

MAA - MEMORIAL DE ATIVIDADES ACADÊMICAS

RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 40/CUn/2014, DE 27 DE MAIO DE 2014

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	3
1. ATIVIDADES DE ENSINO E ORIENTAÇÃO	7
2. PRODUÇÃO INTELECTUAL	25
3. ATIVIDADES DE EXTENSÃO.....	34
4. COORDENAÇÃO DE PROJETOS DE PESQUISA E EXTENSÃO.....	36
5. PARTICIPAÇÃO EM BANCAS	70
6. PALESTRAS.....	70
7. PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES EDITORIAIS.....	72
8. ASSESSORIA OU CONSULTORIA A ÓRGÃOS DE FOMENTO	72
9. CARGOS NA ADMINISTRAÇÃO	73

Prof. Edson Bazzo

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina

15/10/2014

Memorial de Atividades Acadêmicas elaborado de acordo com Resolução Normativa N° 40/CUn/2014, de 27 de maio de 2014, que dispõe sobre os critérios e os procedimentos a serem utilizados para a promoção à classe E (Titular) dos integrantes do Magistério Superior da Universidade Federal de Santa Catarina.

Em 15/10/2014

APRESENTAÇÃO

O presente memorial reúne informações relevantes sobre atividades desenvolvidas junto ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, com foco direcionado a duas áreas distintas: (i) Conversão e uso racional de energia e (ii) Sistemas de bombeamento capilar. Em cada uma das áreas são relatados os principais produtos alcançados e a dinâmica de trabalho envolvendo parcerias com diversas instituições do Brasil e do exterior. Atualmente ambas as áreas estão concentradas no LabCET – Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos (www.labcet.ufsc.br).

Os estudos sobre conversão e uso racional de energia foram iniciados na década de 80, no âmbito do programa CONSERVE, à época financiado pela Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio, com o propósito de identificar soluções e novas tecnologias relacionadas ao uso racional de fontes convencionais e fontes alternativas de energia, culminando hoje com a cooperação integrada de pesquisadores e alunos de pós-graduação dos cursos de engenharia mecânica, além de diversas instituições de pesquisa do Brasil e do exterior. Atualmente os estudos são realizados com forte apelo em projetos avançados sobre geração termelétrica e sistemas de cogeração. Ações são direcionadas no sentido de garantir sua utilização com eficiência, maior disponibilidade dos equipamentos e minimização de impactos ambientais. A cogeração traz o benefício de recuperar calor residual, geralmente de gases de exaustão, elevando significativamente a eficiência global do sistema, com a geração simultânea de energia elétrica, vapor, água quente e também água gelada quando se deseja climatização. Pesquisas são realizadas com foco voltado às alternativas energéticas que correspondam ao menor impacto ambiental, mas de forma responsável não deixando de contar com a generosa oferta de combustíveis tradicionais, sobretudo do petróleo e gás natural, que suprem significativa parte da matriz elétrica brasileira e garantem estabilidade ao sistema. Na expectativa de também contribuir com novas tecnologias de baixo impacto ambiental, o LabCET desenvolve pesquisas relacionadas com biomassa, biocombustíveis, geração termossolar, gás natural e carvão mineral. A utilização de combustíveis fósseis é frequentemente associada a fortes impactos ambientais decorrentes da formação de chuva ácida, emissão de particulados e principalmente com a emissão de gases de efeito estufa. A substituição parcial por biomassa é uma das alternativas propostas para mitigação desses impactos. Projetos são atualmente desenvolvidos em parceria com empresas nacionais envolvendo o uso de bagaço de cana, palha de arroz, óleos vegetais e biogás em plantas pilotos de pequena escala e também em escala comercial. Estudos que envolvem a análise exergética e ambiental vêm sendo igualmente realizados com o objetivo de identificar o custo exergético e o impacto ambiental

associado à cadeia produtiva de combustíveis. A análise exergética tem seu suporte na segunda lei da termodinâmica. A análise de ciclo de vida (ACV) dos processos e operações unitárias presentes na rota de abastecimento de combustíveis, desde a obtenção até sua transformação, permite gerar indicadores ambientais associados ao produto final, que no caso de sistemas de Geração Distribuída, é a energia elétrica gerada. O indicador possibilita qualificar um sistema transformador de energia não só por sua eficiência, mas também pelo impacto ambiental associado. Os benefícios obtidos com a Geração Distribuída associada a redes inteligentes em qualquer local incluem gerar eletricidade próxima aos centros de carga, em locais de difícil instalação de grandes centrais geradoras, não requerendo investimentos pesados em novas linhas de transmissão, reduzindo as perdas associadas a grandes distâncias, assim como mitigar possíveis congestionamentos na rede e prover carga reativa. O LabCET dispõe de uma bancada dinamométrica e de duas microplantas, envolvendo motogeradores e uma microturbina a gás natural acoplada a duas máquinas de refrigeração água-amônia, instalados e operando no modo cogeração com GNC, produzindo energia elétrica, vapor, água quente e água gelada. Dois algoritmos foram desenvolvidos como ferramentas computacionais e que são disponibilizadas aos alunos para estudos sobre sistemas de cogeração com gás natural (COGECALC e ProSisC). Da mesma forma, o LabCET dispõe de infraestrutura laboratorial com a construção de duas bancadas experimentais para testes de células PEM, uma para potências de até 15 W, e outra para potências de até 200 W, ambas em operação com hidrogênio. Resultados parciais foram também obtidos envolvendo a fabricação e testes de membranas poliméricas em cooperação com o grupo POLICOM e POLIMAT/UFSC dos departamentos de Química e de Engenharia Mecânica, respectivamente. Prosseguem estudos também em células a combustível com o propósito de produzir energia elétrica a partir de combustíveis convencionais ou renováveis, podendo viabilizar ou não seu uso para sistemas de cogeração. Ao longo dos últimos anos, diversos projetos foram concluídos com recursos P&D, envolvendo estudos de pré-viabilidade técnica-econômica, inteligência artificial, monitoramento de caldeiras e ciclos térmicos, CFD para análise do processo de transferência de calor e redução das perdas em unidades geradoras de vapor a carvão e biomassa.

Seis teses de doutorado e 25 dissertações de mestrado foram concluídas nesta área em particular, além de diversos artigos publicados em revistas e congressos nacionais e internacionais.

Os estudos sobre **sistemas de bombeamento capilar** foram iniciados na década de 90, em cooperação com o IKE-Universidade de Stuttgart, com o propósito de desenvolver tecnologia nacional voltada ao projeto e fabricação de circuitos bifásicos de transferência de calor para uso aeroespacial e industrial. No Brasil as atividades prosseguiram, com a cooperação integrada de

pesquisadores e alunos de pós-graduação dos cursos de engenharia mecânica, ciência dos materiais e engenharia química da UFSC, além de instituições de pesquisa do Brasil e do exterior. Os Sistemas de bombeamento capilar são estudados com o propósito de gerar tecnologia nacional para uso em satélites ou aeroespacial, bem como para uso industrial em componentes que requeiram controle térmico no modo passivo, independentemente da disponibilidade ou não de energia elétrica para bombeamento do fluido térmico. São sistemas passivos constituídos por um ou mais evaporadores capilares, um condensador e reservatório para gerenciamento do processo de partida e controle da temperatura de operação. O objetivo do evaporador capilar é similar aos aparelhos de refrigeração, transferindo calor de fontes quentes para ambientes frios, utilizando o princípio da capilaridade para movimentação de fluido térmico. Nas atividades voltadas à fabricação de evaporadores capilares cerâmicos, estudos são direcionados para o desenvolvimento de rotas de produção e caracterização de material cerâmico sinterizado, que seja livre de impurezas e compatível com os fluidos de trabalho utilizados nos sistemas de bombeamento capilar. O LabCET dispõe de infraestrutura laboratorial para instrumentação e testes em bancadas experimentais, técnicas de produção e caracterização de elementos porosos cerâmicos e também de metal sinterizado. Dois experimentos de vôo foram desenvolvidos e testados em condições de microgravidade. Novos testes deverão ser realizados com os novos evaporadores capilares produzidos em laboratório. Um evaporador cerâmico deverá ser integrado a um modelo de vôo para testes em microgravidade, com a aplicação de potências pré-estabelecidas e aquisição e armazenamento automático dos dados. Os resultados experimentais obtidos em laboratório serão comparados com os resultados obtidos em ambiente de microgravidade. O sucesso do experimento em microgravidade depende naturalmente de apoio institucional que viabilize as atividades associadas à qualificação do evaporador capilar no modelo de vôo para embarque e testes na ISS.

Sistemas de bombeamento capilar são também estudados para aplicação na refrigeração de células a combustível do tipo PEM. O arrefecimento de células a combustível é a principal preocupação da indústria nacional. Neste assunto, duas dissertações de mestrado foram recentemente concluídas, mostrando resultados positivos com a aplicação de tubos de calor e circuitos de bomba capilar. Os testes são realizados em carga variável para diferentes temperaturas no evaporador. Em todos os testes, os tubos de calor apresentam partida relativamente rápida e comportamento estável no regime permanente, com temperaturas na faixa de 60 a 80°C, atendendo plenamente os requisitos básicos de projeto. Água deionizada e acetona têm sido utilizadas como fluidos de trabalho.

Quatro teses de doutorado e seis dissertações de mestrado foram concluídas nesta área em particular, além de diversos artigos publicados em

revistas e congressos nacionais e internacionais. Concretamente, além de contribuir positivamente com a formação acadêmica de nossos alunos, com a publicação de vários artigos em congressos e revistas indexadas, o trabalho vem progressivamente recebendo o reconhecimento científico da comunidade universitária. Em nível de graduação, um aluno IC foi recentemente selecionado e escolhido como destaque da UFSC em 2011, com apresentação oral de seu trabalho intitulado “Fabricação e caracterização de evaporadores capilares cerâmicos”, no 11º Seminário de Iniciação Científica da UFSC. Também recentemente, em nível de pós-graduação, um aluno de doutorado recebeu o prêmio de melhor tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC e Menção Honrosa do Prêmio CAPES, com o trabalho intitulado “Estudo teórico e experimental da aplicação de elementos porosos cerâmicos em LHP e CPL”.

1. ATIVIDADES DE ENSINO E ORIENTAÇÃO

Ensino

No exercício das atividades de ensino de graduação atenção especial tem sido dada a temas relacionados com máquinas e sistemas térmicos, fontes convencionais e fontes alternativas de energia, geração termelétrica e cogeração, combustão e uso racional de energia, com ênfase em aplicações industriais. Em termos gerais, em cada uma delas, o conteúdo ministrado tem se ajustado na medida em que são colhidas informações atuais e relevantes na literatura técnica e de trabalhos de pesquisa e extensão realizados junto ao setor industrial, particularmente nos setores têxtil, cerâmico, papel e celulose e alimentos. Atualmente, são ministradas três disciplinas para o curso de graduação em engenharia mecânica da UFSC: (i) Geração e distribuição de vapor; (ii) Conservação de energia e (iii) Tópicos especiais em ciências térmicas V¹.

Na pós-graduação, embora com envolvimento inicial em disciplinas fundamentais como transferência de calor, a partir de 1996 foram ministradas disciplinas mais específicas, uma primeira sobre análise exergética de processos industriais e, uma segunda, sobre sistemas de bombeamento capilar, esta última decorrente de trabalhos desenvolvidos por ocasião da tese de doutorado. Todas foram ou são oferecidas junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFSC (POSMEC). Atualmente, atenção especial é dedicada à disciplina relacionada com conversão e uso racional de energia².

Eventualmente são oferecidas disciplinas complementares ou então estudos dirigidos a alunos com interesse em matérias não oferecidas na grade curricular, que ficam a critério do professor orientador desde que aceitas pela coordenação do programa de pós-graduação. Cursos extracurriculares não foram considerados para apresentação neste documento. Atualmente há forte demanda por cursos extracurriculares voltados à geração termelétrica, cogeração e uso racional de energia na indústria.

¹ Processos 23080.052241/2006-91, fls. 09; 23080.028028/2008-20, fls. 09; 23080.015511/2010-69, fls. 10; 23080.017577/2012-55, fls. 11; 23080.038252/2014-78, fls.14.

² Processos 23080.052241/2006-91, fls. 10; 23080.028028/2008-20, fls. 10; 23080.015511/2010-69, fls. 11; 23080.017577/2012-55, fls. 12; 23080.038252/2014-78, fls.15.

Orientação de Doutorado:

No período de 1998 a 2014 foram orientados nove alunos de doutorado³. Segue relação dos alunos, com especial destaque aos trabalhos de maior impacto científico e/ou maior contribuição tecnológica, nesses casos com a transcrição dos resumos correspondentes às respectivas teses:

- Álvaro Hernán Restrepo Victoria: Metodologia de análise e avaliação exergoambiental de plantas termoelétricas operando em combustão combinada carvão-biomassa; Tese de doutorado aprovada pelo POSMEC em 30/06/2012, c/suporte do Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco Jose de Caldas” – COLCIENCIAS.

Uma alternativa tecnológica e ambiental que vêm sendo estudada há pouco mais de uma década, com o intuito de reduzir o consumo de carvão mineral, consiste em substituir uma parte dele por biomassa (geradora “neutra” de CO₂) em combustão combinada carvão-biomassa. Esse processo consiste na queima controlada de dois ou mais combustíveis em uma mesma fornalha e, segundo experiências previamente realizadas, principalmente, na Europa e os Estados Unidos, apresenta viabilidade técnica, econômica, e, dependendo das características dos combustíveis, pode contribuir com a mitigação de gases de efeito estufa (GEE). A presente tese apresenta uma proposta metodológica de análise e avaliação exergoambiental de plantas termoelétricas operando em combustão combinada carvão-biomassa, considerando uma fronteira estendida que compreende a usina e a rota tecnológica para a obtenção e manuseio do combustível. A propriedade exergia é indicada para a avaliação termodinâmica, e o método de avaliação do ciclo de vida (ACV) é proposto para quantificar o impacto ambiental associado, considerando a categoria de impacto referente à mudança climática usando o índice GWP 100a (Global Warming Potential). Dois cenários foram avaliados: o cenário A, que consiste na usina em operação padrão, com 100% de carvão, e o cenário B, que corresponde à usina em combustão combinada, com 90% de carvão e 10% de biomassa residual. A rota tecnológica analisada para o caso do carvão corresponde à rota já estabelecida entre a região mineira do sul do estado de Santa Catarina, onde predomina a mineração tradicional subterrânea, mediante a técnica de câmaras e pilares, e o complexo termoelétrico Jorge Lacerda, localizado no município de Capivari de Baixo. A informação utilizada para a análise da rota da biomassa foi obtida a partir da documentação de trabalhos realizados no complexo termoelétrico, visando o aproveitamento da biomassa residual proveniente dos cultivos do arroz nas vizinhanças do mesmo, para fins energéticos. A análise mostrou que a usina termoelétrica reponde pela maior parte da exergia destruída e pelo maior impacto gerado associado à categoria de impacto mudança climática. A partir dessa análise, foram avaliadas variáveis exergoambientais para o ciclo termodinâmico representativo da usina. Os resultados mostraram que o gerador de vapor constitui o equipamento com maior potência de melhora. Finalmente, foi proposto um indicador exergoambiental global, utilizado para comparar o impacto exergoambiental do processo de geração termoelétrica nos dois cenários, em relação ao cenário padrão da máquina térmica de Carnot. O indicador exergoambiental mostrou que há melhora de 11% no cenário B, sem levar em

³ Processos 23080.052241/2006-91, fls. 41; 23080.028028/2008-20, fls. 50 e 52; 23080.015511/2010-69, fls. 45; 23080.017577/2012-55, fls. 59; 23080.038252/2014-78, fls.60.

consideração a decomposição microbiana da biomassa na lavoura, e de até 35%, se for considerada a não decomposição da mesma, como estabelecido neste trabalho, em relação ao cenário A.

- Gilson Rodrigo de Miranda: Redução da emissão odorante na exaustão de motor diesel utilizando aditivo; Tese de doutorado aprovada pelo PPGEA/UFSC em 07/04/2011; Orientador principal: Prof. Henrique de Melo Lisboa.
- Paulo Henrique Dias dos Santos: Análise teórica e experimental de material cerâmico para aplicação em evaporadores capilares; Tese de doutorado aprovada pelo POSMEC em 03/12/2010, em co-orientação com Prof Amir A. M. de Oliveira Jr. Recebeu o prêmio de melhor tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC e **Menção Honrosa do Prêmio CAPES**⁴. Os resultados foram bem sucedidos, resultando na publicação de um primeiro artigo técnico no COBEM 2007 em Brasília⁵, um artigo técnico no ENCIT 2008 em Belo Horizonte-MG⁶, dois artigos técnicos no COBEM 2009 em Gramado-RS⁷, um no ENCIT 2010 em Uberlândia-MG⁸, um no CONEM 2010 em Campina Grande-PB⁹ e um no COBEM 2011 em Natal-RN¹⁰. Foram também publicados dois artigos técnicos na revista "Applied Thermal Engineering"¹¹ e um artigo técnico na revista "Heat Pipe Science and Technology"¹².

O controle térmico na indústria eletrônica tem crescido em importância devido à contínua diminuição de tamanho e ao aumento na potência dos componentes. Nestas aplicações, busca-se dispositivos eficientes de transferência de calor, capazes de transferir grandes cargas de calor com uma diferença mínima de temperatura. Neste contexto, os tubos de calor (Heat Pipes - HPs), os tubos de calor em forma de circuito (Loop Heat Pipes - LHPs) e as bombas capilares (Capillary Pumping Loops - CPLs) são alternativas confiáveis e viáveis para a dissipação de calor. Os evaporadores capilares da maioria dos LHPs e CPLs utilizam meios porosos feitos de metal ou de plástico. Neste trabalho, um meio poroso cerâmico é proposto para aplicações em LHPs e CPLs. O desempenho do meio poroso cerâmico como evaporador capilar é analisado teórico e experimentalmente. Primeiramente, é feita uma análise teórica de transferência de calor e de massa de um evaporador capilar plano com uma estrutura porosa formada por uma ou duas camadas com propriedades diferentes. O meio poroso tem formato de um disco e é instalado entre os canais de líquido e de vapor. Um fluxo de calor externo é aplicado à superfície superior da estrutura porosa onde ocorre a evaporação do fluido de trabalho. A transferência de calor e de massa é modelada usando as equações macroscópicas de conservação da energia e da

⁴ Menção Honrosa do Prêmio CAPES - Portaria Nº 084, de 05 de junho de 2012 - Outorga de Menção Honrosa do Prêmio CAPES de Tese - Edição 2011.

⁵ Artigo COBEM 2007 - Processo23080.028028/2008-20, fls. 13.

⁶ Artigo ENCIT 2008- Processo23080.015511/2010-69, fls. 27.

