

Ferramenta para a análise de soluções de reabilitação de edifícios – otimização económica, energética e ambiental

André Ferreira
Departamento Técnico
Top Informática, Lda.
Braga, Portugal
andre.ferreira@topinformatica.pt

Paula Assis
Departamento Técnico
Top Informática, Lda.
Braga, Portugal
paula.assis@topinformatica.pt

Ricardo Figueira
Departamento Técnico
Top Informática, Lda.
Braga, Portugal
ricardo.figueira@topinformatica.pt

Resumo—Num período em que a conjuntura económica aponta para a reabilitação do edificado, esta deve ser feita sem cometer os erros do passado, em que o fator custo/benefício foi negligenciado. Através da utilização de uma base de dados para definição de custos de materiais e atividades relacionadas com a construção, integrada com um *software* de cálculo térmico certificado pela norma ISO/IEC 25051:2006 com o selo Certif/SCE e reconhecido pela Agência para a Energia (ADENE), é possível efetuar um estudo económico e ambiental que permite apoiar os técnicos na elaboração da proposta de intervenção.

Palavras-chave: sustentabilidade; medidas de melhoria emissões de CO₂; certificação energética; obras; custos

I. INTRODUÇÃO

Desde o dia 1 de janeiro de 2009, o Sistema Português de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior nos Edifícios prevê que todos os edifícios ou frações de edifícios existentes, para habitação ou serviços, alvo de novos contratos de venda ou locação, possuam um Certificado Energético (CE), emitido por um Perito Qualificado (PQ). O CE prevê que o PQ que o elaborou proponha um conjunto de soluções de reabilitação que devem privilegiar a correção de patologias construtivas, a redução de necessidades de energia através de uma intervenção na envolvente do edifício e a utilização de energias renováveis e sistemas energeticamente eficientes.

Este trabalho pretende apresentar uma metodologia e um *software* de suporte ao PQ, que possibilitam analisar a viabilidade económica e ambiental das soluções de reabilitação a propor. Através do modelo informático o PQ pode simular as necessidades energéticas, tendo em conta a regulamentação aplicável, e analisar as várias alternativas de reabilitação. As soluções de reabilitação podem ser definidas a partir de uma base de dados que disponibiliza custos de construção e permite a inclusão de critérios adicionais, como emissões de CO₂.

É apresentado um caso de estudo que aplica a metodologia e o *software* proposto no estudo de soluções de reabilitação da envolvente exterior de um edifício.

II. METODOLOGIA DE ANÁLISE

A análise económica baseia-se nos custos de implementação das soluções de reabilitação energética, disponibilizados por bases de dados de trabalhos de construção civil. Os custos de exploração do edifício para climatização e preparação de águas quentes sanitárias (AQS), após cada proposta de intervenção, resultam da análise preconizada pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [1].

Os custos de investimento de cada proposta de intervenção são determinados através da expressão seguinte.

$$CI = \sum_{i=1}^n C_{S_i} \quad (1)$$

sendo:

CI – Custo de investimento da proposta de intervenção, €

C_{S_i} – Custo da solução de reabilitação i, €

Não considerando custos de manutenção, a expressão seguinte, baseada na proposta por Freitas [2], permite calcular o custo de exploração tendo em conta a variação dos custos da energia e uma taxa de capitalização:

$$C_{exp_n} = \left(t_i \frac{N_{ic}}{\eta_i} \cdot \frac{C_{ei}(1+\varphi_{ei})^n}{(1+\alpha)^n} + t_v \frac{N_{vc}}{\eta_v} \cdot \frac{C_{ev}(1+\varphi_{ev})^n}{(1+\alpha)^n} + N_{ac} \cdot \frac{C_{ea}(1+\varphi_{ea})^n}{(1+\alpha)^n} \right) Au \quad (2)$$

sendo:

C_{exp_n} – Custo de exploração no ano n, remetido para o ano zero, €
 t_i – Coeficiente que traduz a percentagem média do tempo em que o sistema de aquecimento permanece ligado
 N_{ic} – Energia necessária na estação de aquecimento, kW·h/m²·ano
 η_i – Eficiência nominal do sistema de aquecimento
 C_{ei} – Custo da energia utilizada no sistema de aquecimento, €/kW·h
 t_v – Coeficiente que traduz a percentagem média do tempo em que o sistema de arrefecimento permanece ligado
 N_{vc} – Energia necessária na estação de arrefecimento, kW·h/m²·ano
 η_v – Eficiência nominal do sistema de arrefecimento
 C_{ev} – Custo da energia utilizada no sistema de arrefecimento, €/kW·h
 N_{ac} – Energia necessária para preparação das AQS, já afetado da eficiência, kW·h/m²·ano
 C_{ea} – Custo da energia do sistema de preparação de AQS, €/kW·h
 φ_{ei} – Taxa de crescimento anual do custo da energia utilizada no sistema de aquecimento
 φ_{ev} – Taxa de crescimento anual do custo da energia utilizada no sistema de arrefecimento
 φ_{ea} – Taxa de crescimento anual do custo da energia utilizada no sistema de preparação de AQS
 α – Taxa de capitalização
 A_u – Área útil, m²

Para uma análise económica será utilizado o parâmetro período de retorno. Este parâmetro pode ser obtido a partir da expressão (2) determinando o ano n para o qual o custo acumulado de exploração da solução, adicionado do custo de investimento, é superado pelo custo de exploração do edifício existente, sem aplicação de qualquer solução de reabilitação.

