

SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE RECEPTOR CENTRAL DE PEQUENA POTÊNCIA PARA FORNECIMENTO DE ELECTRICIDADE E CALOR NA INDÚSTRIA AGROALIMENTAR**Cardoso J.P.*, Maag G.**, Bezerra P.H.S**, Oliveira C.**, Mendes J.F.***

* Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., Estrada do Paço do Lumiar, 22, 1649-038 Lisboa, Portugal,
joao.cardoso@lneg.pt

**Departamento de Engenharia de Biosistemas, Universidade de São Paulo, Av. Duque de Caxias Norte, 225,
13635-900 – Pirassununga – SP – Brasil

<https://doi.org/10.34637/cies2020.2.4148>

RESUMO

Dada a importância económica da indústria agroalimentar e o seu peso no consumo total de energia, é imperativo promover medidas de eficiência energética e introdução de fontes de energia renováveis neste sector por forma a reduzir a sua pegada ambiental e promover o seu desenvolvimento sustentável. Este trabalho foca-se num modelo TRNSYS desenvolvido com o objectivo de estudar a integração da energia produzida por um sistema de receptor central de pequena potência em matadouros brasileiros. É apresentado o modelo e resultados de simulação de uma instalação de demonstração, construída no campus de Pirassununga da Universidade de São Paulo. Este sistema permite fornecer 70 kW de potência eléctrica e 300 kW de potência térmica, suprimindo as necessidades energéticas de um matadouro. Simulações de desempenho anual indicam que este sistema solar térmico concentrador permite o fornecimento de 394 MWh de electricidade e entre 190 a 236 MWh de água quente aos processos industriais do matadouro, suprimindo a totalidade do consumo eléctrico e entre 96 a 99% das necessidades de energia térmica.

PALAVRAS-CHAVE: Solar Térmico de Concentração, Sistema de Receptor Central, Calor Solar para Processos Industriais

ABSTRACT

Given the economic relevance of the food processing industry and its weight in the total energy consumption, it is imperative to promote energy efficiency measures and the introduction of renewable energy sources in this sector in order to reduce its environmental footprint and promote its sustainable development. This work focuses on a TRNSYS model developed with the purpose of studying the integration of energy produced by a small scale central receiver system in Brazilian abattoirs. The model and simulation results are presented for a demonstration installation, built at the São Paulo University Pirassununga campus. This system is able to supply 70 kW of electric power and 300 kW of thermal power, covering the energy needs of the abattoir. Annual performance simulations show this concentrating solar thermal system to be able to supply 394 MWh of electricity and between 190 to 236 MWh of hot water to the abattoir industrial processes, covering all electricity demand and between 96% to 99% of its thermal energy demand.

KEYWORDS: Concentrating Solar Power, Central Receiver System, Solar Heat for Industrial Processes

INTRODUÇÃO

A agro-indústria é um sector relevante nos países emergentes da América Latina (Argentina e Brasil) e nos países em vias de desenvolvimento, representando uma fracção substancial da sua produção industrial. Este sector não só é considerado um forte dinamizador do crescimento económico de longo prazo nesses países como contribui, em conjunto com o sector agrícola, cerca de 20 a 30% do Produto Interno Bruto (PIB) nos países menos desenvolvidos (Organização das Nações Unidas, 2017).

A indústria do processamento de produtos alimentares é um grande consumidor de energia, tendo representando em média aproximadamente 2% do consumo total de energia entre 2011 e 2012 a nível mundial (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico, 2017). Como se observa na Fig. 1, o peso deste sector no consumo total de energia é bastante diferente entre os diversos países, oscilando nesse período entre os 2% a 6% nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), podendo mesmo atingir valores superiores a 10% em alguns países não OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico, 2017). Por exemplo, no Brasil, foco deste trabalho, o consumo de energia na indústria agro-alimentar é estimado em cerca de 10% do consumo total de energia do país.