⁷ Artigos COBEM 2009 - Processo23080.015511/2010-69, fls. 13 e 14.

⁸ Artigo ENCIT 2010- Processo23080.017577/2012-55, fls. 25.

⁹ Artigo CONEM 2010- Processo23080.017577/2012-55, fls. 29.

¹⁰ Artigo COBEM 2011- Processo23080.017577/2012-55, fls. 16.

¹¹ Artigos revista ATE - Processo23080.017577/2012-55, fls. 36 e Processo23080.038252/2014-78, fls. 47.

¹² Artigo revista HPST - Processo23080.038252/2014-78, fls. 44.

massa. O fluido é assumido incompressível, prevalece o equilíbrio térmico local e a Lei de Darcy é usada para modelar o fluxo viscoso dentro do meio poroso. Os modelos desenvolvidos permitem verificar o efeito das variáveis de projeto no desempenho do evaporador capilar tais como fluidos de trabalho, dimensões, permeabilidade, raio médio de poros e condutividade térmica do meio poroso. Para as análises experimentais, testes de desempenho de dois LHPs, um utilizando acetona e o outro água como fluidos de trabalho, foram realizados para potências de até 25 W. Além disso, testes de desempenho de um CPL usando água foram realizados para potências de até 30 W. O meio poroso cerâmico utilizado possui 50% de porosidade, distribuição de raio de poro entre 1 e 3E-6 m e uma permeabilidade de 1,5 E-14 m². Considerando uma temperatura de operação limite de 100 °C e regime permanente, os LHPs foram capazes de transferir até 15 W para água e 25 W para acetona, enquanto que o CPL foi capaz de transferir até 30 W. Apesar do bom desempenho dos sistemas de bombeamento capilar avaliados, observou-se que mais pesquisas ainda são necessárias, buscando otimizar as propriedades termofísicas do meio poroso cerâmico e melhorar o projeto dos LHPs e do CPL.

- Lourival Jorge Mendes Neto: Análise da deposição, crescimento e transferência de calor em depósitos de cinzas em tubos cilíndricos, Tese de Doutorado aprovada pelo POSMEC em 05/03/2010.
- José Alexandre Matelli: Sistemas baseados em conhecimento para projeto de plantas de cogeração a gás natural; Tese de doutorado aprovada pelo POSMEC em 01/12/2008, com a co-orientação do Prof. Jonny Carlos da Silva.

Cogeração é definida como a produção simultânea de energia eletromecânica e energia térmica útil a partir de uma mesma fonte energética, permitindo assim que a energia contida no combustível seja utilizada de modo mais eficiente e racional do que a geração independente de eletricidade e calor. Conseqüentemente, tem um forte apelo tanto do ponto de vista de eficiência, devido principalmente aos custos de combustíveis e impactos ambientais, como do ponto de vista de geração distribuída de energia, já que, dada a proximidade entre a planta e o local de consumo, dispensam-se subestações e linhas de transmissão de alta tensão. O projeto de uma planta de cogeração é um problema de síntese sujeito a restrições termodinâmicas. Inclui a alocação e dimensionamento de componentes diversos, de modo a satisfazer as demandas de eletricidade e de calor útil. Apesar de sua complexidade, é um problema que é resolvido de modo robusto por especialistas humanos, o que sugere o uso de ferramentas de inteligência artificial (IA) para resolvê-lo computacionalmente, tais como Sistemas Especialistas (SE) e Raciocínio Baseado em Casos (RBC). No presente trabalho são desenvolvidos dois protótipos de sistemas computacionais inteligentes, baseados nas técnicas SE e RBC, respectivamente. Os protótipos são utilizados para apoio às fases de projeto conceitual e preliminar de plantas de cogeração, considerando cargas de eletricidade, vapor saturado e água gelada como requerimentos de projeto. Os protótipos apresentam características que não são encontradas em nenhum sistema computacional para esse domínio disponível até o momento, tais como explicação da solução (no protótipo SE) e aprendizado a partir da própria experiência (no protótipo RBC). A combinação das duas técnicas em um único protótipo é também discutida. Finalmente, o uso dos protótipos é demonstrado através resolução de alguns casos selecionados, sendo que cada um representa um diferente conjunto de requerimentos de projeto.

- Joaquim Antonio dos Reis: “Projeto e otimização de sistemas compactos de cogeração usando motor de combustão interna”; Tese aprovada pelo programa de pós-graduação em engenharia mecânica da FEG/UNESP em 07/04/2006; Orientador principal: Prof. José Luz Silveira.
- Heitor Victor Ribeiro Camargo: Avaliação teórica e experimental de elementos porosos aplicados a sistemas de bombeamento capilar; Tese de doutorado aprovada pelo POSMEC em 16/12/2004.
- Rafaela Frota Reinaldo: Estudo numérico da transferência de calor e deposição de cinzas em caldeiras com queima de carvão pulverizado; Tese de Doutorado aprovada pelo POSMEC em 11/12/2004, com a co-orientação do Prof. João Luiz Toste de Azevedo (IST/Lisboa).

O uso de ferramentas computacionais na simulação numérica do processo de transferência de calor em centrais termelétricas vem recebendo atenção crescente na solução de problemas diversos. Diferentes códigos computacionais existentes no mercado representam hoje uma ferramenta de valor fundamental no aperfeiçoamento de projetos de novas unidades geradoras de vapor, permitindo otimizar condições de operação, reduzir as emissões de poluentes, investigar o mau funcionamento dos equipamentos e propor as medidas corretivas pertinentes. No caso específico das unidades geradoras de vapor do complexo Jorge Lacerda de Capivari de Baixo-SC, a maioria das paradas forçadas ocorre devido a falhas em tubos de caldeiras. Análises metalográficas indicam que os tubos do superaquecedor final e reaquecedores operam a temperaturas superiores às recomendadas. O elevado nível de temperatura de trabalho dos tubos é a principal causa de falhas por fluência e é um fator determinante da sua vida útil residual. A deposição de cinzas nas superfícies de transferência de calor de caldeiras é um dos principais problemas associados ao uso de carvão pulverizado. Os depósitos de cinzas reduzem a transferência de calor na caldeira, diminuindo assim a sua eficiência térmica. Este trabalho apresenta resultados associados à simulação numérica do processo de combustão, escoamento e transferência de calor no interior de caldeiras projetadas para queima de carvão pulverizado. Foram implementados no modelo tridimensional, procedimentos de forma a considerar a influência de feixes tubulares no escoamento e transferência de calor, possibilitando também a determinação das temperaturas de metal dos tubos do superaquecedor final e reaquecedores. A transferência de calor por convecção é modelada com base em correlações empíricas e as trocas radiativas baseiam-se no cálculo de radiosidades para os tubos, acoplado com o cálculo da irradiação na secção de entrada dos feixes tubulares. Metodologia complementar é também apresentada para a determinação das taxas de deposição de cinzas nas paredes dos tubos. O procedimento de cálculo é uma extensão do código de Mecânica dos Fluidos Computacional utilizado no Instituto Superior Técnico de Lisboa. O modelo numérico da câmara de combustão é baseado no cálculo do escoamento reativo turbulento, utilizando as equações de conservação de massa, quantidade de movimento, energia cinética turbulenta e sua dissipação. Todos os balanços são realizados em base Euleriana, utilizando procedimento de discretização similar, exceto para a equação da continuidade que é resolvida através do algoritmo Simple. A combustão gasosa é calculada utilizando o conceito de fração de mistura e sua variância baseada em uma distribuição Gaussiana truncada. A entalpia do gás é determinada através do balanço de energia, considerando o calor trocado por radiação calculado através do método de transferência discreta.

Os balanços da fração de mistura e da energia consideram os termos fontes, devido à presença das partículas que são simuladas em uma abordagem Lagrangeana. Na região do superaquecedor final e reaquadadores um termo fonte é considerado, calculando-se o calor transferido dos gases de combustão para a superfície do tubo por radiação e convecção. Na região dos feixes tubulares, a transferência de calor por convecção é calculada com base em correlações empíricas e o modelo da troca radiativa é baseado no método de zonas. O modelo de deposição de cinzas é baseado nos conceitos de eficiência de impacto e probabilidade de adesão das partículas. São comparados resultados numéricos com medidas da temperatura nos superaquecedores e reaquadadores de uma caldeira de central termelétrica existente, para diferentes condições de operação. Analisou-se a influência exercida pelos queimadores localizados na câmara de combustão e simulou-se também o uso de controladores de fluxo de vapor para a uniformização das temperaturas dos feixes tubulares. Verifica-se a partir dos resultados dos cálculos que a influência das condições de operação, nomeadamente a velocidade nos queimadores é maior que a obtida pelo uso de controladores de fluxo. Foram efetuados cálculos do arrastamento e deposição de partículas nas paredes da caldeira e quantificados os fluxos de partículas à entrada dos feixes tubulares.

- Eduardo Gonçalves Reimbrecht: Fabricação, caracterização geométrica e determinação de propriedades hidráulicas de elementos porosos para uso em bombas capilares, Tese de doutorado aprovada pelo POSMEC em 03/2004; Orientador principal: Prof. Paulo C. Philippi (LMPT/UFSC).

Orientação de Mestrado:

No período de 1998 a 2014 foram orientados 30 alunos de mestrado¹³. Segue relação dos alunos, com especial destaque aos trabalhos de maior impacto e/ou maior contribuição científica ou tecnológica:

- Julian Esteban Barrera Torres: Uso dos ciclos Rankine orgânicos para o aproveitamento do calor residual em instalações de produção de petróleo e gás; Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC em 31/03/2014.

A presente dissertação contempla o melhoramento do desempenho energético de uma plataforma de processamento de óleo e gás por meio da incorporação hipotética de um Ciclo de Rankine Orgânico (ORC). Esse ciclo termodinâmico recuperaria parte do calor residual associado aos gases de exaustão das turbinas na planta, para geração de potência adicional, permitindo um decréscimo na carga das mesmas e, portanto no consumo de combustível. O modelamento do processo foi desenvolvido com o propósito de caracterizar a operação normal da plataforma e assim estabelecer as condições de referência para comparar o desempenho energético da mesma. A partir da informação obtida do modelo, uma análise exérgica permitiu identificar as operações com maior irreversibilidade e também com potencial para recuperação da exergia perdida. Além disso demonstrou diferenças significativas na ordem de grandeza entre os fluxos de exergia associados às correntes de óleo e gás produzidos e as demais correntes

¹³ Processos 23080.052241/2006-91, fls. 41, 42 e 43; 23080.028028/2008-20, fls. 50 e 51; 23080.015511/2010-69, fls. 45; 23080.017577/2012-55, fls. 59; 23080.038252/2014-78, fls.60.

relacionadas com o seu processamento. Considerando isto, foram considerados três indicadores de eficiência, dois relacionados com os fluxos de exergia e um relacionado com o gasto energético. De outro lado, o sistema ORC foi definido tendo em conta os resultados de estudos recentes focados na seleção do fluido de trabalho e na configuração do ciclo, visando as melhores condições de operação do ciclo enquadrado dentro das restrições impostas pelo processo. Considerando a grande variabilidade dos parâmetros de produção deste tipo de instalação, a comparação dos resultados do modelo incluindo o ORC integrado com o processo foi feita ao longo de um perfil de produção que contempla a variação de cinco parâmetros de maneira independente: (i) vazão de óleo, (ii) vazão de água de produção, (iii) pressão de poço, (iv) vazão de gás injetado e (v) vazão de água injetada. Os resultados mostraram que a implementação do ciclo traz um melhoramento dos indicadores de eficiência energética propostos, independentemente da variação nos parâmetros de produção, com um melhoramento dos indicadores relativamente uniforme ao longo do perfil analisado. Os parâmetros de produção com maior impacto sobre a potência gerada pelo ORC correspondem às vazões de gás e de água injetadas no reservatório, sendo essas as operações que demandam maior potência e portanto uma maior produção de gases de exaustão nas turbinas. Em geral, a metodologia adotada pretende avaliar o impacto de uma tecnologia para o melhoramento da eficiência energética (nesse caso o ORC) em um processo industrial existente, considerando a caracterização detalhada do processo em questão e a variação dos parâmetros mais relevantes de produção, de tal forma que os resultados ofereçam um panorama mais amplo na hora de aplicar este tipo de sistema.

- Marcos Vinício Oro: Tubos de calor de seção triangular aplicados ao controle térmico de células a combustível tipo PEM; Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC em 12/12/2013.

O arrefecimento de células a combustível é uma preocupação atual da indústria nacional, particularmente no caso de células a combustível do tipo PEM, também conhecida por PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell). Diversas técnicas de resfriamento são descritas na literatura e consideradas como alternativas de projeto, no sentido de garantir funcionamento adequado da célula. Em consequência das reações químicas, sua temperatura aumenta a ponto de secar a membrana polimérica, prejudicando o transporte dos íons de hidrogênio e, conseqüentemente, a geração de eletricidade. Em unidades portáteis de menor capacidade a célula é resfriada com o próprio ar de alimentação, soprado por ventiladores. São sistemas que geralmente trabalham com baixas densidades de potência e projetados para operar com ar como agente oxidante. Em unidades maiores, de alta densidade de potência, são recomendados sistemas de resfriamento com circulação de água por canais usinados nas placas de grafite. No presente trabalho são estudados minitubos de calor como alternativas para arrefecimento térmico de uma unidade disponível no LabCET de 200 W, composta por 10 células unitárias, no sentido de garantir operação no intervalo de temperatura requerido entre 70 e 90°C. O sistema de controle consiste em um conjunto de minitubos de calor de aço inoxidável, cada um com comprimento de 100 mm, montados em paralelo. O tubo de calor consiste de um invólucro selado contendo água deionizada como fluido de trabalho, compreendido pelas regiões do condensador e evaporador. Cada tubo passa por um processo de conformação que proporciona uma seção transversal triangular. Duas ranhuras axiais provêem o bombeamento capilar necessário para recirculação do fluido de trabalho. Essa forma de controle representa uma alternativa de baixo custo de fabricação e

tecnicamente viável do ponto de vista industrial. Testes foram realizados em tubos de calor individuais com potência aplicada em patamares previamente estabelecidos, entre 2 e 10 W. Um modelo matemático é também apresentado para avaliar o desempenho e principais parâmetros do tubo de calor, incluindo inventário do fluido de trabalho, temperatura de operação e limite capilar. Os resultados mostram que os tubos de calor testados são capazes de dissipar até 10 W, potência suficiente para garantir o funcionamento da célula.

- Rafael Reami Romanos: Análise exergética dos modais de transporte de gás natural por gasodutos e por GNL; Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC em 01/03/2013.
- Nury Audrey Nieto Garzón: Avaliação experimental e exergética da operação de um motor diesel com óleo vegetal; Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC em 24/05/2012.

A poluição ambiental e os impactos econômicos associados à dependência de combustíveis fósseis tem fomentado o estudo de fontes renováveis de energia. Na geração de energia elétrica em regiões isoladas é comum a utilização de grupos geradores a diesel. Vários estudos têm sido publicados no sentido de apresentar alternativas energéticas ao diesel. Neste cenário a utilização do óleo vegetal ou bioóleo se apresenta como importante alternativa energética para operação de grupos geradores, tanto na geração distribuída como na geração de eletricidade em regiões isoladas. Três óleos vegetais foram estudados em projeto de pesquisa recentemente concluído no Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos (LabCET): óleo de soja, óleo de girassol e óleo de tungue. Neste trabalho em particular é apresentado o estudo experimental e exergético do óleo de soja e sua mistura de 50/50 v/v com óleo diesel. Os desempenhos do motor operando com óleo de soja e também com a mistura foram comparados com o desempenho do motor com óleo diesel. Os testes foram realizados na bancada dinamométrica existente no LabCET com a cooperação técnica do Laboratório de Hardware (LHW), ambos do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. Os trabalhos experimentais consistiram na caracterização das propriedades físico-químicas dos combustíveis, ensaios na bancada dinamométrica e avaliação do óleo lubrificante nos testes do motor acoplado a um gerador de energia elétrica de 30 kVA. O desempenho do motor com cada combustível foi comparado na condição de 1800 rpm. Foram realizadas medições relativas ao consumo de combustível, rotação, torque, potência e emissões dos gases de exaustão (CO, CO₂ e NO_x). Os resultados foram analisados de acordo com procedimentos estatísticos estabelecidos através de Análise de Variância (ANOVA) e teste Dunnett, este em particular para comparação com um combustível padrão. Os trabalhos teóricos se concentraram na avaliação termodinâmica dos combustíveis testados no motor. Entre os resultados obtidos é importante ressaltar o funcionamento satisfatório do motor com óleo de soja, apresentando inclusive um aumento da ordem de 3,1% na eficiência energética e 2,7% na eficiência exergética, quando comparados com óleo diesel. No caso da mistura, os valores corresponderam a aumentos de 1,4% e 1,1%, respectivamente. Adicionalmente, os cálculos termodinâmicos comprovaram menor destruição de exergia na operação do motor com óleo de soja. Os resultados comprovam a viabilidade técnica do óleo de soja no funcionamento de grupos geradores.

- Raphael Guardini Miyake: Análise termodinâmica e de transferência de calor em um gerador de vapor a carvão pulverizado e palha de arroz; Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC em 29/08/2011.
- Ana Paula Silva: Comportamento térmico de sistemas bifásicos para arrefecimento de células a combustível tipo PEM; Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC em 26/11/2010.
- Álvaro Nacif de Carvalho: Análise experimental e exergoeconômica de um sistema compacto de cogeração a gás natural; Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC em 08/03/2010.

Os sistemas compactos de cogeração a gás natural se apresentam como uma alternativa tecnológica para a geração distribuída e para o uso racional da energia, atendendo simultaneamente demandas de eletricidade, vapor, água quente e cargas térmicas requeridas para climatização ou refrigeração. Neste trabalho buscou-se realizar uma avaliação do potencial de uma planta de cogeração existente no LabCET através de testes experimentais e análise exergoeconômica e também fornecer uma base de dados para projetos futuros. Foi dada atenção à utilização de vapor como fluido intermediário para acionamento de um chiller de absorção. A configuração adotada foi baseada no acoplamento de uma microturbina Capstone de 28 kWe a uma caldeira de recuperação para produção de vapor saturado até 6 bar e um chiller de absorção água-amônia Robur de 13,3 kWt para refrigeração. Foram realizados testes para diferentes potências elétricas, determinando pressões distintas na caldeira, e temperaturas da solução na saída do chiller. Os resultados obtidos para o sistema operando a plena carga apontaram para uma produção de 26 kW de potencia elétrica e 19,0 kW de vapor saturado a 5,3 bar (161°C) ou, se utilizado para acionar o chiller, 9,2 kW de capacidade de refrigeração a -5°C para uma temperatura ambiente de 24°C. Os rendimentos elétrico e de cogeração encontrados foram de 22,7% e 39,3%, respectivamente, apesar dos resultados apontarem para a possibilidade de se atingir valores mais elevados. O COP do chiller foi calculado em 0,44, 25% menor que o valor estimado pelo fabricante para o sistema original de queima direta e para mesma temperatura ambiente. Observou-se que maiores pressões na caldeira elevam a capacidade de refrigeração, apesar do COP não apresentar uma variação significativa. Considerando uma temperatura da solução na saída do chiller de -5°C, o aumento da pressão da caldeira de 2,5 para 5,3 bar provocou um aumento na capacidade de refrigeração de 6,3 kW para 9,2 kW, representando um acréscimo de 46%. A utilização de vapor ainda abre espaço para a utilização de chillers de absorção BrLi de duplo efeito capazes de atingir COP's da ordem de 1,2 quando utilizada uma fonte de calor a alta temperatura, como a utilizada neste trabalho.

