente (sem desumidificação)	ISO 13790
QW,nd	energia necessária para água quente	EN 15136
QH,ht	transferência de calor por transmissão e ventilação da edificação quando aquecida	ISO 13790
QC,ht	Transferência de calor por transmissão e ventilação da edificação quando resfriada	ISO 13790
QH,gn	Ganho de aquecimento solar e interno da edificação quando aquecida	ISO 13790
QC,gn	Ganho de aquecimento solar e interno da edificação quando resfriada	ISO 13790
QH,ls,rbl	Perdas térmicas recuperáveis de sistemas prediais quando aquecidos	ISO 13790
QC,ls,rbl	Perdas térmicas recuperáveis de sistemas prediais quando resfriado	ISO 13790
QH,hum,nd	Energia térmica para umidificação	EN 15241
QC,hum,nd	Energia térmica para desumidificação	EN 15243

4.4 Sistemas prediais

4.4.1 Perdas térmicas de sistemas prediais, elétricos e de energia auxiliar sem equipamentos de geração

As perdas dos sistemas e a energia elétrica e auxiliar sem geração podem ser relatadas utilizando-se o modelo da Tabela C4.

Tabela C4 – Perdas térmicas dos sistemas e energia auxiliar sem geração interna

	C1	C2	C3	C4	C5
	Aquecimento	Resfriamento	Água quente	Ventilação	Iluminação
L4 – energia elétrica	WH,ngen	WC,ngen	WW,ngen	EV	EL
L5 – perdas em sistemas térmicos	QH,ngen,ls	QC,ngen,ls	QW,ngen,ls		
L6 – perdas recuperáveis e m sistemas térmicos	QH,ngen,ls,rbl	QC,ngen,ls,rbl	QW,ngen,ls,rbl	QV,ls,rbl	QL,ls,rbl
L7 – entradas térmicas de sistemas de distribuição	QH,dis,in	QC,dis,in	QW,dis,in		

As perdas de sistemas térmicos em edificações sem equipamento de geração incluem perdas na emissão, distribuição e armazenamento (se não incluídos na parcela de geração) dos respectivos sistemas.

As saídas térmicas dos sistemas de distribuição de refrigeração incluem necessidades térmicas de desumidificação.

As saídas térmicas dos sistemas de ventilação incluem as necessidades térmicas de umidificação.

As entradas necessárias são calculadas de acordo com normas internacionais aplicáveis, como as apresentadas a seguir:

QH,ngen,ls	Perdas térmicas, energia auxiliar de sistemas de aquecimento sem geração	sem	EN 15316-1
QH,ngen,ls,rbl			
WH,ngen			
QC,ngen,ls	Perdas térmicas, energia auxiliar de sistemas de resfriamento sem geração (incluindo desumidificação)		EN 15243/15241
QC,ngen,ls,rbl			
WC,ngen			
QW,ngen,ls	Perdas térmicas, energia auxiliar de sistemas de aquecimento de água sem geração		EN 15216-3-2
QW,ngen,ls,rbl			
WW			
EV	Energia utilizada para ventilação (incluindo umidificação) em sistemas de perdas térmicas		EN 15241
QV,ls,rbl			
EL	Energia utilizada para iluminação e dissipação de calor pelos sistemas de iluminação		EN 15193

4.4.2 Sistemas de geração de energia térmica

As entradas de energia térmica para os sistemas de distribuição devem ser supridas por saídas de energia térmica dos sistemas de geração de calor da edificação ou fornecimento de energia de fora da edificação (ex: aquecimento distrital).

A necessidade de calor para o sistema de distribuição é dividido de acordo com o projeto do sistema para diferentes equipamentos de geração da edificação e a energia fornecida diretamente de fora da edificação.

A Tabela C5 possui uma coluna para cada sistema de geração, incluindo cogeração, bombas de calor, unidades de refrigeração, aquecimento solar térmico, painéis fotovoltaicos, etc. A energia entregue diretamente para os sistemas de distribuição sem transformação de energia (ex: eletricidade, etc.) é também levada em consideração nessas colunas.

Tabela C5 – Sistemas de geração de energia

Tipo de gerador	C1 – Ger1	C2 – Ger 2	C3 – Ger 3
Sistema de distribuição atendido (a)			
L8 – saída térmica	Q _{gen,out,1}	Q _{gen,out,2}	Q _{gen,out,3}
L9 – energia auxiliar	W _{gen,1}	W _{gen,2}	W _{gen,3}
L10 – sistema (gerador) perdas térmicas	Q _{gen,ls,1}	Q _{gen,ls,2}	Q _{gen,ls,3}
L11 – sistema de perdas térmicas recuperáveis	Q _{gen,ls,rbl,1}	Q _{gen,ls,rbl,2}	Q _{gen,ls,rbl,3}
L12 – entrada da energia	E _{gen,in,1}	E _{gen,in,2}	(c)
L13 – produção de eletricidade	E _{el,gen,out,1}	E _{el,gen,out,2}	E _{el,gen,out,3}
L14 – energia de fornecedor (b)			
(a) nome do sistema suprido (aquecimento, resfriamento, água quente, etc.) (b) nome do fornecedor de energia usado pelo gerador (óleo, gás, aquecimento solar, etc.) (c) para energias renováveis produzidas na edificação ou energia vinda de outros geradores situados dentro do limite do sistema, não há entrada de energia a ser levada em consideração			

No caso de um gerador prover entrada para outro gerador (ex. cogeração por chiller de absorção), é diferenciado entre a saída térmica do sistema de distribuição e a saída térmica para geração. A saída térmica, as perdas térmicas e a energia de entrada do segundo gerador são somente dados para informação mas não contabilizados no balanço energético dos sistemas de geração.