A análise ambiental da proposta de reabilitação baseia-se na redução das emissões de CO₂ equivalente que a implementação das propostas de reabilitação pressupõe.

O Guia de Procedimentos da ADENE [3] sugere a expressão seguinte para o cálculo das emissões de CO₂ eq. resultantes da exploração:

$$E_{exp} = N_{tc} \cdot f_c \cdot A_u \quad (3)$$

sendo:

E_{exp} – Emissões de CO₂ durante a fase de exploração, CO₂ eq./ano
 N_{tc} – Necessidades nominais globais de energia primária, kgep

f_c – Fator de conversão, 1,2 kg CO₂ eq./kgep

A_u – Área útil, m²

Determinando as emissões de CO₂ eq. que resultam da execução das propostas de reabilitação, pode-se concluir que a proposta de reabilitação mais eficiente será aquela que mais rapidamente permita recuperar as emissões resultantes da sua execução, ou seja, a que possuir o parâmetro período de retorno mais baixo.

III. FERRAMENTA PARA A ANÁLISE

A ferramenta informática apresentada é o *software* CYPE, desenvolvido e produzido para Portugal pela Top Informática, Lda.

O *software* permite criar um modelo tridimensional do edifício, a partir do qual são determinados os parâmetros geométricos necessários para o cálculo (superfícies, comprimentos, ângulos, etc.). A definição dos compartimentos e frações possibilita a identificação de pontes térmicas lineares, para as quais se pode ainda realizar uma análise numérica bidimensional baseada na norma EN ISO 10211.

O modelo de cálculo é o preconizado pelo RCCTE e pode ser ajustado para edifícios existentes de acordo com as simplificações previstas na Nota Técnica NT-SCE-01. Especialmente para este efeito, o *software* possui incorporadas as soluções tipificadas pela publicação ITE50 do LNEC. A modelação das soluções construtivas ou de reabilitação pode ainda ser realizada recorrendo à base de dados do *software*.

Esta é uma base de dados paramétrica, em que os custos e restantes informações das soluções construtivas dependem dos materiais, equipamentos e processos construtivos selecionados. São ainda considerados fatores correccionais, relacionados com as características da obra, no ajuste dos valores obtidos.

O custo de cada solução construtiva é justificado por uma ficha na qual são detalhados, através da indicação do preço unitário e do rendimento, os vários recursos necessários para a sua execução (mão de obra, maquinaria, materiais e outros). As emissões de CO₂ eq. resultam dos materiais e processos utilizados desde a fase de obtenção das matérias primas até à fase de colocação dos materiais em obra.

Da análise realizada ao edifício resultam as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e de preparação de AQS que são utilizadas para a determinação dos custos de utilização. O modelo tridimensional permite quantificar os trabalhos necessários e assim determinar os custos de implementação das propostas de reabilitação.

As emissões de CO₂ eq. são um dos resultados da análise efetuada pelo *software* com base no modelo de cálculo preconizado pelo RCCTE. A utilização da base de dados interna de soluções de reabilitação permite obter, de forma paralela, as emissões de CO₂ eq.

IV. CASO DE ESTUDO

Apresenta-se seguidamente um caso de estudo. Trata-se de uma habitação unifamiliar existente, localizada em Braga, com uma área útil aproximada $A_u = 270 \text{ m}^2$, com dois pisos e sistema de climatização por aquecimento central, alimentado a gás propano, possuindo uma eficiência nominal do sistema de aquecimento $\eta_i = 0.87$ (valor de referência do RCCTE).

Pretende-se determinar a solução com o menor período de retorno financeiro e que permita recuperar mais rapidamente as emissões de CO_2 eq. resultantes da intervenção.



Figura 1. Modelação tridimensional do edifício realizada no software

A parede exterior é dupla em alvenaria de tijolo de 11 cm com caixa de ar de 5 cm, existindo zonas com uma ponte térmica plana, caracterizada por um elemento de betão com 25cm. Em ambos os casos existe um reboco tradicional como revestimento final.