- Luis Alberto Danobeytia Bustos: Estudo teórico e experimental de uma microplanta de cogeração a gás natural de 100 kVA instalada no Hospital Universitário da UFSC; Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC em 18/11/2008.
- Luis Omar Suescún Armesto: “Simulação numérica do processo de escoamento e transferência de calor em caldeiras a carvão pulverizado”; Dissertação de Mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em 25/2/2008, em co-orientação com Prof. Antonio Carlos Ribeiro Nogueira.

- Rodrigo Corrêa da Silva: “Instrumentação e monitoramento das temperaturas de superfície em feixes tubulares de unidades geradoras de vapor”; Dissertação de Mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em 28/2/2008, em co-orientação com Prof. Antonio Carlos Ribeiro Nogueira.

A iminente crise do setor elétrico nacional mostra a importância e a necessidade de investimentos nos setores de geração, transmissão e distribuição. Desse modo, a segurança do suprimento de energia passa, necessariamente, pela diversificação das suas fontes primárias de geração. Apesar de ser responsável atualmente por 20% da capacidade instalada, as centrais termelétricas são as que melhor atendem estas especificações. Além da inserção de novas usinas, é de fundamental importância a repotenciação e a modernização das usinas já em operação a fim de serem aplicadas ações que busquem a extensão da vida útil e o aumento da disponibilidade operacional. No caso do complexo termelétrico Jorge Lacerda, as paradas forçadas para manutenção, principalmente das unidades mais antigas, têm como consequência direta a indisponibilidade do fornecimento de energia. Essa indisponibilidade está relacionada principalmente com as falhas nos tubos que compõem os feixes tubulares das unidades geradoras de vapor devido às excessivas temperaturas. Com o intuito de identificar as causas associadas pesquisas vêm sendo realizadas, e este trabalho apresenta uma metodologia para instrumentação e monitoramento das temperaturas de superfície dos tubos que compõem os feixes tubulares. A importância de tal estudo se dá pela necessidade do conhecimento das reais temperaturas à que os tubos estão sujeitos, haja vista que as metodologias empregadas até então são limitadas. A metodologia proposta baseia-se na utilização de sensores de temperaturas instalados diretamente na superfície dos tubos na região de escoamento dos gases de combustão. Estes sensores fazem uso de termopares de isolamento mineral, os quais possuem um perfil adequado de aplicação em ambientes agressivos. Entretanto, as configurações de sensores disponíveis atualmente apresentam limitações que conduzem a valores superestimados das temperaturas de superfície. Uma nova configuração é proposta, e com o intuito de comparar com a configuração de sensor que é amplamente utilizada na indústria, é realizada uma análise teórico-experimental. Resultados obtidos apontam para a utilização do sensor proposto. Além disso, alguns tubos do superaquecedor final e reaquadador final pertencentes à UTLB do complexo termelétrico Jorge Lacerda foram instrumentados, e as temperaturas de metal foram monitoradas e avaliadas em condições operacionais. Uma análise da incerteza de medição é realizada para o sistema de medição.

- Luis Fernando Clasen: “Metodologia para caracterização de depósitos de cinzas em caldeiras a carvão pulverizado”, Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em 27/9/2007.
- Janilson Arcangelo Rossa: “Estudo teórico e experimental de um sistema compacto de cogeração consistindo de uma máquina refrigeração por absorção água-amônia e microturbina a gás natural”; Dissertação de Mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em 4/5/2007.
- Anders Ljung: Experimental performance study of a 15W polymer electrolyte membrane fuel cell; Approved in January/2007 at KTH-Royal Institute of Technology – Stockholm; Co-Supervisor at KTH: Prof. Göran Lindbergh at the Department of Chemical Engineering and Technology;

Polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFCs) are electrochemical devices that continuously convert the chemical energy of externally supplied fuel directly into electrical energy. The aim of this thesis was to study the initial performance tests of a single 15W PEMFC which is to be integrated into an electricity-producing demonstration unit based on natural gas. The tests made at the Federal University of Santa Catarina, Brazil, were realized with pure hydrogen as fuel and pure oxygen as oxidant. For most tests, the reactant gases were humidified for improved performance. The variables of interest in this study were the operating temperature of the fuel cell (ranging from 30°C to 70°C), the humidification temperature of the reactants (varying between 30°C and 85°C), and the hydrogen flow rate (200 ml/min and 300 ml/min). The performance for each set of operating parameters is visualized by means of polarization curves, i.e. current density – voltage plots. Corresponding power and efficiency curves are shown as well. Also polarization curves plotted for non-humidified reactants are presented.

- Paulo Sergio Steidel: Estudo teórico e experimental de uma célula-combustível tipo PEM e perspectivas de aplicação em sistemas de geração distribuída, Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em 19/12/2005.
- Antje Blumenauer: Inbetriebnahme und Probetrieb einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage mit erdgasbetriebener Mikrogasturbine; Master thesis approved in May/2005 at University of Applied Sciences Offenburg – Germany, in cooperation with Federal University of Santa Catarina; Co-Supervisor at University of Applied Sciences Offenburg; Prof. Dr.-Ing. Bernd Jatzlau.
- Cláudio Pinto Rebello Rücker: Análise exergoeconômica de uma planta de cogeração baseada em microturbina a gás natural e refrigeração por absorção pela teoria do custo exergético, Dissertação de Mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em 27/08/2004.
- Svante Johan Karlsson: Simulation and analysis of a micro turbines and absorption cooling cogeneration system – Part A, approved in 29/08/2003 at KTH-Royal Institute of Technology – Stockholm, (Sponsor: Ängpanneföreningens Forskningsstiftelse of Sweden) – Supervisor at KTH: Prof. Anders Nordstrand;
- Mathias Nils Rognar Jonsson: Simulation and analysis of a micro turbines and absorption cooling cogeneration system – Part B, approved in 29/08/2003 at KTH-Royal Institute of Technology – Stockholm, (Sponsor: Ängpanneföreningens Forskningsstiftelse of Sweden) – Supervisor at KTH: Prof. Anders Nordstrand;
- Luciano Heinen: Análise termodinâmica e desenvolvimento de um modelo físico-matemático para o limite de ebulição em circuitos de bombeamento capilar, Dissertação de Mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em abril/2003.

- Giancarlo Luchetta Bedin: Análise de viabilidade termoeconômica de sistemas de cogeração híbrida a gás natural e biomassa, Dissertação de Mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em março/2003.
- Fernando Marcelo Pereira: Medição de características térmicas e estudo do mecanismo de estabilização de chama em queimadores porosos radiantes, Dissertação de Mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em outubro/2002; Orientador principal: prof. Amir A. M. Oliveira Jr.
- Alexandre Ryoiti Takahashi: Análise da transferência de calor e massa com mudança de fase em elementos porosos visando a sua otimização para aplicação em bombas capilares; Dissertação de Mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em novembro/2002; Orientador principal: prof. Amir A. M. Oliveira Jr.
- Ricardo Alexandre Pereira Borba: Avaliação térmica e econômica de sistemas de cogeração aplicados à indústria de cerâmica de revestimento; Dissertação de Mestrado aprovada pelo POSMEC/UFSC em julho/2002;
- Rafael Girardi Pulgar: A technical and economic analysis of fuel cell applied to cogeneration system in hotel (Células a combustível aplicadas a sistemas de cogeração no setor hoteleiro); Dissertação de Mestrado aprovada pelo KTH em junho/2002, em co-orientação c/Prof. Ivo Martinac (KTH), c/bolsa STINT (KTH – Kungl Tekniska Högskolan - Estocolmo).
- Gabriel Mann dos Santos: Análise teórica e experimental de fornos cerâmicos a lenha e conversão para gás natural; Dissertação de Mestrado aprovada em Maio/2001, em co-orientação com prof. Vicente de Paulo Nicolau.
- José Alexandre Matelli: Sistemas híbridos célula-combustível/motores de combustão interna a gás natural para cogeração aplicada a hospitais, Dissertação de Mestrado aprovada em Março/2001.
- Emiliano José Pinto da Rocha: Análise de viabilidade técnica e projeto de um sistema de cogeração para o hospital UNIMED de Joinvile (Bolsa KTH – Kungl Tekniska Högskolan - Estocolmo): Dissertação de Mestrado concluída em Janeiro/2000, em co-orientação c/Prof. Ivo Martinac (KTH).
- Heitor Victor Ribeiro Camargo: Estudo teórico e experimental de bombas capilares de ranhuras circunferenciais; Dissertação aprovada em julho/1999.
- Eduardo Gonçalves Reimbrecht: Produção e caracterização de componentes porosos para bombas capilares; Dissertação de mestrado aprovada em 24/11/1998, em co-orientação c/Prof. Marcio Fredel.

Orientações de Alunos IC

No período de 1996 a 2014 foram orientados cerca de 100 alunos de iniciação científica e 15 trabalhos de conclusão de curso, além de estágios diversos obrigatórios previstos no curso de graduação em engenharia mecânica da UFSC e estágios voluntários junto ao LabCET¹⁴. Segue relação apenas parcial de alunos que tiveram ativa interação com alunos de mestrado e de doutorado em projetos de pesquisa executados no LabCET, com destaque para premiações e/ou coautoria em artigos publicados em congressos nacionais e internacionais, como também em revistas indexadas:

Fábio Kleveston (Bolsa Estágio FEESC/P&D ANEEL): Especificação técnica e análise do uso da palha de arroz como alternativa energética para queima “cofiring” numa planta termelétrica a carvão pulverizado; Período: 21/08/2009 a 31/01/2012;

Alvaro Restrepo, Raphael Guardini Miyake, Fábio Kleveston, Edson Bazzo; Exergetic and environmental analysis of a pulverized coal power plant; EGY-D-11-01710R1 Energy Journal (2012) - Special Issue: ECOS 2011; p. 195-205; DOI: 10.1016/j.energy.2012.01.080.

Raphael Miyake, Alvaro Restrepo, Fábio Kleveston, Edson Bazzo and Marcelo Bzuneck; Thermodynamic and heat transfer analysis of rice straw co-firing in a Brazilian pulverized coal boiler; ECOS 2012 - 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems; Proceedings in CD - pp 326-1 to 326-13; Perugia - Italy, June 26-29, 2012;

Fábio Kleveston, Alvaro Hernán Restrepo V., Raphael Guardini Miyake, Edson Bazzo; Metodologia de avaliação do potencial energético de resíduos agrícolas utilizados na geração termelétrica: Estudo de caso; CIBEM 10 - 10º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica; Proceedings in CD - pp. 1-9; Porto, Portugal, 2011;

Alvaro Hernán Restrepo Victoria, Raphael Guardini Miyake, Fábio Kleveston, Edson Bazzo; Exergetic and environmental analyses of a pulverized coal power plant: A Brazilian case; ECOS 2011 - 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems; Proceedings in CD - pp 1-12; Novi Sad - Serbia, July 4-7, 2011;

Alvaro Hernán Restrepo Victoria, Raphael Guardini Miyake, Fábio Kleveston, Edson Bazzo; Life cycle assessment for co-firing potential analysis in a pulverized coal power plant; ECOS 2011 - 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems; Proceedings in CD - pp 1-11; Novi Sad - Serbia, July 4-7, 2011;

Álvaro Hernán Restrepo Victoria, Edson Bazzo, Raphael Guardini Miyake, Fabio Kleveston; Cofiring carbón–biomasa residual: análisis energético y ambiental en la generación termoeléctrica: Caso Brasil; CIMM 2011 - Quinto Congreso

¹⁴ Processos 23080.052241/2006-91, fls. 44 a 54; 23080.028028/2008-20, fls. 47 a 49; 23080.015511/2010-69, fls. 46 a 54; 23080.017577/2012-55, fls. 60 a 68; 23080.038252/2014-78, fls.61 a 81.

Internacional de Ingeniería Mecánica y Tercero de Ingeniería Mecatrónica, Proceedings in CD - pp. 1-10; Bogotá, 11 y 12/08/2011.

Edson Bazzo, Marcelo Bzuneck, Raphael G. Miyake, Alvaro Restrepo, Fábio Kleveston, Marcelo D. Caneschi, Luiz Felipe, Elias R. Gomes, Carlos H. Dalsasso; Resultados da utilização de palha de arroz em processo co-firing com carvão pulverizado; CITENEL 2013 - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica; Anais em CD – pp. 1-8; Rio de Janeiro, 5-7 Agosto, 2013;

Edson Bazzo, Raphael G. Miyake, Alvaro Restrepo, Fábio Kleveston, Fabyo L. Pereira, Marcelo Bzuneck, Marcelo D. Caneschi, Luiz Felipe, Elias R. Gomes, Carlos H. Dalsasso; Utilização da palha de arroz em processo co-firing com carvão pulverizado; CITENEL 2011 - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica; Anais em CD – pp. 1-10; Fortaleza, 17-19 Agosto, 2011;

Guilherme Wagner (Bolsa IC/CNPq): Fabricação e caracterização de evaporadores capilares cerâmicos; Período: 01/04/2011 a 31/07/2013; Prêmio Destaque da Iniciação Científica PIBIC/UFSC 2011.

Guilherme Wagner, Lucas Freitas Berti e Edson Bazzo, Análise experimental de um sistema de bombeamento capilar com elemento poroso cerâmico em ambiente de microgravidade; SIC/UFSC 2011. Resumo: Evaporadores capilares cerâmicos representam um avanço na tecnologia mundial para a dissipação de calor e controle de temperatura de operação de componentes eletrônicos, com potencial de aplicação em ambiente de microgravidade. O objetivo do trabalho é o desenvolvimento de corpos cerâmicos porosos para aplicação em sistemas de bombeamento capilar, afim de desenvolver tecnologia nacional voltada ao projeto e fabricação de circuitos bifásicos de transferência de calor com mudança de fase para uso espacial e industrial. Amostras cerâmicas porosas, compostas de mulita e alumina, foram avaliadas quanto à porosidade, permeabilidade e tamanho de poros, variando-se o teor de mulita e alumina na composição das mesmas. As amostras foram conformadas por colagem por barbotina (suspensão com 50%wt em sólidos) em moldes de gesso e carbono ativado foi utilizado como agente fugitivo para formação dos poros. As amostras cerâmicas apresentaram características físicas adequadas para a aplicação, com porosidade entre 41% e 55%, permeabilidade entre $1,04 \times 10^{-12}$ m e $6,04 \times 10^{-12}$ m e raio crítico de poro entre 13 μ m e 28 μ m. Com a finalização dos trabalhos, espera-se utilizar o elemento cerâmico como evaporador capilar no modelo de vôo para embarque e testes na ISS (Estação Espacial Internacional). Palavras-chave Sistemas de bombeamento capilar, Evaporadores cerâmicos, Células a combustível PEM. Trabalho selecionado para apresentação oral.

Raquel Antunes Hess (Bolsa Estágio FEESC/P&D ANEEL): Caracterização de combustíveis e análise termodinâmica do processo de combustão de casca de arroz em uma planta termelétrica a carvão pulverizado; Período: 27/06/2009 a 30/11/2011;

Raquel Antunes Hess and Edson Bazzo; Analysis of heat transfer and overheating failures associated with wall temperatures in steam superheaters. COBEM 2013; 23° International Congress of Mechanical Engineering; ABCM; Proceedings in CD – pg.3637-3644; ISSN 2176-5480; Ribeirão Preto, 2013.

Raquel Antunes Hess, Edson Bazzo, Olaf Otte F° and Edevaldo B. Reinaldo; Análise da transferência de calor e problemas associados às temperaturas de parede de superaquecedores de vapor; CLAGTEE 2011 - The 9th Latin-American

Congress on Electricity Generation and Transmission; Proceedings in CD - 10 pgs;
Mar Del Plata, 2011.

Eduardo Morel Hartmann (Bolsa Estágio FAPEU/P&D ANEEL): Estudo da utilização de bioóleos em motores diesel para geração termelétrica distribuída; Período: 01/10/2010 a 30/07/2011 (Em co-orientação c/professor Carlos A. Martin)

Ricardo M. Hartmann, Nury N. Garzón, Eduardo M. Hartmann, Amir A. M. Oliveira, Edsaon Bazzo; Vegetable oils of soybean, sunflower and tung as alternative fuels for compression ignition engines; IJoT - International Journal of Thermodynamics, International Centre for Applied Thermodynamics, Vol. 16 (No. 2), p. 87-96, June 2013, ISSN 2146-1511, doi: 10.5541/ijot.455.

Gilson Rodrigo de Miranda, Henrique de Melo Lisboa, Edson Bazzo, Eduardo Morel Hartmann e Gilson Nunes Maia; Avaliação da emissão de CO, NO e NOx na exaustão de motor diesel abastecido com combustível aditivado; Revista Tecnológica (UNISC): Periódico Indexado no IBICT-CCN, Portal Periódicos da CAPES (<http://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/viewFile/2110/1571>); ISSN 1982-6753; v. 15, pp. 5-10, 2011.

Pablo Rodrigo Pelizza (Bolsa IC/CNPq): Análise experimental de sistemas de bombeamento capilar; Período: 01/08/2008 a 31/07/2010.

Renan Manozzo Galante (Bolsa IC/CNPq): Fabricação e testes de tubos de calor e evaporadores capilares para refrigeração de células a combustível do tipo PEM; Período: 01/08/2009 a 31/07/2010.

Ana Paula Silva, Renan Manozzo Galante, Pablo Rodrigo Pelizza and Edson Bazzo; A combined capillary cooling system for cooling fuel cells; IHPC 2010 - 15th International Heat Pipe Conference, Clemson, USA, April 25-30, 2010.

Ana Paula Silva, Renan Manozzo Galante and Edson Bazzo; Capillary systems as alternatives for cooling fuel cells; COBEM 2009 – 21° International Congress of Mechanical Engineering; Proceedings in CD - Gramado, November 15-20; 8 pgs.