Para bombas de calor, a diferença entre a energia de entrada e a saída térmica somas às perdas térmicas é levado em consideração no balanço energético da edificação como energia recuperada (dentro do limite do sistema) ou como energia renovável produzida pela edificação se o calor é coletado através do limite do sistema (ex: bomba de calor com troca térmica com o terreno).

Se uma bomba de calor é utilizada para gerar calor para aquecimento de ambiente ou de água e na extração de calor para resfriamento, o fornecimento de calor requerido é indicado na linha L8 da tabela como quantidades separadas.

Se um gerador provê energia para aquecimento e resfriamento, então as perdas térmicas do gerador e a energia auxiliar são divididas entre esses dois serviços de acordo com as saídas térmicas.

As perdas do sistema de geração e os usos da energia auxiliar são calculadas de acordo com a EN 15316 (em suas partes aplicáveis), ou através de outras normas internacionais aplicáveis para sistemas de aquecimento e de acordo com a EN 15243 ou através de normas internacionais aplicáveis para sistemas de resfriamento, e relatadas de acordo com a Tabela C5. Abaixo a relação de termos que podem ser calculados através da norma citada:

$Q_{gen,out,i}$	Saída térmica do equipamento de geração i
$Q_{gen,ls,i}$	Perda térmica do sistema do equipamento de geração i
$Q_{gen,ls,rbl,i}$	Perdas térmicas recuperáveis do equipamento de geração i
$W_{gen,i}$	Energia auxiliar do equipamento de geração i
$E_{el,gen,out,i}$	Produção de eletricidade do equipamento de geração i
$E_{gen,in,i}$	Entrada de energia do equipamento de geração i
$E_{gen,in,j}$	Igual à saída de calor e a saída de eletricidade somada à perdas do sistema menos as perdas térmicas recuperadas (abordagem simplificada)

Na abordagem simplificada, as perdas recuperáveis dos sistemas térmicos são deduzidas das perdas dos sistemas térmicos. No entanto, o total de perdas recuperadas dos sistemas térmicos devem ser divididas entre os diferentes geradores de forma a continuar o cálculo até que o rateio de energia seja mensurável levando-se em consideração cada fornecedor de energia.

Neste ponto, os fornecedores de energia são levados em consideração (óleo, gás, biomassa, aquecimento de sistema solar, eletricidade de painéis fotovoltaicos, etc.). Eles são indicados na linha L14 da Tabela C5.

A entrada dos sistemas de geração da edificação (soma de saída térmica e elétrica dos sistemas de geração, e perdas térmicas da geração) devem ser supridas pela saída de energia dos diferentes fornecedores de energia e das energias renováveis produzidas pela edificação.

A produção de energia da edificação é dividida de acordo com o projeto do sistema entre a energia utilizada pela edificação e a energia exportada.

5 Conclusões

Este documento propõe mecanismos de cálculo para o desempenho energético de edificações que podem ser utilizados para a identificação de seu nível de eficiência no uso da energia.

Reconhece-se uma relação de usos de energia amplo, particularmente focalizando aspectos térmicos (calor e frio) como direcionadores principais do uso da energia. Destaca-se o reconhecimento de sutilezas e características de uso bastante sofisticadas (umidificação, desumidificação) que não se encontram presentes em modelos atualmente utilizados no Brasil.

A proposta destaca a necessidade de se observar o balanço energético de uma identificação, partindo-se a definição clara de limites a serem tratados. A partir desses “limites”, reconhece-se a possibilidade de que a edificação consuma energia (através de seus sistemas convencionais de uso) e também possa gerar energia (através da adoção de sistemas internos que permitam “exportar” energia, desde que excedente).

São estabelecidos formatos de cálculo para o rateio do uso da energia, com o objetivo de isolar e tratar subsistemas (consumidores e produtores) aplicáveis às diversas condições da edificação (projeto, construção, reforma, uso contínuo).

Dentro do conceito do rateio do uso da energia, reconhecem-se tipos específicos, particularmente vinculados aos aspectos da envoltória da edificação, dos sistemas prediais específicos, e da possibilidade de expressão da energia através do consumo de energia primária e geração de CO², formas consideradas como relevantes, dentro do cenário internacional, para o estabelecimento de adequação do uso da energia e sua identificação de “eficiência”.

O cálculo de rateio preconizado leva em consideração, ainda, detalhes da operação energética da edificação, tais como perdas térmicas recuperáveis, aspectos de cogeração, usos de energia renováveis entre outros.

O modelo apresentado é fonte de inspiração para análise do futuro das regulamentações de eficiência energética das edificações, estabelecendo conceitos mais amplos e robustos, alinhados com o pensamento internacional vigente.

Bibliografia

ISO 16346:2013 - Energy performance of buildings -- Assessment of overall energy performance

ISO 16343:2013 - Energy performance of buildings -- Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings