



AMBIENTE E DIREITOS HUMANOS

Universidade de Aveiro · Portugal

8 > 10 MAIO'18



Conferência Internacional
de Ambiente em Língua Portuguesa

XX Encontro REALP

XI CNA

Volume II

Ambiente e Direitos Humanos

Volume II

Editores

Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling,
Margarida Coelho, João Labrincha

Universidade de Aveiro

8 a 10 de maio de 2018

Ficha Técnica

Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa,
XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa
XI Conferência Nacional do Ambiente

ISBN: 978-972-789-540-3

Nota explicativa

Esta publicação contém as comunicações apresentadas na Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa, XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa e XI Conferência Nacional do Ambiente, que decorreu na Universidade de Aveiro, de 8 a 10 de maio de 2018.

Editores

Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling,
Margarida Coelho, João Labrincha

Desenho da capa

Joana Ivónia

Edição

Departamento de Ambiente e Ordenamento
Universidade de Aveiro

AQUECIMENTO CONVENCIONAL OU AQUECIMENTO URBANO EM EDIFÍCIOS? ESTUDO COMPARATIVO PARA O CAMPUS DO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

Paula REMOR¹, João C. AZEVEDO¹², Rafael ARIOLI³, Manuel FELICIANO¹²

¹ Escola Superior Agrária (ESA), Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

² Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, Brasil

paularemor94@hotmail.com, jazevedo@ipb.pt, arioli@utfpr.edu.br, msabenca@ipb.pt

Resumo

Os sistemas de Aquecimento Urbano (District Heating) são considerados uma forma de contribuir para o aumento da eficiência energética no setor residencial e, se combinado com fontes de energia renováveis, como é o caso da biomassa florestal, contribuirão ainda para estratégias ambientais como as de redução de emissões de carbono para a atmosfera. Este trabalho tem como objetivo comparar o sistema de aquecimento convencional atualmente existente no Campus de Santa Apolónia do Instituto Politécnico de Bragança a sistemas de aquecimento urbano alimentados a biomassa. A análise envolveu a utilização do software RETScreen na modelação do sistema atual e de cenários de aquecimento alternativos, incluindo sistemas de cogeração, e baseou-se em indicadores energéticos, económicos e ambientais. A ponderação dos resultados permite concluir que sistemas de aquecimento urbano com base em tecnologia de cogeração e utilização de biomassa reduzem custos com aquisição de combustível, para além de emitirem menos gases de efeito estufa.

Introdução

O aumento das preocupações ambientais, decorrentes da evolução crescente das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) associado ao uso de combustíveis fósseis, tem contribuído para a expansão, na Europa e na América do Norte, de sistemas de Aquecimento Urbano (*District Heating*). O aquecimento urbano permite que um conjunto de edifícios sejam abastecidos de calor a partir de uma fonte centralizada, para aquecimento de espaços físicos e/ou utilização direta.¹

A energia solar, geotérmica e da biomassa (bioenergia) são exemplos de fontes de energia renovável frequentemente usadas em sistemas de aquecimento urbano.² A biomassa, depois de um período de esquecimento, vem ganhando espaço como fonte de energia em muitos países, desenvolvidos ou não.³ O seu aproveitamento para fins energéticos traz vantagens não apenas na luta contra incêndios e emissões de GEE, como também beneficia a economia dos países e das regiões, gerando oportunidades

de emprego e negócio em diversos setores, para além de contribuir para uma menor dependência energética.⁴

O aquecimento urbano pode ser associado a sistemas de cogeração de energia¹, processo de produção simultânea de calor e eletricidade, aumentando a eficiência da conversão pelo aproveitamento do calor gerado, de outra forma perdido, para aquecimento.

O presente estudo tem por objetivo avaliar em termos energéticos, económicos e ambientais o uso de sistemas de aquecimento alternativos ao atualmente implementado no *Campus* de Santa Apolónia do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Portugal, com base em modelação e simulação. Neste trabalho comparou-se o sistema de aquecimento em funcionamento com sistemas de aquecimento urbano com utilização de *pellets* para produção de calor e utilizando um sistema de cogeração à escala do *Campus*. Considerou-se ainda o sistema atual com a substituição de caldeiras a gás natural por caldeiras alimentadas a biomassa florestal na forma de *pellets*.