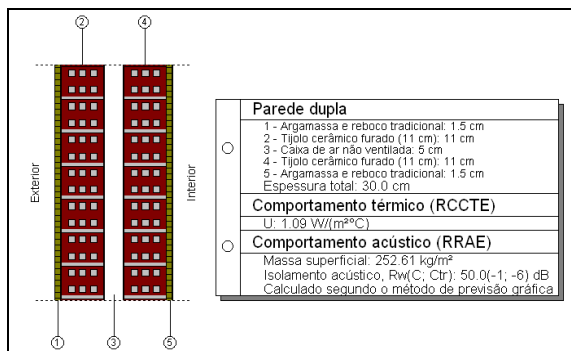


Figura 2. Pormenor da parede exterior

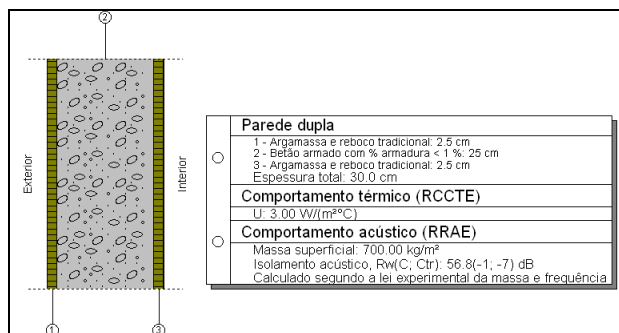


Figura 3. Pormenor da ponte térmica plana da parede exterior

Foram equacionadas as soluções de reabilitação energética descritas na Tabela I. Os custos unitários das soluções de reabilitação foram retirados da base de dados do software. As quantidades foram obtidas a partir do modelo tridimensional.

TABELA I. SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Solução de reabilitação energética	Custo (€/m²)	Quant. (m²)	Total (€)
Solução A – Sistema ETICS para isolamento térmico pelo exterior	57.12	115.4	6491.65
Solução B – Sistema de isolamento térmico interior autoportante	39.44	109.37	4312.55
Solução C – Sistema de isolamento pelo interior através da injeção de isolamento na caixa de ar	16.07	108.00	1735.56

Os resultados de cálculo, segundo o RCCTE, estão descritos na Tabela II.

TABELA II. NECESSIDADES ENERGÉTICAS, DE ACORDO COM A METODOLOGIA DESCRITA NO RCCTE

Solução de reabilitação	Nic ^a (kW·h/m²·ano)	Nv ^b (kW·h/m²·ano)	Nac ^c (kW·h/m²·ano)
Edifício existente	106.64	4.83	8.89
Solução A	88.01	4.76	8.89
Solução B	90.12	4.79	9.03*
Solução C	96.80	4.91	8.89

a. Necessidades nominais de energia útil de aquecimento

b. Necessidades nominais de energia útil de arrefecimento

c. Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias

* Refira-se que este valor aumenta devido à diminuição da área útil resultante da aplicação do isolamento pelo interior

Os custos de exploração resultaram da expressão (2). Para este caso de estudo foi considerada uma taxa de capitalização $\alpha = 3 \%$ e uma taxa de crescimento anual dos custos energéticos $\varphi_{ei} = \varphi_{ea} = 4 \%$, os quais foram estabelecidos, para o ano zero, em 0,156 €/kWh para o gás propano (C_{ei} e C_{ea}).

TABELA III. ANÁLISE ECONÓMICA DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO

Solução de reabilitação	Custo de investimento (€)	Redução dos custos de exploração no 1.º ano (€)	Período de retorno (anos)
Solução A	6591.65	226.34	25
Solução B	4312.55	216.55	18
Solução C	1735.56	119.10	13

As emissões de CO_2 da intervenção resultam da multiplicação dos índices unitários, fornecidos pela base de dados do software, multiplicados pelas quantidades retiradas do modelo tridimensional.

TABELA IV. ANÁLISE AMBIENTAL DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO

Solução de reabilitação	Emissões de CO_2 da intervenção (kg CO_2 eq.)	Redução das emissões de CO_2 (kg CO_2 eq./ano)	Período de retorno (anos)
Solução A	3408	62	>30
Solução B	1616	60	26
Solução C	490	33	15

Através da análise realizada pode-se concluir que a solução C é a que apresenta melhores resultados em termos de viabilidade económica e de redução de emissões de CO₂, embora não seja a que leva a maior poupança energética e a uma classificação melhor no Certificado Energético após a reabilitação.

V. CONCLUSÃO

A metodologia e *software* apresentados permitem dotar os técnicos de ferramentas de análise económica, energética e ambiental de soluções de reabilitação. O *software* permite a simulação combinada de várias soluções de reabilitação, o que proporciona uma melhor otimização.

A metodologia apresentada pode ser completada de modo a contabilizar custos de manutenção na análise económica. Por outro lado, outros indicadores podem ainda ser considerados para efeitos de uma análise ambiental, como a energia incorporada. Em ambos os casos, o *software* disponibiliza, através da base de dados, essa informação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Decreto-lei n.º 80/06 de 4 de abril. Diário da República n.º 67 – I Série-A. Lisboa, 2006.
- [2] Freitas, V.P de *et al*, Edifícios existentes, Lisboa: ADENE, 2011.
- [3] Guia de procedimentos para emissão e registo de DCRs e CEs para edifícios de habitação ou pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização (HsC e PESSC), Lisboa: Adene, 2010.