Paulo Henrique Dias dos Santos, Renan Galante Manozzo, Pablo Rodrigo Pelizza, Lucas Freitas Berti, Edson Bazzo; Estudo teórico e experimental de um CPL para aplicação industrial e aeroespacial. CONEM 2010; VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande 2010.

Ana Paula Silva, Pablo Rodrigo Pelizza, Renan Manozzo Galante e Edson Bazzo; Mini tubos de calor como alternativa de arrefecimento para células a combustível do tipo PEM; CONEM 2010 - VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, PP. 1-8, August 18 – 21, Campina Grande – Brazil, 2010.

Márcio Caldeira Pierobom (Bolsa Estágio/FEESC/Petrobras): Instrumentação e análise experimental de uma microplanta de cogeração a gás natural; Período 01/08/2005 a 31/01/2009

Álvaro Nacif de Carvalho, Edson Bazzo and Marcio Caldeira Pierobom; Experimental results and performance parameters for assessment of a natural gas small scale cogeneration plant; COBEM 2009 – 21° International Congress of Mechanical Engineering; Proceedings in CD - Gramado, 10 pgs., 2009.

Álvaro Nacif de Carvalho, Edson Bazzo, Marcio Caldeira Pierobom and Álvaro Hernán Restrepo V.; Experimental results and exergoeconomic analysis of a natural gas small scale cogeneration plant; ECOS2009 - 22th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems – Foz do Iguaçu; ISSN 2175-5426 pp 625-634; Brazil, 2009.

Edson Bazzo, Janilson Arcangelo Rossa, Eduardo Choozo Arenas Kami e Marcio Caldeira Pierobom; Experimental results on ammonia-water absorption system associated to a microturbine, Proceedings of ENCIT 2008, 12th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, Copyright © 2008 by ABCM, pp. 1-8, Belo Horizonte, 2008.

Edson Bazzo, Álvaro Nacif de Carvalho and Marcio Caldeira Pierobom; Resultados experimentais e parâmetros de desempenho para avaliação de um sistema compacto de cogeração a gás natural; 5º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás; Fortaleza, 2009.

Rodolpho Merlo de Andrade (Bolsa IC/CNPq): Fabricação e ajuste de Propriedades Físicas de Elementos Porosos Cerâmicos; Período 01/09/2007 a 31/12/2009.

Rodolpho Merlo de Andrade, Lucas Freitas Berti, Carlos Renato Rambo, Dachamir Hotza e Edson Bazzo; Estudo das propriedades físicas, fluidodinâmicas e mecânicas de cerâmicas obtidas por colagem de barbotina, Proceedings of CBECIMAT 2008 - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, pp. 1-13; Porto de Galinhas, 2008.

Raphael Guardiani Miyake (Bolsa IC/CNPq): Desenvolvimento de um sistema de arrefecimento e de controle da temperatura de células a combustível tipo PEM; Período 01/01/2006 a 30/06/2007.

Raphael Guardini Miyake e Edson Bazzo; Análise experimental de uma célula a combustível PEM 15W, ENCIT 2006 Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, Paper CIT06-0464; Braz. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering - ABCM, Curitiba, 2006.

Eduardo Choozo Arenas Kami (Bolsa IC/CNPq): Instrumentação e testes do sistema de cogeração a gás natural instalado no LabCET/UFSC; Período 01/05/2005 a 31/07/2007;

Edson Bazzo, Janilson Arcangelo Rossa, Eduardo Choozo Arenas Kami e Marcio Caldeira Pierobom; Experimental results on ammonia-water absorption system associated to a microturbine, Proceedings of ENCIT 2008, 12th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, Copyright © 2008 by ABCM, pp. 1-8, November 10-14, Belo Horizonte, 2008.

Rafael Branco dos Santos (Bolsa IC/CNPq): (i) Montagem e testes de um sistema de bombeamento capilar para aplicação no projeto Estação Espacial Internacional - MCENT-CEM (Capillary Evaporator Microgravity Experiment); (ii) Montagem de um sistema de bombeamento capilar para testes em vôo sub-orbital (Projeto AEB-Microgravidade); (iii) Montagem de um sistema de bombeamento capilar para testes em células-combustível PEM; (iv) Análise

experimental de circuitos de bombeamento capilar utilizando água, acetona e amônia como fluidos de trabalho; Período: 1/10/2005 a 31/01/2009.

Paulo Henrique Dias dos Santos, Rafael Branco dos Santos, Lucas Freitas Berti, Edevaldo Brandilio Reinaldo, Eduardo Gonçalves Reimbrecht and Edson Bazzo; Successful application of ceramic porous wick in loop heat pipe and capillary pumping loop; COBEM 2009 – 21^o International Congress of Mechanical Engineering; Proceedings in CD - Gramado, 2009.

Edson Bazzo, Eduardo Gonçalves Reimbrecht, Edevaldo B. Reinaldo, Marcelo A. Corrêa, Raul Gohr Jr, Rafael Branco Santos, Lucas F. Berti, Marcelo Nogoseke e Heitor V. R. Camargo; CEM: Evaporadores capilares em ambiente de microgravidade capillary evaporator microgravity experiment; Seminário Sobre os Resultados da Missão Centenário, Coordenação AEB, INPE e CTA/IAE, São José dos Campos, 21 e 22 novembro/2006.

Rafael Branco dos Santos, Eduardo Gonçalves Reimbrecht e Edson Bazzo; CEM – Capillary Evaporator Microgravity Experiment; Congresso Nacional dos Estudantes de Engenharia Mecânica, XIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica; CREEM 2006, João Pessoa/PB; 2006.

Marcelo Augusto Milan da Silva (Bolsa IC/ANP): Simulação de sistemas de cogeração a gás natural; Período: 01/08/2001 a 28/02/2003;

Marcelo Augusto Milan da Silva (Bolsa IC/CNPq): Fabricação e caracterização de elementos porosos para uso em bombas capilares. Período 01/04/1999 a 31/03/2001 (Em co-orientação c/Prof. Paulo Wendhausen, LabMAT/UFSC).

Ricardo Alexandre Pereira Borba, Marcelo Augusto Milan da Silva and Edson Bazzo, Energy and economic analysis of cogeneration systems applied to ceramic industries, Proceedings of the ECOS 2002 - 15th International Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Vol I, pp. 266-273, Berlin, July/2002.

Márcio Celso Fredel, Eduardo Gonçalves Reimbrecht, Paulo A. P. Wendhausen, Edson Bazzo, Marcelo Augusto Milan da Silva e Paulo Cesar Philippi; Manufacturing of tubular porous structures for capillary pumps, International Conference on Powder Metallurgy & Particulate Materials, PM&PMTEC2000, May 30-June 3, New York, 2000.

Marcelo Augusto Milan da Silva, Ricardo Alexandre Pereira Borba e Edson Bazzo; Turbinas a gás: influência das curvas de desempenho na análise de viabilidade técnica de plantas termelétricas, 2^o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás, em CD, pp. 1-6, Rio de Janeiro, Maio/2003.

Ricardo A. P. Borba, Marcelo A. Milan da Silva e Edson Bazzo, Avaliação econômica de um sistema de cogeração aplicado à indústria cerâmica de revestimento, Anais do CBE 2002 - IX Congresso Brasileiro de Energia e IV Seminário Latino Americano de Energia, pp. 1953-1961, Rio de Janeiro/2002.

Marcelo Nogoseke (Bolsa IC/CNPq): Projeto e montagem de um CPL em escala reduzida para testes no LabCET/UFSC; Período 01/03/2000 a 28/02/2003;

Edson Bazzo e Marcelo Nogoseke, Capillary pumping systems for solar heating application, Applied Thermal Engineering Journal, Pergamon Press, ISSN 1359-

4311, vol 23, Issue 9, pp. 1153-1165, June 2003; [http://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311\(03\)00042-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311(03)00042-5).

Edson Bazzo, Marcelo Nogoseke and Luciano Heinen, Thermal behavior of capillary pumping systems applied to solar collectors, Proceedings of the IHPC 2002 – 12th International Heat Pipe Conference, Proceedings in CD, Moscou, Maio/2002.

Eduardo Gonçalves Reimbrecht, Marcio Celso Fredel, Edson Bazzo, Paulo Cesar Philippi, Marcelo Nogoseke e Henrique Cislaguei Silva, Manufacturing and characterization of ceramic porous wick to be used in capillary pumps, Congresso Brasileiro de Ciências dos Materiais, Proceedings CBCIMAT 2002 in CD, Natal-RN, November/2002.

Edson Bazzo, Luciano Heinen, Marcelo Nogoseke, Marcelo Natale Junkes e Roger Ribeiro Riehl, Análise térmica e estrutural de um sistema de bombeamento capilar integrado a um microsatélite científico para testes em ambiente de microgravidade, IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Sistemas Térmicos, Anais ENCIT 2002 em CD: Paper CIT02-0887, pp. 1-12, Caxambu-MG, Outubro/2002.

Edson Bazzo, Luciano Heinen e Marcelo Nogoseke, Capillary pumps integrated to flat solar collectors, International Heat Pipe Symposium, Chiang Mai, November/2000.

Fernando Tabalipa (Estágio LabCET/FEESC): Fabricação e caracterização de elementos porosos cerâmicos para uso em bombas capilares; Período: 01/08/2001 a 31/05/2002 (Em co-orientação c/Prof. Dachamir Hotza, LabMAT/UFSC).

Fernando Tabalipa, Edson Bazzo, Marcio C. Fredel, Eduardo Gonçalves Reimbrecht e Marcelo Nogoseke, Caracterização de elementos porosos cerâmicos para uso em bombas capilares, SULMAT 2002 - Congresso em Ciência dos Materiais do Mercosul, pp. 1-7, Joinville, 2002.

Eduardo Gonçalves Reimbrecht, Marcelo Nogoseke, Alexandre. R. Takahashi, Fernando Tabalipa e Edson Bazzo, Elementos porosos cerâmicos como alternativa para aplicação em sistemas de bombeamento, IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Sistemas Térmicos, Anais ENCIT 2002 em CD, Paper CIT02-0888, pp. 1-10, Caxambu-MG, Outubro/2002.

Fernando Tabalipa, Eduardo Gonçalves Reimbrecht, Edson Bazzo, Alfredo Tibúrcio Nunes Pires e Dachamir Hotza; Controle do resíduo gerado na fabricação de elementos porosos cerâmicos para uso em sistemas de bombeamento capilar; CBECIMAT 2004 – XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Porto Alegre, Dezembro/2004.

2. PRODUÇÃO INTELECTUAL

Até o ano de 2014 foram publicados cerca de 35 artigos em periódicos, um livro didático e 180 artigos completos em congressos nacionais e internacionais. Comentários relativos aos artigos publicados são deixados para o capítulo 4, que se refere à coordenação de projetos de pesquisa e extensão. Segue abaixo relação parcial dos artigos publicados nos últimos 10 anos¹⁵.

Artigos em Periódicos

- doi>** MATELLI, J. A., SILVA, J. C., **Bazzo, Edson**
Cogeneration design problem: Computational complexity analysis and solution through an expert system. Engineering Computations. **JCR**, v.31, p.1034 - 1051, 2014.
- doi>** SILVA, J. C., MATELLI, J. A., **Bazzo, Edson**
Development of a knowledge-based system for cogeneration plant design: Verification, validation and lessons learned. Knowledge-Based Systems. **JCR**, v.67, p.230 - 243, 2014.
- doi>** **Bazzo, Edson**, CAMARGO, H.V.R., REIMBRECHT, E. G., BERTI, L. F., SANTOS, P. H. D.
Ground and microgravity results of a circumferentially microgrooved capillary evaporator. Applied Thermal Engineering. **JCR**, v.71, p.169 - 174, 2014.
- doi>** **Bazzo, Edson**, CARVALHO, A. N., MATELLI, J. A.
Experimental results and thermodynamic analysis of a natural gas small scale cogeneration plant for power and refrigeration purposes. Applied Thermal Engineering. **JCR**, v.58, p.264 - 272, 2013.
- doi>** MATELLI, J. A., **BAZZO, E.**
On the parameters of performance of combined refrigeration and power plants. International Journal of Refrigeration. **JCR**, v.36, p.2169 - 2175, 2013.
- doi>** HARTMANN, R. M., NIETO GARZON, N. A., HARTMANN, E. M., OLIVEIRA, A. A. M., **Bazzo, Edson**
Vegetable Oils of Soybean, Sunflower and Tung as Alternative Fuels for Compression Ignition Engines. International Journal of Thermodynamics. , v.16, p.87 - 96, 2013.
- doi>** SILVA, A. P., GALANTE, R. M., PELIZZA, P. R., **Bazzo, Edson**
A combined capillary cooling system for fuel cells. Applied Thermal Engineering. **JCR**, v.41, p.104 - 110, 2012.
- doi>** SANTOS, P. H. D., OLIVEIRA, A. A. M., **Bazzo, Edson**
ANALYSIS OF THE ONSET OF DRYING OF A POROUS CERAMIC WICK APPLIED TO A CAPILLARY PUMPED LOOP AND A LOOP HEAT PIPE. Heat Pipe Science and Technology, An International Journal. , v.3, p.125 - 151, 2012.
- doi>** RESTREPO-VICTORIA, A. H., MIYAKE, R. G., Kleveston, Fábio, **Bazzo, Edson**
Exergetic and environmental analysis of a pulverized coal power plant. Energy (Oxford). **JCR**, v.45, p.195 - 202, 2012.
- doi>** BERTI, L. F., RAMBO, C. R., BAZZO, E., JANSSEN, R., HOTZA, D.
RBMAO: A novel route for porous matrix composites. Materials Science Forum. **JCR**, v.727-728, p.568 - 573, 2012.
- doi>** SANTOS, P. H. D., **Bazzo, Edson**, OLIVEIRA, A. A. M.
Thermal performance and capillary limit of a ceramic wick applied to LHP and CPL. Applied Thermal Engineering. **JCR**, v.41, p.92 - 103, 2012.
- MIRANDA, G. R., LISBOA, H. M., **BAZZO, E.**, HARTMANN, E.M., MAIA, G. N.
Avaliação da emissão de CO, NO e NOx na exaustão de motor diesel abastecido com combustível aditivado. Tecno-lógica (Santa Cruz do Sul . Online). , v.15, p.5 - 10, 2011.

¹⁵ Artigos publicados em revistas indexadas nos últimos dez anos: Processos 23080.052241/2006-91, fls. 27 a 28; 23080.015511/2010-69, fls. 30 a 32; 23080.017577/2012-55, fls. 33 a 39; 23080.038252/2014-78, fls. 41 a 49.

doi> MENDES NETO, L. J., **Bazzo, Edson**

Characterization and growth modeling of ash deposits in coal fired boilers. Powder Technology (Print). **JCR**, v.88, p.3030 - 3041, 2011.

doi> NEBRA, S. A., OLIVEIRA JR., S., **Bazzo, Edson**

Dedicated to ECOS 2009 conference. Energy (Oxford). **JCR**, v.36, p.3619 - 3620, 2011.

doi> MATELLI, J. A., **Bazzo, Edson**, SILVA, J. C.

Development of a case-based reasoning prototype for cogeneration plant design. Applied Energy. **JCR**, v.88, p.3030 - 3041, 2011.

doi> BERTI, L. F., SANTOS, P. H. D., **BAZZO, E.**, JANSSEN, R., HOTZA, D., RAMBO, C. R.

Evaluation of permeability of ceramic wick structures for two phase heat transfer devices. Applied Thermal Engineering. **JCR**, v.31, p.1076 - 1081, 2011.

doi> SANTOS, P. H. D., **Bazzo, Edson**, BECKER, S., KULENOVIC, Rudi, MERTZ, R.

Development of LHPs with ceramic wick. Applied Thermal Engineering. **JCR**, v.30, p.1784 - 1789, 2010.

BERTI, L. F., **BAZZO, E.**, JANSSEN, R., HOTZA, D., RAMBO, C. R.

Porous ceramic structures for capillary pumped loops. Current Organic Chemistry. **JCR**, v.1, p.131 - 137, 2010.

doi> MATELLI, J. A., **BAZZO, E.**, SILVA, J. C.

An expert system prototype for designing natural gas cogeneration plants. Expert Systems with Applications. **JCR**, v.36, p.8375 - 8384, 2009.

BERTI, L. F., RAMBO, C. R., REIMBRECHT, E. G., HOTZA, D., **BAZZO, E.**

Produção e caracterização de elementos porosos cerâmicos para evaporadores capilares. Exacta (Online). , v.6, p.54 - 64, 2009.

ROSSA, J. A., **BAZZO, E.**

Thermodynamic modeling of an ammonia-water absorption system associated with a microturbine. International Journal of Thermodynamics. , v.12, p.201 - 207, 2009.

doi> MATELLI, J. A., **Bazzo, Edson**

A methodology for thermodynamic simulation of high temperature, internal reforming fuel cell systems. Journal of Power Sources (Print). **JCR**, v.142, p.160 - 168, 2005.

REINALDO, R. F., **BAZZO, E.**, AZEVEDO, J. L. T.

CFD Based Analysis of Heat Transfer in a Front Wall Pulverized Coal Fired Boiler Including Superheaters. Clean Air. , v.JCA 06, p.409 - 421, 2005.

Livros

Geração de Vapor, Editora da UFSC, 2ª. Ed., Florianópolis, 1995 (ISBN 85.328.0055-6).

O propósito inicial do livro é oferecer aos estudantes dos cursos de graduação em engenharia um texto básico sobre geração de vapor, que possa ser efetivamente utilizado para consolidar os conhecimentos fundamentais recebidos em sala de aula. Abordando um assunto abrangente, o autor se concentra nos aspectos conceituais da matéria, na funcionalidade e na segurança de caldeiras, apresentando uma metodologia de cálculo orientada ao perfeito entendimento aos princípios básicos sobre combustão, dimensionamento térmico e desempenho de geradores de vapor. O texto faz referência aos diversos tipos de fornalhas e tipos de caldeiras, sempre enfatizando a necessidade premente de racionalizar o uso de energia ou de buscar alternativas energéticas não poluentes, que reduzam os custos de produção e que contribuam par uma maior competitividade dos produtos industriais em nível internacional.