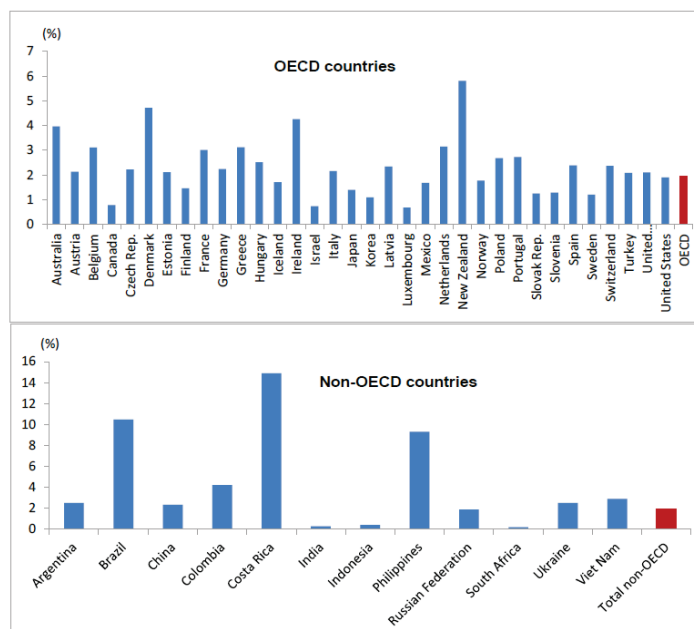


Figura 1. Consumo de energia no sector agro-alimentar como fracção do consumo total de energia no período 2011-2012 (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico, 2017).

Actualmente, as necessidades energéticas deste sector são satisfeitas predominantemente com combustíveis fósseis. Desta forma, considerando a importância económica da indústria agro-alimentar e o seu peso no consumo total de energia, é necessário promover medidas de eficiência energética e a introdução de fontes de energia renováveis de forma a reduzir a pegada ambiental e promover o desenvolvimento sustentável deste sector.

O Caso Brasileiro e o Sector Pecuário

Em 2014 o sector agro-industrial representou 21,3% do PIB brasileiro (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017). Adicionalmente, os produtos agro-alimentares brasileiros apresentam um elevado nível de penetração nos mercados internacionais, revestindo-se este sector de grande importância na balança comercial brasileira (Perobelli et al. 2017). Os produtos resultantes da actividade pecuária representam a segunda maior categoria de produtos agro-industriais exportados pelo Brasil (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017), atingindo em 2014 18% das receitas de exportação deste sector.

Em 2016 foram processadas no Brasil mais de 30 milhões de cabeças de gado, um valor que se espera vir a aumentar a uma taxa anual de 2,4% até 2026 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016 e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017). Este processamento ocorre em instalações industriais de grande dimensão que operam continuamente (24/7) com capacidades de processamento 500 a 700 cabeças por dia.

O consumo de energia necessário a este processamento depende significativamente do grau de automação e modernidade das instalações. No caso do estado de São Paulo, o consumo de energia por animal processado varia

entre os 70 a 300 kWh, dos quais cerca de 80 a 85% correspondem a calor e o restante a energia eléctrica (Pacheco e Yamanaka, 2006). Tipicamente o calor é consumido em actividades como a esterilização e limpeza de equipamentos e instalações ou a confecção das carnes. Este consumo ocorre maioritariamente de duas formas: água quente com temperaturas entre os 60 e 100 °C e vapor com temperatura até 120 °C (Pacheco e Yamanaka, 2006).

Sistemas de Concentração Solar Térmica

Os sistemas de concentração solar térmica (CST) permitem o fornecimento de electricidade e calor de forma dedicada ou em sistemas de cogeração. Adicionalmente, podem ser hibridizados com outras fontes de energia renovável, como os biocombustíveis, assegurando um fornecimento contínuo de energia descarbonizada nestas indústrias.

No entanto, a instalação em larga escala de sistemas CST no sector agro-industrial requer a existência de modelos de simulação capazes de prever o desempenho energético desses sistemas, permitindo a realização rápida e custo-eficiente de estudos de pré-dimensionamento e viabilidade. Este trabalho pretende contribuir para o estudo e promoção da integração da energia produzida por uma instalação CST em regime de co-geração no sector agroalimentar brasileiro, apresentando um modelo e resultados de simulação para uma instalação de demonstração, actualmente em construção no campus de Pirassununga da Universidade de São Paulo (USP).

CENTRAL DE DEMONSTRAÇÃO DE PIRASSUNUNGA

Uma das instalações de demonstração desenvolvidas no âmbito do projecto SMILE (*Solar-Hybrid Micro-Turbine Systems for Co-Generation in Agro-industrial Electricity and Heat Production*) localiza-se no campus da USP em Pirassununga, Estado de São Paulo, Brasil (21.950° S, 47.453° W). Esta instalação (ver Fig. 2 e 3) consiste num sistema de receptor central composto por um receptor volumétrico aberto, um bloco de potência do tipo Ciclo de Rankine Orgânico (ORC) com sistema de aproveitamento de calor em co-geração e um queimador auxiliar alimentado por biogás.

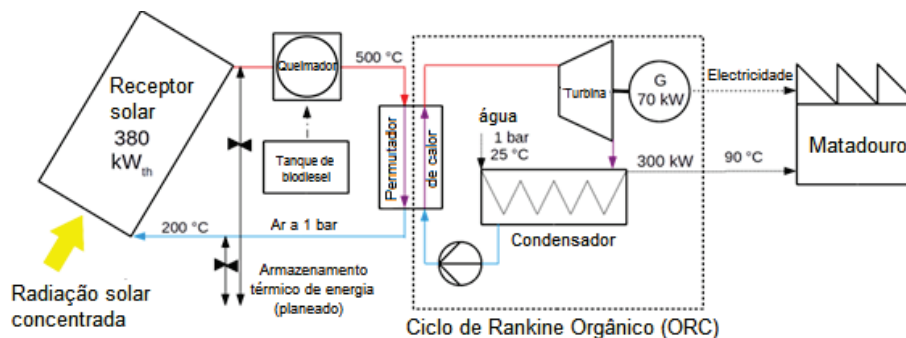


Figura 2. Esquema de princípio da instalação de demonstração em construção no campus de Pirassununga da USP.

Quando concluído, o campo solar terá uma área reflectora total de 1 260 m² e será composto por 140 helióstatos, cada um com uma área reflectora total de 9 m² resultante da utilização de um conjunto de nove facetas reflectoras (1 m² cada) dispostas numa configuração quadrada (3 por 3). Este concentrará a radiação solar num receptor volumétrico aberto, baseado no conceito SolAir (Télez, et al. 2004), que terá potência térmica nominal de 380 kW. O permutador de calor do ORC será alimentado por ar quente a 500 °C proveniente do receptor solar e/ou do queimador auxiliar. Este sistema permite fornecer 70 kW de potência eléctrica - que será injectada na rede do campus - e 300 kW de potência térmica – fornecida a um matadouro sob a forma de água quente a 90 °C de temperatura.

MODELO DE SIMULAÇÃO DA CENTRAL CST

A modelação e simulação do desempenho anual desta instalação foi efectuada com o programa *TRNSYS*. Este programa permite ao utilizador descrever o sistema a modelar através da definição de um conjunto de componentes modulares e das interligações entre componentes - definindo fluxos de massa, energia e informação (Eustáquio 2011).

A Fig. 4 apresenta graficamente o modelo *TRNSYS* desenvolvido para simulação da central CST.

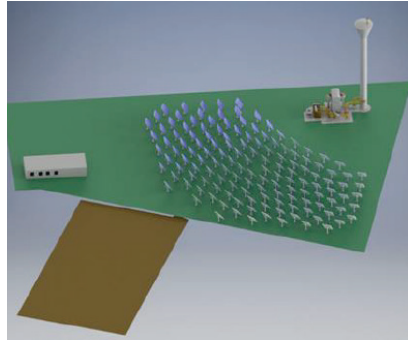


Figura 3. Ilustração artística da central CST projectada no projecto SMILE para instalação no campus da USP, Pirassununga, Brasil.

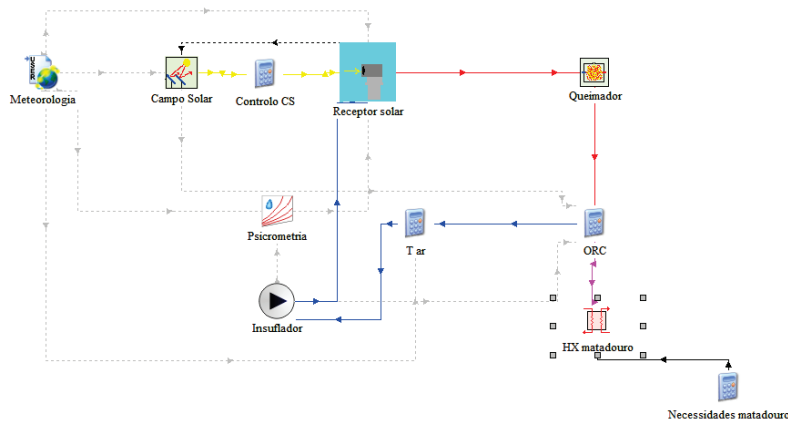


Figura 4. Modelo TRNSYS da central CST instalada no campus da USP em Pirassununga, Brasil.

Este é composto por diferentes componentes cuja função se descreve de forma simplificada:

- Meteorologia, *Type 99* – Efectua a importação dos dados meteorológicos utilizados na simulação a partir de um ficheiro CSV. Para a realização deste trabalho foram utilizados dados meteorológicos medidos no local da instalação ao longo do ano de 2016. Para além da importação de dados, este modelo efectua a interpolação dos dados meteorológicos e o cálculo da posição solar para cada instante de tempo da simulação.
- Campo Solar, *Type 394* – Efectua o cálculo da potência radiante proveniente do campo solar incidente no receptor e da potência radiante perdida por desfocagem controlada dos heliostatos.
- Controlo CS – Corrige a potência radiante incidente no receptor de acordo com a fracção de campo solar fora de foco.
- Receptor, *Type 422* – Modela o desempenho térmico do campo solar, calculando a potência útil absorvida pelo receptor e a temperatura de saída do fluido de transferência de calor.
- Psicrometria, *Type 33* – Calcula a entalpia do ar que entra no receptor de acordo com a sua temperatura e humidade.
- Insuflador, *Type 3c* – Impõe o caudal de ar no receptor.
- T ar – Calcula a temperatura do ar à entrada do receptor resultante da mistura de ar atmosférico e ar de recirculação.
- Queimador, *Type 426* – Modela um queimador auxiliar alimentado por biogás, calculando a massa de combustível necessária para manter o fluido de transferência de calor à temperatura desejada.
- ORC – Modelo de caixa negra do Ciclo de Rankine Orgânico implementado através de um conjunto de relações conhecidas que definem a potência eléctrica e térmica produzida como função da potência térmica fornecida pelo sistema solar e o queimador auxiliar.
- HX matadouro, *Type 5* – Modela a transferência de calor rejeitado pelo ORC para a água de abastecimento do matadouro.
- Necessidades matadouro – Impõe o caudal de água que passa no permutador de calor do matadouro consoante as necessidades de água quente existentes.

Campo Solar

A caracterização do desempenho do campo solar foi realizada por simulação de traçamento de raios, utilizando-se o software *Tonatiuh* (Blanco et al, 2005) para mapear a eficiência do campo solar em função da posição do Sol. A matriz de eficiência óptica do campo solar resultante deste mapeamento é utilizada como informação de entrada no modelo *TRNSYS*. Para a obtenção desta matriz de eficiência óptica consideraram-se intervalos de 30° para o ângulo azimutal e de 15° para o ângulo de elevação solar (ver Fig. 5).

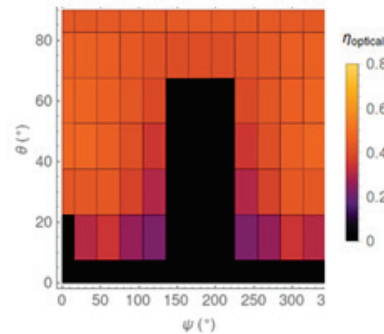


Figura 5. Matriz de eficiência óptica do campo solar do sistema de receptor central.

Os valores obtidos para a eficiência óptica deste sistema são relativamente reduzidos. Tal deve-se às características e restrições técnicas impostas pelo receptor utilizado que limitam a utilização de campos solares com geometrias mais adequadas à latitude da instalação.

O desempenho do campo solar é introduzido na simulação *TRNSYS* através do componente *Type 394* (Schwarzböl, 2006). Este efectua uma interpolação dos valores constantes na matriz de eficiência óptica de acordo com a posição solar calculada em cada passo de tempo da simulação. Uma vez determinada a eficiência óptica, a potência radiante proveniente do campo solar incidente no receptor é calculada de acordo com a Eq. 1:

$$\dot{Q}_{CS}(\psi, \theta) = A_{CS} DNI \eta_{optico}(\psi, \theta) \Gamma \tag{1}$$

onde DNI representa a irradiância directa no plano normal, A_{CS} a área de abertura do campo solar e Γ a fracção do campo solar que está a focar no receptor.

Validação do Modelo

Devido a constrangimentos diversos, a construção da central de Pirassununga não deverá ocorrer antes de 2021. Desta forma, não é possível efectuar a validação experimental do modelo. No entanto, por forma a verificar a razoabilidade do modelo desenvolvido, foi efectuada uma verificação do modelo, comparando-se os valores nominais de operação (Tabela 1) da central com os resultados obtidos pelo modelo quando operado no regime nominal.

Tabela 1. Valores nominais de operação da central de demonstração.

Fluxo radiativo incidente no receptor	397 kW/m ²
Potência radiante fornecida pelo campo solar	465 kW
Potência fornecida pelo receptor solar	412 kW
Eficiência térmica do receptor solar	0.887
Potência eléctrica bruta produzida pela turbina ORC	70 kW
Potência térmica disponível para o matadouro	300 kW

Verificou-se que, considerando a operação em regime nominal, o modelo apresenta resultados com diferenças inferiores a 3% dos valores de projecto, sobrestimando sempre o desempenho energético da central.

Tabela 2. Comparação dos resultados da simulação com os valores de projecto para o ponto de operação nominal.

	Valor de projecto	Resultado da simulação	Diferença relativa
Potência fornecida pelo receptor solar	412	422.2	2.5%
Potência eléctrica bruta produzida pela turbina ORC	70	71.9	2.6%
Potência térmica disponível para o matadouro	300	307.9	2.6%

SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO ANUAL DA INSTALAÇÃO

O matadouro do campus da USP em Pirassununga é uma instalação de ensino pelo que apresenta necessidades energéticas muito menores do que uma instalação comercial. Na ausência de dados de consumo de energia medidos no local, o consumo de energia da instalação foi estimado a partir da informação existente na literatura (Pacheco e Yamanaka, 2006) e de informação obtida pessoalmente junto dos operadores do matadouro. Estimou-se que existe uma necessidade de potência eléctrica de 3,03 kW durante os dias de semana entre as 16h e as 8h (funcionamento das câmaras frigoríficas) e de 11,53 kW no restante período desses dias. Durante o fim de semana apenas estão em operação as câmaras frigoríficas pelo que se estima uma necessidade médio de 3,03 kW. No que respeita às necessidades de calor, estimou-se que esta varie entre 85 a 108,8 kW nos dias de semana entre as 8h e as 16h.

Comparando o consumo estimado com os parâmetros nominais do sistema CST torna-se obvio que este está sobredimensionado para as necessidades existentes. O excesso de energia eléctrica será injectado na rede do campus e consumido localmente. No entanto, o calor em excesso será desperdiçado dado não existir mais nenhum consumidor local. Apesar deste facto, em toda a análise subsequente considerar-se-á apenas a energia consumida no matadouro.