Metodologia

Para alcançar os objetivos definidos, adotou-se uma metodologia adaptada de Vallios et al.⁵ que compreendeu seis etapas, como representado no esquema da Figura 1.

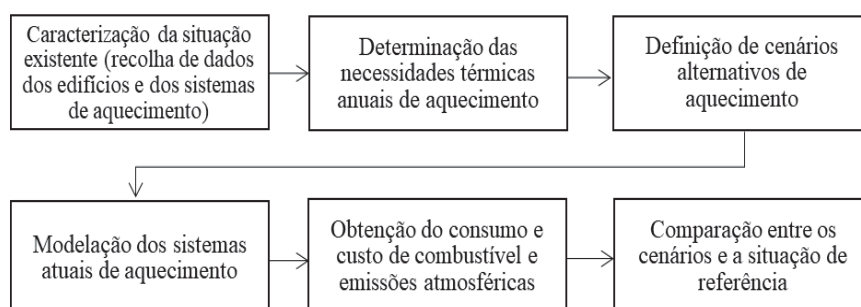


Figura 1: Sequência de passos seguidos na metodologia adotada.

Caracterização da Situação Atual

O Campus de Santa Apolónia inclui dez edifícios: as escolas de Tecnologia e Gestão (ESTiG), Agrária (ESA) e de Educação (ESE); os Serviços Centrais, de Ação Social; o Centro Académico; a Cantina; e três residências para estudantes (Verde, Castanha e Gulbenkian). Contudo, para este estudo consideraram-se apenas sete destes edifícios: as três escolas (ESA, ESE e ESTiG), a Cantina e as três residências estudantis. O sistema de aquecimento do campus é convencional e composto por sistemas independentes nos vários edifícios, onde uma ou mais caldeiras abastecidas a gás natural e tubulações transportam a água quente até radiadores instalados nos espaços aquecidos. Os edifícios apresentam características construtivas e dimensões distintas, além de

diferenças em termos de necessidades térmicas, de potências térmicas instaladas, de cargas de aquecimento e horário de funcionamento das caldeiras. A caracterização dos sistemas de aquecimento e dos edifícios foi feita com base em dados disponíveis em documentos pelo IPB complementados por informação fornecida pelos Serviços de Manutenção da instituição (Tabela 1).

Tabela 1: Caracterização dos sistemas de aquecimento dos edifícios do Campus do IPB

Edifício	Capacidade da Caldeira (kW)	Horário de Funcionamento
ESA	1400	Seg - Sex: 7h às 19h Sáb: 7h às 16h
ESE	400	Seg - Sab: 7h às 19h
ESTiG	1100	Seg - Sex: 7h às 21h Sáb: 7h às 16h
Cantina	250	Contínuo
Res. Verde	500	Contínuo
Res. Castanha	165	Contínuo
Res. Gulbenkian	90	Contínuo

Determinação das Necessidades Térmicas

A determinação das necessidades de aquecimento anuais de cada edifício foi feita recorrendo à metodologia graus-dia (MGD).⁶ Este método baseia-se no cálculo do somatório da diferença entre uma temperatura base no interior e a temperatura média diária no exterior, sempre que a temperatura diária é inferior à temperatura de base, no caso deste estudo de 18°C. A estimativa dos valores das cargas médias de aquecimento dos edifícios (Tabela 2) baseou-se nas características de isolamento térmico dos mesmos, da temperatura de projeto dos sistemas de aquecimento, e em resultados obtidos num estudo desenvolvido anteriormente para o edifício da Escola Superior de Educação, incluído neste estudo.⁷

Tabela 2: Cargas médias de aquecimento dos edifícios do Campus do IPB estudados

Edifício	Área (m ²)	Carga de Aquecimento(W.m ⁻²)
ESA	13.810,00	45
ESE	7.589,00	48
ESTiG	12.239,00	45
Cantina	1.856,31	40
Res. Verde	3.720,05	48
Res. Castanha	1812,41	45
Res. Gulbenkian	683,52	58

Definição de Cenários Alternativos

De modo a identificar o melhor sistema de aquecimento a biomassa florestal, do ponto de vista energético, económico e ambiental, definiram-se 5 cenários que foram

comparados entre si e também com o sistema de referência, o sistema atual de aquecimento do Campus.