Trabalhos completos publicados em anais de eventos¹⁶

(Últimos 10 anos):

NIETO GARZON, N. A., HARTMANN, R. M., OLIVEIRA, A. A. M., **BAZZO, E.**
Analysis and measurement of the performance and emissions of a diesel engine operating with straight soybean oil In: Eighth Mediterranean Combustion Symposium, 2013, Çesme.
MCS 2013. , 2013. p.1 - 10

HESS, R.A., **BAZZO, E.**
Analysis of heat transfer and overheating failures associated with wall temperatures in steam superheaters In: 23° International Congress of Mechanical Engineering, 2013, Ribeirão Preto.
COBEM 2013. , 2013. p.3637 - 3644

MIYAKE, R. G., BURIN, E.K., OLIVEIRA, A. A. M., BZUNECK, M., **BAZZO, E.**
Co-firing of pulverized coal and rice straw in a drop tube furnace In: International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2013, Guilin.
ECOS 2013. , 2013. p.1 - 10

RESTREPO-VICTORIA, A. H., **BAZZO, E.**, MIYAKE, R. G., BZUNECK, M.
Exergoenvironmental analysis of a pulverized coal power plant operating in co-firing process In: 26th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2013, gUILIN.
ECOS 2013. , 2013. p.1 - 15

BARRERA, J. E., SAHLIT, A. A., **BAZZO, E.**
Exergy analysis and strategies for the waste heat recovery in offshore platforms In: 23° International Congress of Mechanical Engineering, 2013, Ribeirão Preto.
COBEM 2013. , 2013. p.1674 - 1682

NIETO GARZON, N. A., **BAZZO, E.**, HARTMANN, R. M., OLIVEIRA, A. A. M.
Experimental and exergetic comparison of a diesel engine fueled with sunflower oil and tung oil In: 23° International Congress of Mechanical Engineering, 2013, Ribeirão Preto.
COBEM 2013. , 2013. p.4668 - 4677

BURIN, E.K., **BAZZO, E.**
Feedwater heating of a sugarcane bagasse power plant using parabolic trough solar collectors In: 26th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2013, Guilin.
ECOS 2013. , 2013. p.1 - 15

BAZZO, E., BZUNECK, M., MIYAKE, R. G., RESTREPO-VICTORIA, A. H., KLEVESTON, F., CANESCHI, M.D., FELIPPE, L., GOMES, E.R., DALSSASSO, C.H.
Resultados da utilização de palha de arroz em pro-cesso de co-firing com carvão pulverizado In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro.
CITENEL 2013. , 2013. p.1 - 8

LANDA, I. F., BURIN, E.K., **BAZZO, E.**
Solar thermal electricity generation: The Spanish experience In: 23° International Congress of Mechanical Engineering, 2013, Ribeirão Preto.
COBEM 2013. , 2013. p.4190 - 4199

ORO, M.V., **BAZZO, E.**
Theoretical and experimental study of a flat heat pipe for pem fuel cell cooling In: 23° International Congress of Mechanical Engineering, 2013, Ribeirão Preto.
COBEM 2013. , 2013. p.5531 - 5540

SCHUHMACHER, R., BURIN, E.K., **BAZZO, E.**
Thermodynamic and economic analysis of a biomass power plant aided by linear Fresnel collectors In: 23° International Congress of Mechanical Engineering, 2013, Ribeirão Preto.
COBEM 2013. , 2013. p.4905 - 4910

¹⁶ Artigos em congressos nacionais e internacionais (últimos 10 anos): Processos 23080.052241/2006-91, fls. 12 a 26; 23080.028028/2008-20, fls. 12 a 38; 23080.015511/2010-69, fls. 12 a 29; 23080.017577/2012-55, fls. 15 a 32; 23080.038252/2014-78, fls. 17 a 31.

- MIYAKE, R. G., RESTREPO-VICTORIA, A. H., KLEVESTON, F., **BAZZO, E.**, BZUNECK, M.
Thermodynamic and heat transfer analysis of rice straw co-firing in a Brazilian pulverised coal boiler In: 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2012, Perugia.
ECOS 2012. , 2012. p.326-1 - 326-13
- HARTMANN, R. M., NIETO GARZON, N. A., HARTMANN, E.M., OLIVEIRA, A. A. M., **BAZZO, E.**, PILUSKI, J.E.A., OKUDA, B.S.
Vegetable oils of soybean, sunflower and tung as alternative fuels for compression ignition engines In: 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2012, Perugia.
ECOS 2012. , 2012. p.500-1 - 500-17
- BERTI, L. F., RAMBO, C. R., **BAZZO, E.**, JANSSEN, R., HOTZA, D.
A novel route for porous matrix composites In: Eighth International Latin American Conference on Powder Technology, 2011, Florianópolis.
PTECH 2011. , 2011. p.1 - 10
- HESS, R.A., **BAZZO, E.**, OTTE Fº, O.O., REINALDO, E. B.
Análise da transferência de calor e problemas associados às temperaturas de parede de superaquecedores de vapor In: CLAGTEE 2011 - The 9th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission, 2011, Mar Del Plata.
Proceedings in CD. , 2011. p.1 - 10
- RESTREPO-VICTORIA, A. H., **BAZZO, E.**, MIYAKE, R. G., KLEVESTON, F.
Cofiring carbón-biomasa residual: análisis energético y ambiental en la generación termoeléctrica: Caso Brasil In: CIMM 2011 - Quinto Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y Tercero de Ingeniería Mecatrónica, 2011, Bogotá.
Proceedings in CD. , 2011. p.1 - 10
- HARTMANN, R. M., PILUSKI, J.E.A., **BAZZO, E.**, OKUDA, B.S.
Estudo da utilização de bioóleos para geração termelétrica distribuída In: SNPTÉE 2011 - XXI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2011
Anais em CD. , 2011. p.1 - 10
- RESTREPO-VICTORIA, A. H., MIYAKE, R. G., KLEVESTON, F., **BAZZO, E.**
Energetic and environmental analyses of a pulverized coal power plant: A Brazilian case In: ECOS 2011 - 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2011, Novi Sad.
Proceedings in CD. , 2011. p.1 - 12
- SANTOS, P. H. D., **BAZZO, E.**, OLIVEIRA, A. A. M.
Experimental and numerical results concerning ceramic wicks applied to LHP using water In: COBEM 2011 – 22º International Congress of Mechanical Engineering, 2011, Natal.
Proceedings in CD. , 2011. v.1. p.1 - 10
- RESTREPO-VICTORIA, A. H., MIYAKE, R. G., KLEVESTON, F., **BAZZO, E.**
Life cycle assessment for co-firing potential analysis in a pulverized coal power plant In: ECOS 2011 - 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2011, Novi Sad.
Proceedings in CD. , 2011. p.1 - 11
- KLEVESTON, F., RESTREPO-VICTORIA, A. H., MIYAKE, R. G., **BAZZO, E.**
Metodologia de avaliação do potencial energético de resíduos agrícolas utilizados na geração termelétrica: Estudo de caso In: CIBEM 10 - 10º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, 2011, Porto.
Proceedings in CD. , 2011. p.1 - 9
- JANSSEN, R., BERTI, L. F., **BAZZO, E.**, HOTZA, D., RAMBO, C. R.
Porous Al₂O₃ Ceramics with Controlled Pore Structures In: Third International Conference on Porous Media and its Applications in Science, Engineering and Industry, 2010, Tuscany.
Proceedings of. , 2011. p.1 - 10
- BAZZO, E.**, MIYAKE, R. G., RESTREPO-VICTORIA, A. H., KLEVESTON, F., BZUNECK, M., CANESCHI, M.D., FELIPPE, L., GOMES, E.R., DALSSASSO, C.H.
Utilização da palha de arroz em processo co-firing com carvão pulverizado In: CITENEL 2011 - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Fortaleza.
Anais em CD. , 2011. p.1 - 10
- SILVA, A. P., GALANTE, R. M., PELIZZA, P. R., **BAZZO, E.**
A combined capillary cooling system for cooling fuel cells In: 15th International Heat Pipe Conference, 2010, Clemson. **IHPC 2010.** , 2010.

- LUCAS, G., LACERDA, V., **BAZZO, E.**
Análise da viabilidade econômica do biodiesel como alternativa energética à caldeira elétrica em operação no Restaurante Universitário da UFSC In: XVII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, Viçosa.
Anais do CREEM 2010. , 2010. p.1 - 6
- MIYAKE, R. G., **BAZZO, E.**, BZUNECK, M.
Cofiring of rice straw and coal in a coal-fired utility boiler: Thermodynamic analysis In: 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2010, Uberlândia.
ENCIT 2011. , 2010.
- SANTOS, P. H. D., GALANTE, R. M., PELIZZA, P. R., BERTI, L. F., **BAZZO, E.**
Estudo teórico e experimental de um CPL para aplicação industrial e aeroespacial In: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande.
Anais do CONEM 2010. , 2010.
- RESTREPO-VICTORIA, A. H., MIYAKE, R. G., **BAZZO, E.**, BZUNECK, M.
Exergetic analysis of a steam power plant using coal and rice straw in a co-firing process In: 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2010, Uberlândia.
ENCIT 2010. , 2010.
- PEREIRA, F.L., OLIVEIRA, A. A. M., **BAZZO, E.**, BZUNECK, M.
Experimental analysis of a combustion reactor under co-firing coal with biomass In: 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2010, Ubrelândia.
ENCIT 2010. , 2010.
- SILVA, A. P., PELIZZA, P. R., GALANTE, R. M., **BAZZO, E.**
Mini tubos de calor como alternativa de arrefecimento para células a combustível do tipo PEM In: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande.
Anais do CONEM 2010. , 2010.
- SANTOS, P. H. D., **BAZZO, E.**
Thermal performance and capillary limit of a ceramic capillary evaporator used in LHP and CPL In: 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2010, Uberlândia.
ENCIT 2010. , 2010.
- MATELLI, J. A., **BAZZO, E.**, SILVA, J. C., BINELLI, G. J.
A case-based reasoning prototype for cogeneration plant design In: 22th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2009, Foz do Iguaçu.
ECOS 2009. ABCM, 2009. v.2. p.565 - 576
- PEREIRA, F.L., **BAZZO, E.**, OLIVEIRA, A. A. M.
Biomass co-firing as an alternative technology for a clean coal electric generation in brazil In: 21° International Congress of Mechanical Engineering, 2009
COBEM 2009. , 2009.
- SILVA, A. P., GALANTE, R. M., **BAZZO, E.**
Capillary systems as alternatives for cooling fuel cells In: 21° International Congress of Mechanical Engineering, 2009, Gramado - RS.
COBEM 2009. , 2009.
- SANTOS, P. H. D., **BAZZO, E.**, MERTZ, R.
Experimental investigation of an acetone loop heat pipe using a ceramic porous wick in the capillary evaporator In: 21° International Congress of Mechanical Engineering, 2009, Gramado - RS.
COBEM 2009. , 2009.
- CARVALHO, A. N., **BAZZO, E.**, PIEROBOM, M. C., RESTREPO-VICTORIA, A. H.
Experimental results and exergoeconomic analysis of a natural gas small scale cogeneration plant In: 22th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2009, Foz do iguaçu.
ECOS 2009. ABCM, 2009. v.2. p.625 - 634
- CARVALHO, A. N., **BAZZO, E.**, PIEROBOM, M. C.
Experimental results and performance parameters for assessment of a natural gas small scale cogeneration plant In: 21° International Congress of Mechanical Engineering, 2009, Gramado - RS.
COBEM 2009. , 2009.
- PELIZZA, P. R., SILVA, A. P., **BAZZO, E.**
Minitubos de calor como alternativas de arrefecimento para células a combustível do tipo PEM In: XVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, Florianópolis.
Paper CREEM2009-FS01. , 2009. p.1 - 6

- BERTI, L. F., SANTOS, P. H. D., **BAZZO, E.**, JANSSEN, R., HOTZA, D., RAMBO, C. R.
Porous ceramic structures for capillary pumped loops In: 3rd International Symposium Advanced Micro and Mesoporous Materials, 2009, Albona.
Current Organic Chemistry. Sofia: Heron Press Ltd. - Bentham Science Publishers Ltd., 2009. v.1. p.44 - 50
- BAZZO, E.**, CARVALHO, A. N., PIEROBOM, M. C.
Resultados experimentais e parâmetros de desempenho para avaliação de um sistema compacto de cogeração à gás natural In: 5º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2009, Fortaleza.
5º P&D em Petróleo e Gás. , 2009.
- GALANTE, R. M., SILVA, A. P., **BAZZO, E.**
Sistemas capilares para refrigeração de células a combustível do tipo PEM In: XVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, Florianópolis.
Paper CREEM2009-FS04. , 2009. p.1 - 6
- SILVA, R. C., KRAUTZ, H.J., MIYAKE, R. G., **BAZZO, E.**
Theoretical analysis of heat transfer in a pulverised coal combustion chamber under O₂/CO₂ atmosphere In: 21º International Congress of Mechanical Engineering, 2009
COBEM 2009. COBEM 2009, 2009.
- SANTOS, P. H. D., OLIVEIRA, A. A. M., **BAZZO, E.**
Analysis of heat and mass transfer in the porous structure of a capillary evaporator - analytical solution for the velocity and temperature distribution In: V National Congress of Mechanical Engineering, 2008, Salvador.
Proceedings of CONEM 2008. , 2008. p.1 - 10
- SANTOS, P. H. D., OLIVEIRA, A. A. M., **BAZZO, E.**
Analysis of a bi-layered capillary evaporator wick In: 12th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, 2008, Belo Horizonte.
Proceedings of ENCIT 2008. Copyright © 2008 by ABCM, 2008. p.1 - 10
- ANDRADE, R. M., BERTI, L. F., RAMBO, C. R., HOTZA, D., **BAZZO, E.**
Estudo das propriedades físicas, fluidodinâmicas e mecânicas de cerâmicas obtidas por colagem de barbotina In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 2008, Porto de Galinhas.
Proceedings of CBECIMAT 2008. , 2008. p.1 - 13
- BAZZO, E.**, ROSSA, J. A., KAMI, E. C. A., PIEROBOM, M. C.
Experimental results on ammonia-water absorption system associated to a microturbine In: 12th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, 2008, Belo Horizonte.
Proceedings of ENCIT 2008. Copyright © 2008 by ABCM, 2008. p.1 - 8
- ARMESTO, L. O. S., NOGUEIRA, A. C. R., **BAZZO, E.**
Metodologia para tratamento da radiação na solução numérica da transferência de calor em superaquecedores de vapor In: V National Congress of Mechanical Engineering, 2008, Salvador.
Proceedings of CONEM 2008. , 2008. p.1 - 9
- BUSTOS, L. A. D., **BAZZO, E.**
Resultados Experimentais de um Sistema Compacto de Cogeração Instalado no Hospital Universitário da UFSC In: V National Congress of Mechanical Engineering, 2008, Salvador.
Proceedings of CONEM 2008. , 2008. p.1 - 9
- SILVA, R. C., NOGUEIRA, A. C. R., **BAZZO, E.**
Surface temperature monitoring on boiler tube bundles In: 12th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, 2008, Belo Horizonte.
Proceedings of ENCIT 2008. Copyright © 2008 by ABCM, 2008. p.1 - 11
- MATELLI, J. A., BAZZO, E., SILVA, J. C.
A combined expert system/case-based reasoning approach for cogeneration plant design In: 19º International Congress of Mechanical Engineering, 2007, Brasília.
COBEM 2007 Proceedings. , 2007. p.1 - 9
- BERTI, L. F., REIMBRECHT, E. G., MENDES NETO, L. J., **BAZZO, E.**
A methodology for morphological and chemical characterization of ash deposits In: 19º International Congress of Mechanical Engineering, 2007, Brasília.
COBEM 2007 Proceedings. , 2007. p.1 - 8
- MENDES NETO, L. J., BAZZO, E., AZEVEDO, J. L. T.
A RANS analysis of the ash particle deposition around a boiler superheater tube In: 9th International Conference on Energy for a Clean Environment, 2007, Póvoa de Varzim.
Clean Air 2007 Proceedings. , 2007. p.1 - 10

ROSSA, J. A., MATELLI, J. A., **BAZZO, E.**

An experimental investigation of an ammonia/water absorption system associated to a microturbine In: 20th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2007, Pádova.

ECOS 2007 Proceedings. , 2007. p.1 - 10

Garcia A., L. E., Fabrício F., R., OLIVEIRA, A. A. M., **BAZZO, E.**

Analysis of mass and charge transfer in a PEM fuel cell In: 19º International Congress of Mechanical Engineering, 2007, Brasília.

COBEM 2007 Proceedings. , 2007. p.1 - 9

SILVA, R. C., BAZZO, E., NOGUEIRA, A. C. R., CITADIN, M. G., REINALDO, E. B., FELIPPE, L.
Avaliação de sensores e monitoramento de temperaturas de superfície de feixes tubulares em uma unidade geradora de vapor In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2007, Uberlândia.

IV CITENEL Proceedings. , 2007. p.1 - 6

BAZZO, E., CAMARGO, H. V. R.

Circumferentially microgrooved capillary evaporators: ground and microgravity experimental results In: 14th International Heat Pipe Conference, 2007, Florianópolis.

IHPC Proceedings. , 2007. p.1 - 10

NOGUEIRA, A. C. R., BAZZO, E., ARMESTO, L. O. S., FELIPPE, L.

Metodologia proposta para solução integrada da transferência de calor em superaquecedores de vapor In: 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, 2007, Cusco.

CIBIM 2007 Proceedings. , 2007. p.1 - 8

MATELLI, J. A., ROSSA, J. A., **BAZZO, E.**

On the parameters of performance of combined cooling and power plants In: 20th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2007, Pádova.

ECOS 2007 Proceedings. , 2007. p.1 - 8

MENDES NETO, L. J., BAZZO, E., FELIPPE, L.

Técnica de análise de carvão e depósitos de cinzas em unidades geradoras de vapor In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2007, Uberlândia.

IV CITENEL Proceedings. , 2007. p.1 - 6

SANTOS, P. H. D., **BAZZO, E.**

Thermohydraulic analysis of two-phase capillary pumping systems for industrial design and space applications In: 19º International Congress of Mechanical Engineering, 2007, Brasília.

COBEM 2007 Proceedings. , 2007. p.1 - 10

REIMBRECHT, E. G., **BAZZO, E.**

Wick manufacturing and characterization In: 14th International Heat Pipe Conference, 2007, Florianópolis.

IHPC Proceedings. , 2007. p.1 - 10

MATELLI, J. A., **BAZZO, E.**

An expert system initial prototype for natural gas cogeneration systems design and optimization In: 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2006, Aghia Pelagia.

ECOS2006. , 2006. v.1. p.595 - 601

MIYAKE, R. G., **BAZZO, E.**

Análise experimental de uma célula a combustível PEM 15W In: ENCIT 2006, 2006, Curitiba.

Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. , 2006.

REINALDO, R. F., REIMBRECHT, E. G., BAZZO, E., AZEVEDO, J. L. T.

Caracterização de depósitos de cinzas de caldeira com queima de carvão pulverizado In: ENCIT 2006, 2006, Curitiba.

Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. , 2006.

MENDES NETO, L. J., FIGUEIREDO, W., BAZZO, E., AZEVEDO, J. L. T.

Comparison analysis of boiler ash deposit and pore structure simulated by the ballistic model In: 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2006, Aghia Pelagia.