Considerando estas necessidades e dados meteorológicos recolhidos no campus de Pirassununga no ano de 2016, procedeu-se à realização da simulação da operação anual da instalação. Os resultados dessa simulação são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da simulação da operação da instalação no ano de 2016: Energia mensal e anual fornecida pelos vários subsistemas da instalação.

Month	Solar [MWh]	Campo Solar [MWh]	Desfocada [MWh]	Receptor [MWh]	Biodiesel [MWh]	Electricidade bruta [MWh]	Electricidade líquida [MWh]	Calor ORC [MWh]	Calor matadouro - 1 [MWh]	Calor matadouro - 2 [MWh]
Janeiro	125	48	1	40	261	55	34	236	19	15
Fevereiro	163	65	2	54	217	50	30	212	18	15
Março	165	66	1	55	245	55	34	235	21	17
Abril	243	95	4	79	210	53	32	227	20	16
Mai	157	62	2	52	248	55	34	235	19	15
Junho	180	70	1	58	232	53	32	227	20	16
Julho	244	94	2	78	221	55	33	235	20	16
Agosto	224	86	4	72	227	55	33	235	20	16
Setembro	215	84	4	70	220	53	32	227	20	16
Outubro	201	77	4	64	235	55	33	235	19	15
Novembro	168	65	2	54	236	53	32	228	20	16
Dezembro	194	74	3	62	238	55	33	235	21	17
Produção anual	2278	885	30	737	2790	646	394	2767	236	190

Estima-se que o consumo anual de energia eléctrica no matadouro do campus da USP em Pirassununga seja de 44 MWh e que as necessidades de calor associadas ao consumo anual de água quente se situem entre 192 a 245 MWh. Os resultados da simulação do sistema CST e da sua integração no fornecimento de energia ao matadouro indicam que este poderá fornecer 394 MWh de energia eléctrica e entre 190 a 236 MWh de energia térmica sob a forma de água quente a 90 °C. Como previsto anteriormente, as necessidades de energia eléctrica do matadouro são totalmente cobertas pelo sistema, no entanto, existe uma reduzida fracção das necessidades térmicas anuais, entre 1 a 4%, que não são supridas.

Observando-se a Tabela 3, verifica-se que o sistema solar disponibiliza uma quantidade de energia térmica largamente superior à procura (2767 MWh vs 190-236 MWh). A razão desta aparente contradição é revelada notando-se que a temperatura máxima do circuito de condensação do ORC é de 90 °C e que existe um permutador de calor entre este e a água utilizada pelo matadouro. Tal resulta numa diferença de temperatura entre a o circuito de condensação e a água quente produzida, que terá obrigatoriamente uma temperatura inferior a 90 °C. Se se eliminar este permutador de calor intermédio o sistema passará a ser capaz de cobrir 100% das necessidades de energia do matadouro.

Note-se igualmente que o excesso de energia térmica terá de ser obrigatoriamente eliminado sob pena de a turbina ORC ter de parar de funcionar. Desta forma, o sistema demonstrador deverá estar dotado de um dissipador de energia.

Observando os valores da energia consumida sob a forma de biogás conclui-se da relevância da capacidade de hibridização deste sistema. Efectivamente, o biogás representa 79% da energia recebida pela central CST, representando a energia solar apenas 21%. Esta diferença pode ser explicada por dois factores: a reduzida eficiência do campo solar devido à utilização de uma geometria do campo solar - imposta por limitações do receptor utilizado - que não está optimizada para a localização da instalação; a operação contínua da central, algo essencial numa aplicação a um matadouro comercial, mas que não é benéfica no caso em estudo.

Outro aspecto relevante identificado na análise dos resultados desta primeira simulação (ver Tabela 3) é o elevado consumo parasítico de energia eléctrica, que representa 39% da electricidade produzida anualmente pela central.