- Cenário 1: Sistema convencional com queima de biomassa

Este cenário é semelhante ao cenário de referência em que cada edifício possui uma caldeira e radiadores nos espaços físicos que recebem aquecimento. Contudo, o abastecimento das caldeiras é feito com biomassa na forma de *pellets*. Os *Pellets* resultam da compactação de material lenhoso, criando um combustível sólido mais uniforme, com melhores propriedades energéticas e mais fácil e barato de empacotar, transportar e armazenar.

- Cenário 2: Aquecimento Urbano com utilização de biomassa

Este cenário considera uma central de aquecimento, abastecida a biomassa na forma de *pellets*, para suprir as necessidades de aquecimento de todos os edifícios do Campus. A partir desta central, a água quente é levada aos edifícios por uma malha de tubulações duplas subterrâneas que servem de saída de água quente (75 a 115°C) em direção aos sistemas de distribuição interna, por tubulações secundárias dos edifícios, e regresso à central de aquecimento a uma temperatura inferior (35 a 60°C). A modelação deste cenário teve por base as mesmas características dos edifícios adotadas para o cenário 1 tendo-se, no entanto, adotado uma caldeira com uma potência térmica igual à soma das potências térmicas instaladas nos edifícios (Tabela 1). Os comprimentos das tubulações primárias e secundárias de transporte de água foram estimados com base em distâncias lineares na plataforma Google Earth.⁸

- Cenário 3: Aquecimento Urbano com utilização de Gás Natural

Este cenário possui as mesmas características do cenário 2. Contudo, a central de aquecimento é abastecida a gás natural.

- Cenário 4: Aquecimento Urbano com sistema de cogeração e utilização de biomassa

Este cenário difere dos restantes devido ao facto de incluir um sistema de cogeração, com produção simultânea de eletricidade e calor, na mesma central, com utilização de biomassa florestal na forma de *pellets* como combustível. Para a modelação, consideraram-se as características dos edifícios dos outros cenários, e uma central para suprir a necessidade de aquecimento e de eletricidade (Tabela 3) para todos os edifícios estudados, com base nas características do sistema de aquecimento urbano dos cenários 2 e 3.

Tabela 3: Dados do consumo elétrico anual dos edifícios

Edifício	Consumo elétrico (GJ.ano ⁻¹)
ESA	2700,0

ESE	1285,0
ESTIG	2502,0
Cantina	298,8
Res. Verde	565,2
Res. Castanha	291,6
Res. Gulbenkian	108,0
Total	7750,6

A tecnologia considerada para geração de energia baseia-se numa turbina a gás, uma das tecnologias mais utilizadas em centrais de cogeração⁹ e adequada ao caso concreto do Campus do IPB.¹⁰

- Cenário 5 – Aquecimento Urbano com sistema de cogeração e utilização de gás natural

Este cenário é semelhante ao cenário 4 diferenciando-se apenas pela utilização de gás natural em substituição da biomassa.

Modelação

A modelação foi realizada com o *software* RETScreen 4¹¹, ferramenta que permite avaliar uma série de sistemas como os de aquecimento, arrefecimento e cogeração, entre outros, obedecendo a parâmetros específicos dos edifícios. O RETScreen é apresentado numa interface em Excel, dividida em sete folhas de cálculo dinâmicas: Caracterização inicial do projeto, Modelo Energético, Análise de Custo, Análise de Emissões de GEE, Análise Financeira, Análise de Risco e ferramentas de apoio. Para projetos que envolvem produção de calor ou frio é acrescentada uma folha de cálculo referente à Carga e Rede. Esta, juntamente com a do Modelo Energético, são as de maior relevância para o presente trabalho, já que são nelas que se definem as principais características do sistema de aquecimento, tal como a área dos edifícios, necessidades de aquecimento, potência térmica das caldeiras, combustível utilizado e características das tubulações, no caso do Aquecimento Urbano.