ECOS2006. , 2006. v.1. p.373 - 380

MENDES NETO, L. J., AZEVEDO, J. L. T., **BAZZO, E.**

Large eddy simulation of ash particle deposition around tubes of a boiler superheater In: 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2006, Curitiba.

ENCIT 2006 Proceedings. , 2006.

- NOGUEIRA, A. C. R., BAZZO, E., ARMESTO, L. O. S., FELIPPE, L.
Methodology of analysis for the solution of problems related to steam generators tube bundles In: ENCIT 2006, 2006, Curitiba.
Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. , 2006.
- ROSSA, J. A., **BAZZO, E.**
Performance analysis of a small scale cogeneration plant based on a thermal fluid heat exchanger connecting an absorption chiller to a microturbine In: ENCIT 2006, 2006, Curitiba.
Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. , 2006.
- BAZZO, E., MATELLI, J. A., ROSSA, J. A., MAIA, G. N.
Plantas de cogeração de pequena escala a gás natural In: RedeGasEnergia, 2006, Rio de Janeiro.
Anais do I Seminário da Rede Gás Energia. , 2006.
- BERTI, L. F., RAMBO, C. R., REIMBRECHT, E. G., BAZZO, E., HOTZA, D.
Produção e caracterização de elementos porosos cerâmicos para evaporadores capilares In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu.
17° CBECIMAT. , 2006.
- MATELLI, J. A., **BAZZO, E.**
Protótipo inicial de um sistema especialista para projeto e otimização de sistemas de cogeração a gás natural In: ENCIT 2006, 2006, Curitiba.
Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. , 2006.
- MAIA, G. N., BAZZO, E., MATELLI, J. A.
¹⁷Resultados experimentais de uma planta de cogeração de pequena escala baseada em microturbina a gás natural In: Rio Oil & Gás 2006, 2006, Rio de Janeiro.
Rio Oil & Gas Expo and Conference. , 2006.
- BAZZO, E., TAKAHASHI, A. R., BUSTOS, L. A. D.
Resultados preliminares de uma micro planta de cogeração de 100 KVA a gás natural In: ENCIT 2006, 2006, Curitiba.
Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. , 2006.
- MARTINS, D. C., **BAZZO, E.**, RÜTHER, R.
Technical and economic analysis of a PV/diesel hybrid system applied to rural electrification for isolated communities in northern Brazilian region In: IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference, 2005, Recife.
Proceedings of PESC '05. IEEE 36th. IEEE Xplore® Digital Library, 2006. v.2005. p.257 - 261
- CAMARGO, H. V. R., **BAZZO, E.**
Thermal behaviour of microgrooved capillary pumps for different thermal working fluids In: ENCIT 2006, 2006, Curitiba.
Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. , 2006.
- ROSSA, J. A., **BAZZO, E.**
Thermodynamic modeling and second law analysis for an ammonia-water absorption system associated to a microturbine In: 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2006, Aghia Pelagia.
ECOS2006 Proceedings. , 2006. v.2. p.651 - 658
- MENDES NETO, L. J., BAZZO, E., AZEVEDO, J. L. T.
Análise da Transferência de Calor e Deposição de Cinzas em Unidades Geradoras de Vapor In: III CITENEL, 2005, Florianópolis.
Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. , 2005. p.1 - 6
- NOGUEIRA, A. C. R., BAZZO, E., MENDES NETO, L. J., FELIPPE, L.
Aplicação de restritores de fluxo de vapor como alternativa para correção de gradientes térmicos nos tubos de superaquecedores de caldeiras In: III CITENEL, 2005, Florianópolis.
Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. , 2005. p.1 - 6
- MENDES NETO, L. J., BAZZO, E., AZEVEDO, J. L. T., FIGUEIREDO, W.
Boiler ash deposit characterization of Brazilian pulverized coal using scanning electronic microscopic In: Eighth International Conference on Technologies and Combustion for a Clean Environment, 2005, Lisbon.
Proceedings of CLEAN AIR 2005. , 2005. p.1 - 23

¹⁷ Menção Honrosa – Rio Oil & Gás, 2006, IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, 11/09/2006

- ROMANOS, R. R., BAZZO, E., MATELLI, J. A., MOURA, N. R., FREIRE, L. G. M.
Estudo da viabilidade técnica de uma bancada de cogeração baseada em uma micro-turbina à gás natural In: P&D em Petróleo & Gás, 2005, Salvador.
3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás , 2005. p.1 - 6
- STEIDEL, P. S., BAZZO, E., HEUSI, D. S.
Heat losses and performance analysis of a PEM fuel cell In: COBEM 2005, 2005, Ouro Preto.
18º International Congress of Mechanical Engineering , 2005.
- BAZZO, E., HIRANO, E. W.
Low rank coal for electricity generation in Brazil In: Eighth International Conference on Technologies and Combustion for a Clean Environment, 2005, Lisbon.
Proceedings of CLEAN AIR 2005 , 2005. p.1 - 8
- MARTINS, D. C., **BAZZO, E.**, RÜTHER, R.
Application for rural electrification of PV/Diesel hybrid system in the Northern Brazilian region - Technical and economic analysis In: VI Industry Application Conference, Joinville.
Proceedings of VI INDUSCON , 2004. p.794 - 798
- TABALIPA, F., BAZZO, E., REIMBRECHT, E. G., PIRES, A. T. N., HOTZA, D.
Controle do resíduo gerado na fabricação de elementos porosos cerâmicos para uso em sistemas de bombeamento capilar In: CBECIMAT 2004, 2004, Porto Alegre.
XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais , 2004. p.1 - 7
- FRANCISCO JR, R. W., MATELLI, J. A., **BAZZO, E.**
Estudo de Pré-Viabilidade Econômica de uma Planta de Cogeração de Pequena Escala para Uso no Hospital da UFSC In: Rio Oil&Gás 2004 – Expo and Conference, 2004, Rio de Janeiro.
Rio Oil&Gás 2004 , 2004.
- RUCKER, C. P. R., **BAZZO, E.**
Exergoeconomic Optimization of a Small-Scale Cogeneration System Using the Exergetic Cost Theory In: ECOS 2004 - 16th International Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy and Process Systems, 2004, Guanajuato.
ECOS 2004 - 16th International Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy and Process Systems , 2004. v.II. p.619 - 628
- MARTINS, D. C., **BAZZO, E.**, RÜTHER, R.
Hybrid photovoltaic/diesel system for isolated communities in the Brazilian rain forest In: PVSEC - International Photovoltaic Science and Engineering Conference
Proceedings of PVSEC-2004 , 2004. v.2. p.839 - 840
- BAZZO, E.**
Hybrid Photovoltaic/Diesel Systems for Remote Areas in the Brazilian Rain Forest: A Renewable Energy Technology for Rural Electrification and Remote Areas in Brazil In: Workshop Report on Renewable Energy Technologies for Decentralised Rural Electricity Services, 2004, Studsvik.
Proceedings of SIDA. SEI/KTH/Sida, 2004. p.30 - 45
- MATELLI, J. A., BAZZO, E., MOURA, N. R.
Influence of the Climate and the Reference Conditions on the Thermo-economic Analysis of a Small Scale CHP Plant In: ECOS 2004 - 16th International Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy and Process Systems, 2004, México.
ECOS 2004 - 16th International Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy and Process Systems , 2004. v.III. p.1161 - 1170
- HEUSI, D. S., STEIDEL, P. S., MATELLI, J. A., **BAZZO, E.**
Influência das Temperaturas de Operação e de Umidificação no Desempenho de uma Célula Combustível Tipo PEM 15 W In: Rio Oil & Gas 2004 - Expo and Conference, 2004, Rio de Janeiro.
Rio Oil & Gas 2004 , 2004.

3. ATIVIDADES DE EXTENSÃO

Primeiras atividades de extensão foram marcadas com a coordenação de cursos de atualização em energia e também sobre manutenção de usinas termelétricas, realizados com a ampla participação de professores da UFSC, no treinamento de profissionais engenheiros vinculados às concessionárias de energia do sistema Eletrobrás. Ainda, em atenção a uma forte demanda por cursos de reciclagem, foram coordenados diferentes cursos de curta duração nas áreas de geração, distribuição e uso racional de vapor ao longo da década de 80 e início de 90, culminando com a edição de apostilas para utilização nas disciplinas de graduação e, posteriormente, com a primeira edição do livro “Geração de Vapor”, publicado no ano de 1992.

A partir de 1993, o envolvimento direto na coordenação de projetos de pesquisa, a participação ativa em congressos nacionais e internacionais abriu oportunidades para contatos importantes tanto na área industrial quanto na área acadêmica, incluindo propostas para realização de eventos sobre energias renováveis e também não renováveis. Na condição de organizador, quatro eventos de maior impacto são aqui apresentados como destaque: (i) Seminário sobre aplicações autônomas das energias solar e eólica e desenvolvimento de projeto¹⁸; (ii) Seminário sobre perspectivas para geração e consumo de energia – Um novo modelo para o setor elétrico¹⁹; (iii) Seminário sobre perspectiva da cogeração com gás natural no setor elétrico brasileiro²⁰ e (iv) ECOS 2009 - 22th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems²¹. Todos os três primeiros eventos foram realizados na cidade de Florianópolis.

O primeiro evento foi realizado em 1996, em parceria com a CELESC, ABEER, CEPEL, ELETROSUL e FIESC, através de convênio com o MCT e USAID/IIIE/SWTDI/AEI, com o objetivo de demonstrar a viabilidade das tecnologias de aproveitamento das energias renováveis solar e eólica num panorama nacional e internacional. Na mesma oportunidade foi também organizada uma exposição tecnológica de energias renováveis.

O segundo evento foi realizado em 1998, em parceria com o INEP do departamento de Engenharia Elétrica, CELESC, Energética-Tech e empresa GUASCOR com o objetivo de debater experiência recente na Espanha com a

¹⁸ Presidente da Comissão Organizadora do Seminário e Exposição Tecnológica de Energias Renováveis (Portaria 1099/GR/96).

¹⁹ Folder com a programação do seminário sobre perspectivas para geração e consumo de energia – Um novo modelo para o setor elétrico.

²⁰ Folder com a programação do seminário sobre perspectiva da cogeração com gás natural no setor elétrico brasileiro.

²¹ Folder ECOS 2009 - 22th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (Processo 23080.028028/2008-20, pgs. 68).

inserção do gás natural e apontar soluções tecnológicas que atendessem as necessidades energéticas de consumidores industriais de Santa Catarina.

O terceiro evento foi realizado nos dias 4 e 5 de junho de 2001, com ampla participação de setores do governo federal e estadual, empresas ligadas ao setor de petróleo e gás, além de professores e pesquisadores vinculados à universidade brasileira. O evento recebeu atenção especial da mídia, com diversas entrevistas e reportagens ressaltando a importância do debate em torno da inserção do gás natural no mercado brasileiro como alternativa para o uso racional de energia em plantas de cogeração. O evento foi financiado pela Redegás Energia (Petrobras, TBG e SCGas), em parceria com o SENAI-SC. Paralelamente foi também realizada exposição tecnológica sobre sistemas de cogeração, com apoio da Petrobrás, TBG, SCGas, MME, ANEEL, SENAI-SC e FEESC, além das empresas Koblitz, Soenergy, Caterpillar, GE, Stemac e Guascor.

Finalmente o quarto evento, este internacional, que foi realizado em parceria com a UNICAMP e USP na cidade de Foz do Iguaçu, no período de 31/08 a 3/9/2009, reunindo aproximadamente 210 participantes da América Latina, Estados Unidos, Canada, Europa, China e Japão. A conferência foi apoiada pela ABCM, ASME (American Association of Mechanical Engineers) e pela ICAT (International Centre of Applied Thermodynamics). ECOS é o nome da série anual de conferências internacionais focadas na área de ciências térmicas, com particular ênfase em termodinâmica aplicada, conversão de energia e sistemas térmicos.

4. COORDENAÇÃO DE PROJETOS DE PESQUISA E EXTENSÃO

Liderança de grupos de pesquisa

HISTÓRICO

As atividades de pesquisas foram efetivamente iniciadas em 1980, com a coordenação de projetos na área de energias renováveis, primeiramente realizando estudos em coletores solares planos em plástico resistente à radiação ultra-violeta e que resultou no registro de patente²² e, posteriormente, participando de projeto de estudos sobre coletores solares planos com convecção forçada e natural, à época com recursos FIPEC. Ainda em 1981 e também com recursos FIPEC foi desenvolvido o primeiro protótipo de queimador industrial de serragem para aplicação na indústria cerâmica, com resultados promissores e que foram publicados em revista de circulação nacional²³. Ainda, a partir de 1981, foi iniciado o programa de conservação de energia no Estado de Santa Catarina, como parte do programa CONSERVE executado em nível nacional com recursos da Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério de Minas e Energia²⁴, programa que se estendeu até o ano de 1986. Neste período número superior a 40 empresas de Santa Catarina foram diagnosticadas, em grande parte com desdobramento favorável ao credenciamento junto ao BNDES para habilitação de recursos financeiros disponibilizados pelo governo federal para ações efetivas de substituição dos combustíveis fósseis por energia renovável, modernização de equipamentos ou simplesmente para a aplicação de medidas de racionalização de energia. O programa **CONSERVE** abriu caminho para o estabelecimento de grupo especializado de Santa Catarina, designado como Grupo CONSERVE, que mais tarde viria a ser integrado ao Laboratório de Motores do Departamento de Engenharia Mecânica para criação do **LabCET**.

No período que antecedeu a criação do LabCET, seguindo mesma linha de trabalho do CONSERVE, foram desenvolvidas pesquisas na área de combustão em leito fluidizado (ELETROSUL), geração termelétrica e hidrelétrica (ANEEL), cogeração (SCGás) e geração fotovoltaica (ANEEL), este último como proposta de geração híbrida com motores diesel em regiões isoladas, tema que foi objeto de apresentação em congresso internacional na Holanda²⁵ e seminário sobre energias renováveis na Suécia²⁶. Outros projetos menores foram também realizados, todos com resultados conclusivos.

²² MI 4100162 INPI/STI/MIC.

²³ A serragem como alternativa energética. Revista Atualidades, CNP, ISSN 0100-1471, Nº 85, pp. 26 a 28, novembro/1983.

²⁴ DOU de 11/12/1981 e DOU de 17/12/84.

²⁵ E. Bazzo, R. Rütter, D. C. Martins, Hybrid photovoltaic/diesel systems for isolated communities in the Brazilian rain forest, ECOS 2000 - International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Aspects of Energy and Process Systems, pp. 745-753, Enshede, Holanda, 2000.

Ainda na década de 90 foram realizadas atividades de pesquisa em cooperação com o LabSolar, com a perspectiva de montar o Laboratório de Tubos de Calor na UFSC, no âmbito de projeto institucional FINEP, coordenado pelo professor Sergio Colle, em cooperação com o INPE e também com a Universidade de Stuttgart. Este projeto coincidiu com atividades de formação em nível de doutorado na UFSC, que culminou com afastamento para realização de estágio “sanduiche” no IKE da Universidade de Stuttgart, onde sob a co-orientação do professor Manfred Groll foram realizadas todas as atividades experimentais relativas à tese de doutorado²⁷. Mais tarde, a bancada experimental e todos os equipamentos utilizados nos testes das bombas capilares foram transferidos para a UFSC, fazendo parte hoje do Laboratório de Tubos de Calor no Departamento de Engenharia Mecânica.

LabCET

A partir do ano de 2000, especial atenção foi dada à estruturação e consolidação do Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos (**LabCET**) como laboratório de referência em projetos relacionados com combustão, termodinâmica aplicada, transferência de calor e sistemas térmicos, com ênfase nas atividades experimentais, envolvendo o uso racional de fontes renováveis (biomassa e energia solar) e não renováveis (carvão e gás natural). Implantado em parceria com os professores Amir Antonio Martins de Oliveira e Vicente de Paulo Nicolau, o LabCET hoje reúne atividades de pesquisa relacionadas a combustão, máquinas térmicas, células a combustível, geração termelétrica, cogeração, eficiência energética, engenharia biotérmica e sistemas de bombeamento capilar.

O LabCET conta com infraestrutura necessária, incluindo recursos humanos treinados, para dar sequência as suas atividades de pesquisa, com a perspectiva de efetivamente alcançar os resultados pretendidos, incluindo teses de doutorado, dissertações de mestrado, produtos tecnológicos, patentes e, naturalmente, a publicação dos resultados em revistas nacionais e internacionais. Ocupa hoje uma área física aproximada de 530 m², contando atualmente com a participação de 3 professores, 8 pesquisadores associados, 10 doutorandos, 9 mestrandos, 15 bolsistas IC, estagiários e um técnico de laboratório (www.labcet.ufsc.br).

O LabCET sempre se manteve aberto a projetos de cooperação, envolvendo laboratórios e pesquisadores de outros departamentos da UFSC e

²⁶ Hybrid photovoltaic/diesel systems for remote areas in the Brazilian rain forest: A renewable energy technology for rural electrification and remote areas in Brazil; Presented at the Workshop on Renewable Energy Technologies for Decentralised Rural Electricity Service Provision, SEI/KTH/Sida, Studsvik, 10-12 June 2004.

²⁷ E. Bazzo Tese aprovada em 8/4/1996 pelo POSMEC/UFSC na área de Ciências Térmicas, intitulada “Investigação teórica e experimental de circuitos de bombas capilares”.

instituições do Brasil e do exterior. São exemplos recentes de cooperação internacional o intercâmbio de alunos de pós-graduação com as universidades da Alemanha de Duisburg-Essen, TUHH de Hamburg-Harburg, IKE da Universidade de Stuttgart, BTU de Cottbus, como também de outros países da Europa, com o IST de Lisboa e KTH de Estocolmo. Desenvolveu ou desenvolve atividades em cooperação também com universidades dos Estados Unidos e América Latina. A expressiva presença de alunos colombianos no LabCET vem também fortalecendo o intercâmbio de professores e alunos com universidades da Colômbia, em particular com a Universidade de Pereira. Em nível local, o LabCET desenvolve atividades em cooperação com professores e pesquisadores dos departamentos de engenharia elétrica, engenharia química, engenharia ambiental, departamento de química, Campus de Araranguá, Campus de Joinville entre outros.

PESQUISA EM CONVERSÃO E USO RACIONAL DE ENERGIA

O LabCET tem priorizado ações vinculadas a projetos P&D em parceria com a Petrobras, Tractebel, Eletrosul e outras empresas do setor público e privado, no sentido de resolver problemas relacionados com a indisponibilidade de grandes centrais termelétricas ou de buscar alternativas energéticas que pudessem assegurar eficiência e plena oferta de energia elétrica ao mercado nacional. Da mesma forma, ações foram direcionadas ao estudo de geração distribuída, com ênfase em projetos de cogeração como alternativa racional ao uso do gás natural e sua inserção na matriz elétrica brasileira.