A Fig. 6 apresenta as temperaturas em vários pontos do sistema resultantes da simulação da sua operação no dia 1 de Janeiro de 2020. Em consonância com o funcionamento contínuo imposto à central para os fins desta simulação, verifica-se que durante o período noturno a queima de biogás mantém o sistema a operar em condições nominais. Com o nascer do Sol e o aumento da potência radiante concentrada pelo campo solar no receptor, o consumo de biogás diminui até cessar, altura em que o sistema é totalmente alimentado por energia solar. Observa-se que durante um curto período de tempo a temperatura do ar à saída do receptor supera o valor nominal de operação (500 °C) até o controlador da central iniciar o processo de desfocagem parcial do campo solar, controlando a temperatura saída do ar e mantendo-a aproximadamente constante em torno do valor nominal de operação.

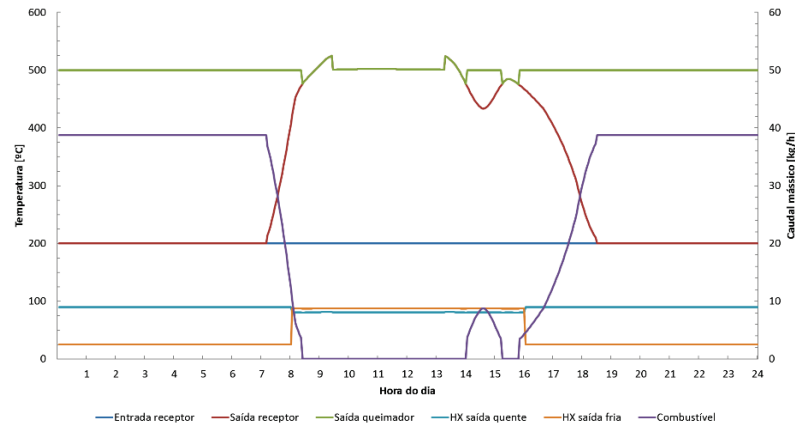


Figura 6. Resultados da simulação para um dia de Verão (1 de Fevereiro de 2016): temperaturas em diversos pontos da central e caudal mássico de combustível.

A Fig. 6 também permite analisar o comportamento da instalação quando ocorrem perturbações na irradiância solar. Observando o período entre as 14h e as 15h verifica-se que existiu uma quebra na temperatura do ar proveniente do receptor – motivada por uma diminuição da irradiância solar gerada pela passagem de um conjunto de nuvens. Pouco tempo após o início da flutuação, com a quebra da temperatura do ar fornecido ao ORC, o queimador de biogás entra em operação de modo a repor a temperatura do ar fornecido ao ORC no seu valor nominal. Com o avançar da tarde a irradiância solar deixa de ser suficiente para alimentar totalmente o sistema pelo que o queimador de biogás aumenta gradualmente a produção de calor. Existem algumas flutuações bruscas no consumo de biogás no início e fim da operação do queimador que se presumem dever à existência de um nível mínimo de operação do mesmo.

A Fig. 7 apresenta resultados da simulação da operação do sistema num dia de Primavera com períodos de céu nublado. Observa-se claramente a resposta do sistema à variação da irradiância solar disponível. Esta nunca chega a ser suficiente para alimentar totalmente o sistema, pelo que o queimador de biogás tem de operar ao longo de todo o dia, compensando as flutuações da irradiância solar e do calor fornecido pelo receptor solar.

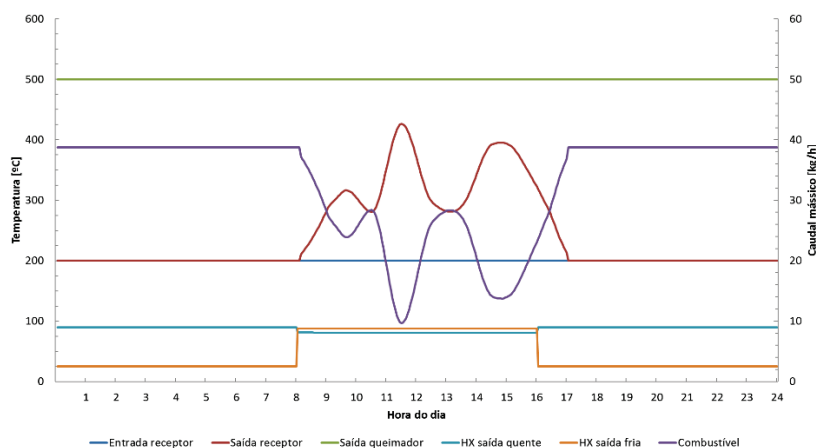


Figura 7. Resultados da simulação para um dia de Primavera (11 de Maio de 2016): temperaturas em diversos pontos da central e caudal mássico de combustível.