Analisaram-se também, as emissões de GEE para a situação de referência e para cada um dos cenários com base em fatores de emissão dos combustíveis modelados (Tabela 4).

Tabela 4: Fatores de Emissão de poluentes para *pellets* e gás natural

Poluente	Combustível (kg/GJ)	
	Pellets	Gás natural
CO ₂	0,0000	49,400
CH ₄	0,0299	0,0036
N ₂ O	0,0037	0,0009

O fator de emissão referente ao CO₂ para a queima de *pellets* é zero, por se considerar que o CO₂ emitido é extraído da atmosfera durante o processo de fotossíntese.^{12,13}

Para os cenários 1, 2 e 3, cuja modelação em RETScreen não fornece resultados de emissões de GEE associados ao consumo de eletricidade, considerou-se um fator de emissão associado ao consumo de eletricidade em edifícios igual a 40 kgCO₂eq.GJ⁻¹, de acordo com o estabelecido no Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013.

Para além da análise energética e de emissões, se fez também uma análise de custos associados ao consumo de combustível utilizado para o aquecimento. Para tanto considerou-se o preço do gás natural de 0,65 euros por metro cúbico e da biomassa de 170 euros por tonelada. Desta forma, multiplicou-se a quantidade de combustível utilizado pelo preço do mesmo.

Resultados e Discussão

Consumos de Combustíveis e Custos

Os resultados da modelação em RETScreen dos sistemas de aquecimento considerados, relativamente ao consumo anual de combustível para cada edifício e para o conjunto de edifícios estudados e também ao custo energético para o mesmo período, encontram-se apresentados nas Tabelas 5 a 10. A Tabela 5 apresenta os valores relativos ao gás natural da situação de referência e os consumos reais deste combustível que, por comparação com os valores estimados, serviram para validação do modelo.

Tabela 5: Consumos e custos anuais da situação de referência simulados (Consumo Anual) e medidos (Consumo Real) nos edifícios do Campus do IPB

Edifício	Consumo e custos simulados		Consumo Real
	Gás Natural (m ³)	€	Gás Natural (m ³)
ESA	82.782	53.809,00	81.349
ESE	48.533	31.546,00	48.188
ESTiG	73.365	47.687,00	72.282
Cantina	9.891	6.429,00	7.573
Res. Verde	46.228	30.048,00	48.600
Res. Castanha	21.115	13.725,00	21.670
Res. Gulbenkian	10.264	5.521,00	12.203
Total	292.178	188.765,00	291.865

A variação do consumo de combustível está relacionada com as características dos edifícios, tais como área de aquecimento e necessidades térmicas (proporcional) e tipos de isolamento (inversamente proporcional).

Tabela 6: Consumos e custos da biomassa referentes ao cenário 1

Edifício	Consumo e custos	
	Biomassa (t)	€
ESA	190	32.285,00
ESE	111	18.924,00
ESTiG	168	28.612,00
Cantina	23	3.857,00
Res. Verde	106	18.029,00
Res. Castanha	48	8.233,00
Res. Gulbenkian	23	4.000,00
Total	670	113.940,00

O cenário 1 (Tabela 6), permite uma redução de 60% no custo de combustível quando comparado com a situação atual de aquecimento do Campus (referência).

Tabela 7: Consumos e custos anuais de biomassa (cenário 2) e gás natural (cenário 3)

Edifício	Consumo e custos			
	Cenário 2		Cenário 3	
	Biomassa (t)	€	Gás Natural (m ³)	€
ESA	248	42.160,00	108.221	70.344,00
ESE	145	24.650,00	63.436	41.233,00
ESTIG	220	37.400,00	95.910	62.342,00
Cantina	29	4.930,00	12.928	8.403,00
Res. Verde	71	12.070,00	31.095	20.212,00
Res. Castanha	32	5.440,00	14.200	9.230,00
Res. Gulbenkian	15	2.550,00	6.899	4.484,00
Total	760	129.200,00	332.689	216.248,00

O cenário 2 (Tabela 7), apesar de usar biomassa, apresentou um acréscimo de 13% nos custos do combustível. Este resultado pode ser explicado pelo facto de o aquecimento urbano apresentar perdas de energia nas tubulações, com implicações no consumo de combustível para aquecimento da água, de forma a chegar com a temperatura desejada aos ambientes a serem aquecidos. Apesar disto, se comparado com a situação de referência, este cenário apresenta menores custos com a aquisição de combustível.