As atividades de pesquisa relacionadas à geração termelétrica foram efetivamente iniciadas em 2001, por solicitação da empresa Tractebel Energia, com a prioridade de resolver problemas O&M em plantas termelétricas existentes, bem como de buscar alternativas de baixo impacto ambiental, que contribuíssem para ampliar a oferta de energia elétrica a custos competitivos no mercado nacional. Entre 2003 e 2007, estudos foram também realizados em cooperação com o IST (Instituto Superior Técnico) da Universidade Técnica de Lisboa, através de convênio de cooperação internacional CAPES/GRICES²⁸. Estudos foram também realizados em parceria com o BTU (Brandenburgische Technische Universität) e IVD (Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen), ambas localizadas na Alemanha e com larga experiência na solução de problemas relacionadas com geração termelétrica. Carvão, gás natural, resíduos agroindustriais, biogás, óleos vegetais e outros combustíveis renováveis têm recebido especial atenção nos projetos desenvolvidos no LabCET, de acordo com as demandas e necessidades do mercado nacional.

²⁸ Projeto CAPES/GRICES 098/03 - Análise da transferência de calor em unidades geradoras de vapor com queima de carvão pulverizado.

Carvão

A queima de carvão pulverizado apresenta diversos problemas relacionados com a operação e manutenção de caldeiras, entre eles a incidência de gradientes térmicos nos feixes tubulares e deposição de cinzas, implicando na diminuição das taxas de transferência de calor, aumento na frequência do uso de sopradores de fuligem, corrosão de superfície e, conseqüentemente, no aumento da indisponibilidade de plantas termelétricas. Os trabalhos experimentais têm sido executados geralmente com recursos financeiros de projetos P&D e convênios de cooperação internacional. Três projetos P&D já concluídos tiveram foco voltado à investigação e solução de problemas de falhas causadas por gradientes térmicos e fluência em tubos de caldeiras, com o intuito de se prolongar a sua vida útil e de minimizar a frequência de paralisações, o primeiro deles contratado no ano de 2001²⁹. E neste assunto, também como resultado do convênio de cooperação internacional com o IST de Lisboa, uma primeira tese de doutorado foi concluída³⁰.

Como resultados imediatos aos primeiros trabalhos, informações importantes têm sido obtidas sobre parâmetros de funcionamento de unidades em operação na Usina Jorge Lacerda de Capivari de Baixo em Santa Catarina. Os resultados foram sintetizados em relatórios, publicados em revista indexada³¹ e apresentados em pelo menos seis congressos nacionais e internacionais. O convênio de cooperação CAPES/GRICES foi extremamente positivo, ao estimular o intercâmbio de pesquisadores e professores da área, com a conclusão de duas teses de doutorado e três dissertações de mestrado, além da inclusão de bolsistas de iniciação científica em trabalhos experimentais e de simulação CFD (CFX, Fluent e Furnace). A utilização de algoritmos numéricos na busca de resultados apresenta, além de vantagens econômicas em relação ao tempo de desenvolvimento de códigos específicos, maior versatilidade no tratamento e solução de problemas na área de mecânica dos fluidos e transferência de calor.

Recentemente, um quarto projeto P&D³², relacionado ao monitoramento de caldeiras, foi também concluído, envolvendo um aluno de mestrado, com

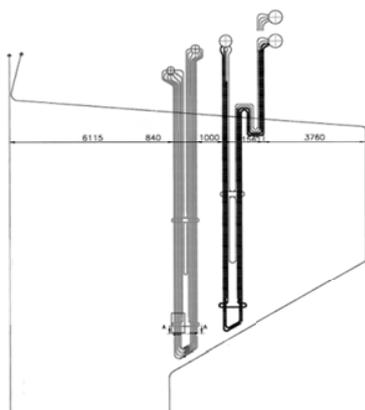
²⁹ Projeto P&D ANEEL/Tractebel: Pesquisa aplicada em superaquecedores para redução de gradientes térmicos resultantes da troca térmica irregular de calor com os gases de combustão, Contrato CMS.NAJL.01.11153.

³⁰ R. F. Reinaldo, Estudo numérico da transferência de calor e deposição de cinzas em caldeiras com queima de carvão pulverizado; Tese de Doutorado concluída em 11/12/2004, com a co-orientação do Prof. João Luiz Toste de Azevedo (IST/Lisboa).

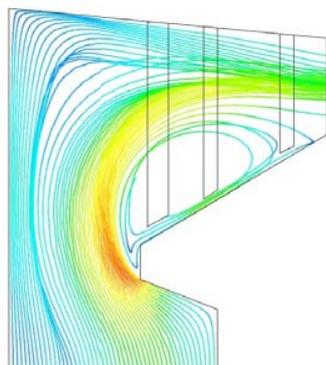
³¹ R. F. Reinaldo, E. Bazzo, J. L. T. de Azevedo, CFD Based analysis of heat transfer in a front wall pulverized coal fired boiler including superheaters, Clean Air: Int. Journal on Energy for a Clean Environment, ISSN 1561-4417, Issue No. 4, v 6, pp 409 to 421, Lisbon, 2005.

³² Projeto P&D ANEEL/Tractebel: Desenvolvimento de metodologia para monitoramento aplicado a feixes tubulares de unidades geradoras de vapor (P&D ANEEL 0403-009/2007 - Convênio Tractebel/FAPEU TMS.NAJL.08.47167).

dissertação concluída sobre desenvolvimento de sensores e técnicas de monitoramento de feixes tubulares em caldeiras a vapor submetidas a altas temperaturas dos gases de combustão, posteriormente contratado como pesquisador pela BTU-Cottbus. Tomaram parte dos trabalhos também vários alunos de iniciação científica e estagiários, com a preocupação de avaliar o problema de transferência de calor e deposição de cinzas nas paredes do superaquecedor e reaquecedores de vapor.



Esquema mostrando a região crítica de escoamento dos gases de combustão em unidade geradora de vapor em operação na usina termelétrica Jorge Lacerda: P&D ANEEL 0403-009/2007 Convênio Tractebel/FAPEU TMS.NAJL.08.47167.



Campo de velocidades dos gases de combustão na saída da fornalha e região dos superaquecedores de vapor (9 a 12 m/s): P&D ANEEL 0403-009/2007 Convênio Tractebel/FAPEU TMS.NAJL.08.47167.



Foto mostrando a instalação de sensor de alta temperatura desenvolvido pelo LabCET e LabTermo no superaquecedor da unidade geradora de vapor: P&D ANEEL 0403-009/2007 Convênio Tractebel/FAPEU TMS.NAJL.08.47167.

A queima de carvão pulverizado em caldeiras de fato apresenta diversos desafios, dentre eles a deposição de cinzas, que isola os tubos de troca de calor diminuindo a eficiência do equipamento, aumentando o consumo de carvão e conseqüentemente a emissão de CO₂. Problemas de deposição estão frequentemente associados a projetos inadequados da câmara de combustão,

mudança nas características do combustível ou mudança nas condições de operação da caldeira. O uso de índices ou de modelos para prever a formação de depósitos pode ajudar projetistas e operadores a determinarem as condições de operação das caldeiras, corrigindo problemas relacionados à deposição. Uma tese de doutorado³³ e também uma dissertação de mestrado foram concluídas com a proposta de caracterizar o processo de deposição de cinzas em superaquecedores, partindo de amostras recolhidas de unidades geradoras em operação na Usina Jorge Lacerda.



Foto mostrando a deposição de cinzas no superaquecedor de vapor, região crítica de escoamento dos gases de combustão: P&D ANEEL 0403-009/2007 Convênio Tractebel/FAPEU TMS.NAJL.08.47167

Os trabalhos de caracterização de amostras foram realizados com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) instalado no LabMAT/UFSC e fazendo uso de ferramenta computacional para análise de imagens (IMAGO), com a finalidade de determinar a distribuição de poros e porosidade das amostras. Rotinas para análise do processo de deposição, associando-se termoforese, difusão de vapor e impacto inercial, entre outros foram também desenvolvidas em cooperação com professores do departamento de Física da UFSC. Visando avaliar sua influência no rendimento da caldeira, foram estudados mecanismos relacionados ao crescimento e transferência de calor no depósito de cinza. A simulação da formação de depósitos foi realizada tomando-se por base o modelo balístico com difusão. A deposição balística leva à formação de estruturas dendríticas com superfícies fractais. Considerando a regra do vizinho mais próximo, na qual a partícula depositante pode aderir na superfície lateral da partícula anteriormente depositada, o modelo balístico permite que as colunas estejam correlacionadas, promovendo assim uma difusão na superfície. Foi parte do trabalho de tese a determinação do escoamento de partículas, transferência de calor e propriedades térmicas de depósitos elementares ao longo de um tubo. Utilizando técnica CFD e simulações de grandes escalas, os mecanismos macros, como o transporte de partículas, foram resolvidos via abordagem lagrangeana para um tubo representativo dos superaquecedores imersos em ambiente de alta temperatura. Além disso, um modelo foi desenvolvido baseado no conceito de crescimento de superfície e os resultados foram comparados com amostras retiradas da caldeira, via microscópio eletrônico de varredura. O modelo apresentou bons resultados quando comparados com as características macros tais como a porosidade, mas devendo ser melhorado

³³ L. J. Mendes Neto, Análise da deposição, crescimento e transferência de calor em depósitos de cinzas em tubos cilíndricos, Tese de Doutorado concluída em 05/03/2010.

quando analisada a distribuição de tamanho de poro. Finalmente, uma nova correlação foi proposta entre porosidade e condutividade térmica efetiva baseada na estrutura gerada pelo modelo de crescimento, apresentando bons resultados. Os resultados encontrados foram publicados na revista "Powder Technology"³⁴ e também apresentados em pelo menos oito congressos nacionais e internacionais.

A partir de 2003, atenção especial foi dada também ao estudo e desenvolvimento de novas tecnologias para uso racional do carvão, que foram realizados por solicitação da FAPESC, por empresas privadas e também pela SCGÁS, envolvendo a colaboração de professores de vários departamentos da UFSC e de universidades estaduais, todos sob a coordenação do LabCET.

Em 2003 foi entregue documento consolidado à FUNCITEC (hoje FAPESC), com uma visão abrangente sobre alternativas tecnológicas ao uso sustentável do carvão mineral de Santa Catarina, com foco na geração termelétrica, pirólise e gaseificação, indústria carboquímica e uso de resíduos na gestão ambiental dos processos³⁵. Além de professores da UFSC, contribuíram também professores da UNESC, UNISUL e consultores externos com larga experiência no assunto.

Em 2006 foi assinado contrato de cooperação com a empresa Gabriella Mineração, localizada em Criciúma-SC, que solicitou estudos sobre a viabilidade técnica e econômica de uma planta a carvão ROM com capacidade entre 10 e 30 MW. Este trabalho foi concluído com a entrega de relatório técnico contemplando dados levantados em campo, características do carvão e disponibilidade de rejeitos com potencial uso para queima em combustão fluidizada, resultados da simulação para diferentes cenários da planta e informações sobre infraestrutura de acesso e sítios sugeridos para localização da planta³⁶.

Em 2008 foi entregue à SCGÁS relatório final, onde foram apresentadas as tecnologias mais recentes relacionadas ao processo de gaseificação e processos de limpeza, com vistas à produção de gás de síntese e energia elétrica³⁷. Análise sucinta do estado da arte se sustenta em informações atualizadas a partir de relatórios de instituições internacionais, como por exemplo, o departamento de energia dos Estados Unidos (US/DOE - United

³⁴ L. J. Mendes Neto, E. Bazzo; Characterization and growth modeling of ash deposits in coal fired boilers; Powder Technology, Vol./issue: 217; February 2012, Pages 61-68; ISSN 0032-5910; DOI: 10.1016/j.powtec.2011.10.009

³⁵ Preliminary Analysis of Alternatives for Increasing the Value of Coal in Santa Catarina State, Brazil; FUNCITEC Fundação de Ciência e Tecnologia, 2003.

³⁶ Relatório técnico: Estudo de pré-viabilidade técnica e econômica de uma planta termelétrica a carvão mineral: Gabriella Mineração Ltda, Florianópolis, 2006 – Processo 23080.028028/2008-20, pgs.73.

³⁷ Análise preliminar de viabilidade da implantação de projetos de gaseificação de carvão em Santa Catarina; SCGÁS Companhia de gás de Santa Catarina, Contrato DL 028.08.

States – Department of Energy) e o Instituto de Pesquisa em Energia (EPRI - Electric Power Research Institute), além de ampla literatura científica e tecnológica disponível na área. Com base no conhecimento adquirido de plantas de demonstração ou de plantas comerciais em operação, os diferentes conceitos tecnológicos são abordados, discutindo limitações e apontando para alternativas adequadas às características do carvão catarinense. Questões ambientais são também abordadas, apontando para as possibilidades de captura e armazenamento de carbono e de outros gases poluentes, destacando-se a tecnologia IGCC (Integrated Gasification Combined-Cycle), mas também reportando o processo recente de captura no próprio reator, com absorção in situ do CO₂ pelo CaO e conseqüente produção de gás de síntese rico em hidrogênio. Colaboraram com esse trabalho os professores Humberto Jorge José e Regina de Fátima Peralta Muniz Moreira do departamento de Engenharia Química da UFSC, além de um consultor externo e um aluno de doutorado.

O carvão representa uma fonte de energia importante no cenário internacional e dificilmente deixará de ser utilizado na geração de eletricidade. Mas há uma tendência natural de retorno à biomassa, ainda que parcial, com a substituição progressiva do carvão utilizado nas termelétricas a carvão em operação nos Estados Unidos, Europa e Ásia. Até 2008 não havia ainda experiência semelhante nas usinas termelétricas em operação no Brasil. Com esse propósito, projeto P&D ANEEL foi contratado e recentemente concluído pelo LabCET como a primeira experiência brasileira e também internacional a utilizar palha de arroz como combustível em plantas termelétricas a carvão pulverizado. O projeto foi desenvolvido numa das unidades do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, localizado em Santa Catarina.

Biomassa

A biomassa volta a ocupar lugar de destaque na geração termelétrica, respondendo em 2013 por 8,5% da matriz elétrica brasileira, ou cerca de 10 GW de capacidade instalada no Brasil. A geração por biomassa no Brasil utiliza principalmente o bagaço de cana, o licor negro, a madeira, o biogás e a casca de arroz. A lenha e o bagaço de cana são amplamente utilizados na indústria. Contém frações reduzidas de enxofre e de cinzas. Além disso, representam fontes renováveis de energia, onde a emissão de CO₂ é compensada pelo ciclo natural do carbono através da sua reabsorção durante o processo de crescimento das plantas. Entretanto, se comparadas a plantas convencionais a carvão pulverizado ou gás natural, por exemplo, as plantas em operação no setor sucroalcooleiro são menos eficientes e tecnologicamente defasadas. Plantas modernas são projetadas hoje com pressões supercríticas e temperaturas de vapor superaquecido acima de 560°C, em ciclos térmicos com reaquecimento de vapor e sistemas regenerativos. A lenha tem a vantagem de, mediante programas bem estruturados de reflorestamento, ter suas reservas

em contínua reposição. O bagaço de cana tem seu uso reservado prioritariamente para geração de vapor de sistemas de cogeração de indústrias sucroalcooleiras, mas encontra também aplicação competitiva em plantas termoelétricas diretamente conectadas à rede do setor elétrico brasileiro. Atualmente, existem 369 usinas que queimam bagaço para a geração de eletricidade, com potência total de 8,89 GW. Isso representa 6,73% da potência total instalada na matriz elétrica brasileira (ANEEL, 2013). Resíduos da madeira, casca de arroz e lixívia possuem também ampla aplicação na geração de vapor em sistemas de cogeração, principalmente nas indústrias de alimentos e de papel e celulose.

A experiência adquirida com o levantamento de dados de campo e utilização de ferramentas computacionais em CFD capacitou a equipe atual a dar continuidade na análise de problemas associados a gradientes térmicos, deposição de cinzas e monitoramento de caldeiras, propondo soluções corretivas, que envolvam não apenas a queima de carvão pulverizado em suspensão, como também a queima da biomassa e outros combustíveis alternativos em leito fluidizado e em grelha. Projeto P&D foi recentemente concluído com recursos da Tractebel³⁸, consistindo na substituição parcial do carvão pulverizado em uma planta existente de 40 MW por biomassa, na proporção de até 30% em base energética (processo *cofiring*). O projeto foi encomenda especial do grupo internacional SUEZ, através da empresa Tractebel, com o objetivo de viabilizar a queima de palha de arroz combinada com carvão pulverizado e contribuir com a mitigação dos danos ambientais inerentes a plantações de arroz em Santa Catarina, bem como reduzir emissões de CH₄ e CO₂.



Planta termelétrica 50 MW (90 bar; 515°C) a carvão pulverizado, utilizada nos testes com palha de arroz em processo *cofiring*: P&D ANEEL 0403-0005/2008 Convênio Tractebel/FEESC UTLA.NAJL.09.51969

Uma dissertação de mestrado³⁹ e uma tese de doutorado⁴⁰ foram concluídas nesse assunto. A dissertação de mestrado foi concluída em 2011

³⁸ Utilização da palha de arroz em processo co-firing com carvão pulverizado (P&D ANEEL 0403-0005/2008 - Tractebel UTLA.NAJL.09.51969).

³⁹ R. G. Miyake, Análise termodinâmica e de transferência de calor em um gerador de vapor a carvão pulverizado e palha de arroz; Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC em 29/08/2011.

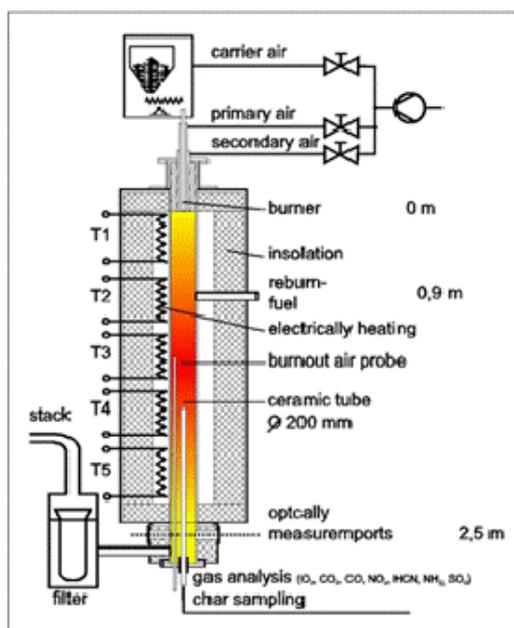
⁴⁰ A. H. Restrepo V., Metodologia de análise e avaliação exergoambiental de plantas termoelétricas operando em combustão combinada carvão-biomassa; Tese de doutorado aprovada pelo POSMEC em

com a apresentação de modelagem termodinâmica, simulando o comportamento térmico da caldeira com combustão da palha de arroz em conjunto com carvão mineral. A transferência de calor no interior da fornalha também foi avaliada, através de diferentes modelos semi-empíricos propostos na literatura. Diferentes correlações para transferência de calor por convecção externa em feixes tubulares foram consideradas para análise, assim como correlações específicas para convecção interna de vapor superaquecido. Resultados obtidos apontam para uma redução significativa das emissões provenientes de combustíveis fósseis, uma redução pouco significativa na eficiência da caldeira e pequeno aumento nas temperaturas dos gases de combustão e de parede nos superaquecedores.