Finalmente, verifica-se que em ambas as situações, ao longo do período de laboração do matadouro, o sistema manteve aproximadamente constante a temperatura da água quente fornecida ao matadouro. Este é ligeiramente inferior ao valor nominal de 90 °C devido às limitações impostas pela existência de um permutador entre o ORC e o consumo de água, tal como mencionado anteriormente.

CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um modelo TRNSYS para simular um sistema de receptor central, actualmente em desenvolvimento e construção na Universidade de São Paulo, campus de Pirassununga, Brasil. Este sistema pretende demonstrar a aplicabilidade dos sistemas CST na indústria agro-alimentar, nomeadamente no sector da pecuária.

O desempenho anual deste sistema foi simulado tendo-se concluído que o sistema é capaz de fornecer 394 MWh de electricidade e entre 190 a 236 MWh de água quente ao processo industrial (matadouro) suprimindo a totalidade do consumo eléctrico e entre 96 a 99% das necessidades de energia térmica. Adicionalmente foi estudado o comportamento do sistema para dias específicos, verificando-se que o mesmo se comporta como esperado, sendo capaz de garantir a quase totalidade do fornecimento de energia eléctrica e térmica ao matadouro. Os resultados do modelo permitiram igualmente identificar algumas limitações da instalação em construção e do seu projecto.

Futuramente, e assim que a instalação esteja operacional, pretende-se adquirir dados experimentais para efectuar a validação do modelo. Outros trabalhos futuros deverão focar-se na melhoria da modelação de alguns componentes do modelo (como o ORC) e na utilização do modelo para o estudo da aplicação de centrais CST no fornecimento de electricidade e calor a matadouros comerciais.

AGRADECIMIENTOS

O trabalho de investigação que originou estes resultados recebeu financiamento do 7º Programa Quadro da União Europeia FP7/2007-2013 através do projecto STAGE-STE (Grant Agreement nº 609837).

REFERÊNCIAS

Blanco, M. J., Amieva, J., Mancillas, A. (2005). The Tonatiuh Software Development Project: An Open Source Approach to the Simulation of Solar Concentrating Systems. ASME 2005 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Orlando: ASME. 157-168.

Eustáquio, J. V. C. S (2011). Simulação e análise do comportamento do campo de heliostatos de uma central de concentração solar termoeléctrica de receptor central. Tese de Mestrado, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017). Estatística da Produção Pecuária. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (2017). Improving Energy Efficiency in the Agro-food Chain. OECD, Paris.

Organização das Nações Unidas (2017). Global Expert Meeting on Agriculture and Agro-industries Development towards Sustainable and Resilient Food Systems to Inform the 2017 ECOSOC Special Meeting on Innovations for Infrastructure Development and Promoting a Sustainable Industrialization «Background Report». ONU, Nova Iorque.

Pacheco, J. W., y H. T. Yamanaka (2006). Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno). Série P+L, São Paulo: CETESB.

Perobelli, F. S., Junior, A. A. B., Vale, V. A., Cunha, R. G. (2017) Impactos Econômicos do Aumento das Exportações Brasileiras de Produtos Agrícolas e Agroindustriais para Diferentes Destinos. Revista de Economia e Sociologia Rural, 55, nº 2.

Schwarzböhl, Peter (2006). A TRNSYS Model Library for Solar Thermal Electric Components. Reference Manual Release 3.0, Köln: DLR and SolarPACES.

Téllez, Félix, Marianna Romero, Peter Heller, y Ulmer Steffen (2004). Thermal Performance of “SolAir 3000 kWth” Ceramic Volumetric Solar Receiver. 12th International Symposium Solar Power and Chemical Energy Systems. Oaxaca, Mexico.