O cenário 3 (Tabela 7) apresentou resultados menos promissores se comparados com os cenários anteriores. Os custos anuais da aquisição de combustível apresentaram um

aumento de cerca de 90% relativamente ao cenário 1. Tal como no cenário 2, neste cenário ocorrem perdas de energia no transporte da água, o que pode justificar o aumento no consumo de combustível. No caso dos sistemas de cogeração (Tabela 8), o modelo RETScreen calcula separadamente as necessidades de combustível para geração de energia elétrica e de calor.

Tabela 8: Consumos e custos anuais de gás natural e biomassa referentes aos cenários 4 e 5

Cenário	Combustível	Consumo			Custos
		Eletricidade	Calor	Total	€
4	Biomassa (t)	1.324	224	1.548	263.160,00
5	Gás Natural (m ³)	577.399	98.073	675.472	439.056,80

Os cenários 4 e 5 foram os que apresentaram maiores consumos de combustível e custos, cerca do dobro dos obtidos em simulações de cenários semelhantes sem cogeração. Contudo, nestes dois casos, as estimativas de consumo tiveram por base não apenas as necessidades de energia térmica dos edifícios integrados no estudo, mas também as necessidades de energia elétrica não considerada nos outros cenários. No ano de referência estudado (2010), os custos com eletricidade para os edifícios estudados no Campus do IPB foram de €191.335,00. Deste modo, para adequar a comparação dos cenários, deve-se adicionar aos custos com combustíveis nos outros cenários, os de eletricidade do ano de 2010. Assim, os novos valores encontrados correspondem aos custos da compra de combustível para aquecimento e de eletricidade (Tabela 9).

Tabela 9: Custos com combustível acrescidos dos custos com eletricidade para a situação de referência e cenários estudados

Cenário	Custos com Combustível (€)	Custos com Combustível + Eletricidade (€)
Situação de Referência	188.765,00	380.100,00
Cenário 1	113.940,00	305.275,00
Cenário 2	129.200,00	320.535,00
Cenário 3	216.248,00	407.583,00
Cenário 4	263.160,00	263.160,00
Cenário 5	439.056,00	439.056,00

A geração de eletricidade modelada serve principalmente para suprir as necessidades dos edifícios, contudo, existe a possibilidade de exportar para a rede a eletricidade remanescente (460,8 GJ). Após a ponderação destes custos, a análise dos resultados mostra que o cenário que apresenta menores custos médios é o cenário 4, aquecimento urbano a partir de cogeração com utilização de biomassa. Todos os

cenários que utilizam biomassa, apresentaram menores custos. Os resultados estão de acordo com os obtidos noutros estudos de comparação de combustíveis, os quais também destacam a eficiência e as poupanças alcançadas com a utilização da biomassa peletizada.¹⁴

Emissões de GEE

A Tabela 10 apresenta os valores das emissões de GEE para os cenários estudados, em que para a situação de referência e para os cenários 1, 2 e 3, foram somadas as emissões que corresponde ao consumo de eletricidade.

Tabela 10: Emissões de GEE associadas ao consumo/uso de energia térmica e elétrica para a situação de referência e cenários estudados

Emissões de GEE (tCO ₂ eq.ano ⁻¹)					
Cenário					
Referência	1	2	3	4	5
Emissões de GEE associados ao uso de energia térmica					
566,9	21	22,8	645,6	-	-
Emissões de GEE associados ao uso de energia elétrica					
310,01	310,01	310,01	310,01	-	-
Emissões totais					
876,91	331,01	332,81	955,61	48,9	1315,9

Os cenários que utilizam biomassa são os que apresentam emissões de GEE mais baixas, pelas razões referidas no capítulo anterior. O cenário 1, aquecimento convencional com recurso a biomassa foi o que apresentou emissões estimadas mais baixas, devido ao facto de estar associado ao sistema de menor consumo de combustível. Porém, considerando as emissões totais, associadas também ao uso de energia elétrica, o cenário 4 é o que apresenta os menores valores, apontando que a implantação de centrais de aquecimento urbano e cogeração trazem benefícios com o consumo e custo de combustível e na redução de emissões de GEE.

Outros estudos também mostram que a implantação de aquecimento urbano apresenta vantagens nestas perspetivas, e ainda, que os benefícios são mais significativos quando a biomassa é o combustível utilizado.^{9,16}

Conclusão

Com base nos resultados de consumo, custos e emissões de GEE obtidos neste estudo, pode concluir-se que de entre todos os cenários estudados, o sistema de aquecimento urbano com cogeração e utilização de biomassa (cenário 4) foi aquele que revelou ser a opção mais adequada para o abastecimento de energia elétrica e térmica aos vários edifícios do Campus do IPB.

Estes factos sugerem que os sistemas de aquecimento urbano com utilização de biomassa constituem boas opções para aquecimento central de edifícios e principalmente que o uso de biomassa florestal na forma peletizada se apresenta como uma opção mais económica e mais vantajosa em termos de emissões de gases de efeito estufa. Todavia, importa frisar que o controlo das emissões de contaminantes atmosféricos destas unidades deve ser assegurado de forma eficiente.

Uma análise financeira e de custos aprofundada, integrando os custos de implantação e manutenção destes sistemas, deve ser objeto de estudos futuros, de modo a apoiar uma tomada de decisão que se pretende consciente e acertada.

Referências

1. Skagestad, B., & Mildenstein, P, "District Heating and Cooling Connection Handbook". Canada: International Energy Agency, 2002.
2. Ericsson, K., & Werner, S., "The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems". *Biomass and Bioenergy*, 94, 57–65, 2016.
3. Cortez, L. A. B., Lora, E. E. S., & Gómez, E. O., "Biomassa para energia", Campinas: UNICAMP, 2008.
4. Teixeira, L. M. de A., "Opções de utilização da biomassa florestal no contexto energético de Portugal", Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, 2009.
5. Vallios, I., Tsoutsos, T., & Papadakis, G., "Design of biomass district heating systems", *Biomass and Bioenergy*, 33(4), 659–678, 2009.
6. Goulart, S. V. G., "Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis", Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.
7. Cota, S. M. A., "Análise Energética de um Edifício Público", Instituto Politécnico de Bragança, 2014.
8. Google., Google Earth, 2017.
9. Novakovic, V., "Biomass combined heat and power (CHP) for electricity and district heating", Norwegian University of Science and Technology, 2014.
10. Santos, F. B. dos, & Novo, L. M. A., "Fundamentos Teóricos Relacionados À Cogeração e o Exemplo da Central de Cogeração Infoglobo", Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
11. RETScreen, "RETScreen | Natural Resources Canada", 2017.
12. Soares, T. S., Carneiro, A. de C. O., Gonçalves, E. de O., & Lelles, J. G. de., "Uso da Biomassa Florestal na Geração de Energia", 9, 2006.
13. Nunes, L. J. R., "A Utilização de Biomassa como Alternativa Energética para a Sustentabilidade e Competitividade da Indústria Portuguesa", Universidade da Beira Interior, 2015.
14. Sá, A. J. da F. e., "Caracterização da Recolha de Matéria-Prima para a Produção de Pellets", Universidade de Aveiro, 2009.
15. Bernotat, K., & Sandberg, T., "Biomass fired small-scale CHP in Sweden and the Baltic States: A case study on the potential of clustered dwellings", *Biomass and Bioenergy*, 27(6), 521–530, 2004.



Conferência Internacional
de Ambiente em Língua Portuguesa

XX Encontro REALP

XI CNA

Organização



Parcerias:



Patrocínios



**Jerónimo
Martins**