A tese de doutorado foi concluída em 2012 com a proposta de modelo de análise exergoambiental, considerando fronteiras estendidas, que compreendem a usina e a rota tecnológica para a obtenção e manuseio do combustível. A propriedade exergia foi considerada para a avaliação termodinâmica e o método de avaliação do ciclo de vida (ACV) foi proposto para quantificar o impacto ambiental associado, considerando a categoria de impacto referente a mudanças climáticas usando o índice GWP 100a (*Global Warming Potential*). Dois cenários foram avaliados: um primeiro que consiste na planta em operação convencional, com 100% de carvão, e um segundo, que corresponde à mesma planta modificada para operar em combustão combinada, com 90% de carvão e 10% de biomassa. A rota tecnológica analisada para o caso do carvão corresponde à rota estabelecida entre a região mineira do sul do estado de Santa Catarina, onde predomina a mineração tradicional subterrânea, mediante a técnica de câmaras e pilares, e o complexo termoelétrico Jorge Lacerda, localizado no município de Capivari de Baixo. A informação utilizada para a análise da rota da biomassa foi obtida a partir da documentação de trabalhos realizados, visando o aproveitamento da biomassa residual proveniente dos cultivos do arroz nas vizinhanças do complexo termoelétrico. A análise mostrou que a planta termoelétrica responde pela maior parte da exergia destruída e pelo maior impacto gerado associado à categoria de impacto de mudança climática. Foram também avaliadas variáveis exergoambientais para o ciclo termodinâmico representativo da planta. Os resultados mostraram que o gerador de vapor constitui o equipamento com maior potencial para mitigação dos impactos ambientais. Finalmente, foi proposto um indicador exergoambiental global, utilizado para comparar o impacto exergoambiental do processo de geração termoelétrica nos dois cenários, em relação ao cenário padrão correspondente à máquina térmica de Carnot. O indicador exergoambiental mostrou a possibilidade de melhoria em até 11% no segundo cenário, sem levar em consideração a decomposição microbiana da biomassa na lavoura, ou de até 35%, se for considerada a não

decomposição da mesma, conforme estabelecido neste trabalho, relativamente ao primeiro cenário. Os resultados foram sintetizados em relatórios técnicos, publicados em revistas indexadas⁴¹ e apresentados em pelo menos dez congressos nacionais e internacionais. Em 2014, a Tractebel Energia recebeu o **Prêmio Expressão de Ecologia**⁴², concedido pelo Ministério de Meio Ambiente, que conta com o apoio do ICMBio e dos três órgãos ambientais públicos da região Sul.

No decorrer do projeto, seis alunos IC estiveram diretamente envolvidos nos trabalhos, prestando suporte técnico aos alunos de mestrado e de doutorado e também nas atividades de campo relacionadas à logística de transporte e processamento da palha de arroz, bem como no levantamento de dados de operação da caldeira operando em modo *cofiring*. Um aluno de doutorado realizou estágio no IFK - Institut für Feuerungs und Kraftwerkstechnik, com a supervisão do Prof. Uwe Schnell da Universidade de Stuttgart, acompanhando os trabalhos de caracterização de amostras do carvão catarinense e palha picada. A cinética da combustão foi analisada em reator de combustão atmosférica (DTF), considerando-se diferentes misturas carvão-palha, na proporção variável entre 0 e 30% de palha em base energética.



Reator DTF utilizado para análise da cinética de combustão da mistura carvão-palha com Recursos financeiros: P&D ANEEL 0403-0005/2008 Convênio Tractebel/FEESC UTLA.NAJL.09.51969

IFK - Institut für Feuerungs und Kraftwerkstechnik

<http://www.ifk.uni-stuttgart.de/>

⁴¹ A. Restrepo, R. G. Miyake, F. Kleveston, E. Bazzo; Exergetic and environmental analysis of a pulverized coal power plant; Energy Journal - Special Issue: ECOS 2011; p. 195-205; DOI: 10.1016/j.energy.2012.01.080.

⁴² **Prêmio Expressão de Ecologia**, concedido à Tractebel Energia pelo Ministério de Meio Ambiente. Ofício nº 025/2014-REBIO ARVOREDO/ICMBio, em 26/03/2014.

Biogás

Os biocombustíveis se apresentam como alternativa promissora para a geração distribuída, especialmente em motogeradores a biogás, contribuindo igualmente para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Dois projetos de pesquisa, um com o CNPq⁴³ e outro com a FAPESC⁴⁴, foram concluídos em geração termelétrica de pequeno porte, envolvendo motogeradores a gás natural convertidos para biogás. O estado de Santa Catarina apresenta uma grande atividade agropecuária espalhada por seu território, destacando-se a suinocultura, que apresenta uma alta quantidade de rejeitos orgânicos. Estes rejeitos representam um problema ambiental significativo e alto potencial em biogás, seja para a geração de eletricidade como também para a conversão em biometano. Resultados finais com biogás obtidos nos testes de campo confirmaram a viabilidade de motores estacionários de ciclo Otto, para produção de energia elétrica. Os resultados forneceram dados importantes para a avaliação econômica da utilização de biogás na geração distribuída, demonstrando viabilidade de implantação da planta, fortemente influenciada pelo custo relativamente baixo do biogás. Na ausência do grupo-gerador, o biogás é queimado sem qualquer tipo de aproveitamento. A potência máxima atingida pelo grupo-gerador foi de 71 kWe, superando em 25% a potência esperada com a utilização de biogás. Os testes continuaram pelo período de seis meses, em cooperação com a indústria agropecuária de Santa Catarina, envolvendo a participação de técnicos e alunos vinculados ao LabCET.



Foto mostrando gerador de 74 kVA acoplado a motor estacionário ciclo Otto, em operação na Copercampos – Campos Novos - SC: Testes com biogás utilizando recursos CT-Energ/MCT/CNPq (Processo 401.282/2004-0)

Trabalhos prosseguem no sentido de resolver pendências técnicas relacionadas à adaptação do biogás, etanol e biodiesel em motores de combustão interna e microturbinas a gás. Na geração de energia elétrica em regiões isoladas é comum a utilização de grupos geradores a diesel. Neste cenário, apesar de autossuficiente em volume de petróleo, o Brasil ainda precisa importar óleo diesel. Vários estudos têm sido publicados, apontando

⁴³ Desenvolvimento e testes de grupo moto-gerador a gás natural e biogás; (Edital CT-Energ/MCT/CNPq 029/2004 - Processo 40.1282/2004-0).

⁴⁴ Estudo técnico e econômico de tecnologia para aplicação viável de biogás em grupo moto-gerador e chiller de absorção para geração de energia elétrica, água quente e frio; (Edital FAPESC 02/2005 - Contrato Nº CON10629/2007-1) – Processo 23080.028028/2008-20, pgs. 46.

para o biodiesel, óleo vegetal ou bioóleo como alternativas energéticas para operação de grupos geradores, tanto na geração distribuída como na geração de eletricidade em regiões isoladas. A produção de biodiesel, entretanto requer a construção e operação de plantas químicas de conversão, o que demanda tempo e pesados investimentos. A utilização direta de óleos vegetais traz benefícios adicionais, particularmente do ponto vista ambiental. Além disso, óleos vegetais não contêm enxofre, o que diminui significativamente a carga de emissão de poluentes.

Em 2013 foram iniciadas atividades junto à Rede FINEP de Biogás⁴⁵, com a proposta de desenvolver soluções tecnológicas a partir do biogás produzido em sistemas de esgotos e aterros sanitários, atendendo aos requisitos exigidos pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica. As atividades são executadas de forma integrada com a participação de oito Instituições de pesquisas (UFPE, UFRJ, UFMS, ITAI, UNIOESTE, UFCG, UFC e UFES) e apoio de empresas usuárias, com a coordenação geral da rede pelo professor Fernando Jucá (UFPE). Na UFSC tem a participação de professores e alunos do departamento de engenharia sanitária e ambiental e Departamento de Engenharia Mecânica, com a coordenação local do Prof Paulo Belli Filho (Coordenador Institucional da UFSC). Em Santa Catarina os trabalhos de campo são desenvolvidos nos aterros sanitários de Itajaí e de Brusque. Pelo lado da engenharia mecânica, uma dissertação de mestrado foi recentemente concluída e aprovada pelo POSMEC, considerando dados de campo coletados no aterro sanitário de Canhanduba em Itajaí-SC. O aterro sanitário recebe resíduos sólidos urbanos (RSU) das cidades de Itajaí e Balneário Camboriú, que representam uma população total de aproximadamente 300.000 habitantes. O aterro sanitário tem sete anos de serviço e atualmente o biogás é coletado e usado para gerar energia elétrica. Durante esse período foram acumulados aproximadamente 650.000 t de RSU, correspondendo a uma capacidade de produção 435 Nm³/h.



Foto mostrando motogerador Dresser-Randde 1,06 MWe, em operação no aterro sanitário de Itajaí-SC: Colaboração da empresa Itajaí Biogás e Energia S.A.

⁴⁵ Rede Biogás/FINEP: Saneamento Ambiental e Habitação; Desenvolvimento de soluções tecnológicas a partir do biogás produzido em sistemas de tratamento de esgotos e aterros sanitários para a geração de energia elétrica (Projeto aprovado no edital FINEP 06/2010).

Óleos Vegetais

No LabCET, os trabalhos de geração distribuída com óleos vegetais foram iniciados em 2009, através de projeto P&D ANEEL⁴⁶, considerando a utilização de óleos de soja, girassol e tungue. Os três óleos vegetais foram testados 100% puros e na proporção de 50/50 v/v com óleo diesel. O óleo diesel também foi testado como combustível de referência. Os testes foram realizados na bancada dinamométrica existente no LabCET, com a cooperação técnica do Laboratório de Hardware (LHW/UFSC), medindo-se os parâmetros de desempenho do motor como torque, rotação, potência e consumo específico de combustível e as emissões de CO, CO₂ e NO_x dos gases de exaustão. Todos os testes foram realizados em sala climatizada. A bancada experimental foi constituída por um motor diesel estacionário acoplado a um dinamômetro eletromagnético marca Schenk, modelo W70.

Os resultados obtidos foram publicados em revista indexada⁴⁷ e em pelo menos 4 artigos técnicos apresentados em congressos nacionais e internacionais. Uma dissertação de mestrado foi concluída em 2012, focando especialmente os resultados obtidos com óleo de soja e mistura de 50/50 v/v com óleo diesel⁴⁸. Os trabalhos experimentais consistiram na caracterização das propriedades físico-químicas dos combustíveis, ensaios na bancada dinamométrica e avaliação do óleo lubrificante nos testes do motor acoplado a um gerador de energia elétrica de 30 kVA. O desempenho do motor com cada combustível foi comparado na condição de 1800 rpm e os resultados analisados de acordo com procedimentos estatísticos recomendados na literatura técnica. Os resultados comprovam a viabilidade técnica do óleo de soja no funcionamento de grupos geradores. Um “kit” de conversão para utilização de óleos vegetais em motores a diesel foi reivindicado pela Eletrosul junto ao INPI como modelo de utilidade.

Prosseguem atividades com a proposta de desenvolver duas teses de doutorado, em continuidade aos estudos de aplicabilidade dos óleos vegetais, como alternativa energética para uso em motores diesel, agora com a perspectiva de também medir a variação da pressão na câmara de combustão, de modo a conhecer a taxa de liberação de calor e a taxa de queima do combustível. Estudos em andamento contemplam análise exergética do sistema e o desenvolvimento de modelagem do processo de combustão baseado na taxa de liberação de calor no interior da câmara de combustão.

⁴⁶ Estudo da utilização de bioóleos em motores diesel para geração termelétrica distribuída (P&D ANEEL Ciclo 2006/2007 Contrato Eletrosul/FAPEU nº 80.580.017).

⁴⁷ R. M. Hartmann, N. A. Nieto G., E. M. Hartmann, A. A. M. Oliveira, E. Bazzo; Vegetable oils of soybean, sunflower and tung as alternative fuels for compression ignition engines; IJOT - International Journal of Thermodynamics, Vol. 16 (No. 2), p. 87-96, June 2013, ISSN 2146-1511, doi: 10.5541/ijot.455.

⁴⁸ N. A. Nieto G. Avaliação experimental e exergética da operação de um motor diesel com óleo vegetal; Dissertação de mestrado aprovada pelo POSMEC em 24/05/2012.



Testes em bancada dinamométrica no LabCET com óleos de girassol, soja e tungue em motores diesel: P&D ANEEL Ciclo 2006/2007 Contrato Eletrosul/FAPEU N° 80.580.017

Geração Termossolar

O aproveitamento da energia solar através de concentradores cilíndricos ou parabólicos eficientes representa hoje uma tecnologia consolidada no mercado internacional, com destaque para a Espanha, Austrália e Estados Unidos. No Brasil, a irradiação direta normal (DNI – Direct Normal Irradiation) varia entre 5 e 6 kWh/m²-dia em grande parte das regiões centro-oeste e sudeste, chegando ao patamar de 6,3 kWh/m²-dia na região nordeste ao longo da bacia do Rio São Francisco. A geração termossolar por si só, no entanto, apresenta restrições relacionadas à disponibilidade permanente da radiação solar, da mesma forma que a geração eólica, exigindo uma matriz energética robusta que possa garantir estabilidade ao sistema. Neste cenário a geração híbrida envolvendo a aplicação da energia solar em plantas termoelétricas surge como alternativa viável. A energia termosolar é utilizada nesse caso como sistema complementar à queima de biomassa ou gás natural, não havendo necessidade de armazenamento de energia para operação em períodos de baixa ou nenhuma incidência solar e, da mesma forma, reduzindo o impacto ambiental associado às emissões de gases de efeito estufa. Ainda, os períodos de alta incidência solar são complementares aos períodos chuvosos, essenciais para a operação das hidrelétricas.

A partir de 2012 o LabCET inicia atividades relacionadas ao aproveitamento de energia solar como oportunidade para geração de energia elétrica complementar em plantas termoelétricas, gerando vapor superaquecido ou simplesmente pré-aquecendo água de alimentação de caldeiras existentes em operação com bagaço de cana.

Um aluno de doutorado estuda o assunto considerando a disponibilidade comercial de concentradores solares cilíndricos eficientes e com tecnologia consolidada no mercado internacional, reunindo e analisando artigos relevantes até então publicados, com a expectativa de estender sua aplicação a um número expressivo de plantas a biomassa em operação no Brasil, todas com

problemas de sazonalidade, no caso representando o equivalente a 5,4% da potência elétrica instalada (6.650 MW), apenas com bagaço de cana, em região com alto índice de incidência solar, superior a 5 kWh/m²-dia. O desenvolvimento de tecnologia brasileira envolvendo a aplicação da energia solar como energia complementar numa planta termoelétrica em operação a biomassa é proposta como tese de doutorado, com a perspectiva imediata de aplicar seus resultados através de projeto P&D a uma planta termelétrica existente com capacidade de 33 MW, consistindo na queima de bagaço de cana em caldeira aquotubular de grelha do tipo pinhole (135 ton/h; 65 bar, 490°C). Numa primeira etapa serão considerados os concentradores solares cilíndricos visando apenas aquecimento da água de alimentação da caldeira, mas também com possibilidade de estender proposta para reaquecimento e geração de vapor complementar. O simples aquecimento da água de alimentação já representa ganhos expressivos, não envolvendo alterações estruturais da planta, com possibilidade de utilizar óleo térmico, garantindo maior flexibilidade de controle, variando-se a vazão de acordo com a variação da radiação solar.

Quatro trabalhos de conclusão de curso (TCC) foram terminados como parte do curso de graduação em engenharia mecânica, incluindo alunos estrangeiros que vieram da França e Espanha realizar parte de seus estudos na UFSC.

Na esteira deste trabalho foi aprovado recentemente projeto de cooperação internacional CAPES/DAAD com a Universidade de Duisburg-Essen da Alemanha⁴⁹, que contempla o desenvolvimento e validação de modelos de simulação para ciclos típicos de cogeração aplicados a plantas de cogeração a biomassa do setor sucroalcooleiro, considerando campos de concentradores solares baseados nas tecnologias de calhas parabólicas, Fresnel e torre central. Participam dos trabalhos também professores do IFSC e da UNIFESP.



Concentrador solar parabólico como alternativa para geração híbrida em plantas de cogeração a biomassa, em operação no setor sucroalcooleiro.

Programa iNoPa CAPES/DAAD/GIZ -
Processo N° 23038.010224/2013-21

Em 2014, no âmbito deste projeto um aluno vinculado ao POSMEC realizou estágio sanduiche na UDE e um aluno de mestrado da UDE

⁴⁹ Avaliação termodinâmica e econômica de planta de cogeração a bagaço de cana assistida por energia termossolar; (Programa Novas Parcerias Integradas (i-NoPa) CAPES/DAAD/GIZ com a UDE - Universitat Duisburg-Essen); Área Estratégica: CSP; AUXPE-NOPA-376/2014/Processo nº 23038.010224/2013-21.

desenvolveu suas atividades experimentais na UFSC. Resultados parciais foram já publicados em pelo menos três congressos internacionais e também submetidos para publicação em revista indexada.

Gás Natural

O gás natural no Brasil ganhou impulso com a inauguração do gasoduto Bolívia-Brasil em 1999, atendendo os estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, abrindo amplo debate sobre as vantagens de seu uso em plantas de cogeração. Primeiros estudos sobre viabilidade técnica e econômica do gás natural como alternativa para aplicação em plantas de cogeração foram financiados pela Petrobras em parceria com a empresa distribuidora TBG e concessionárias locais, à época denominada de RedeGásEnergia. Em Santa Catarina os trabalhos foram efetivamente iniciados em 2000, através de contrato multicliente firmado com a Petrobras, TBG e SCGás⁵⁰ e que resultou no primeiro seminário brasileiro sobre perspectivas da cogeração com gás natural⁵¹, que foi realizado em Florianópolis entre 4 e 5 de junho de 2001. Na sequência vários projetos nesta mesma linha de trabalho foram realizados, com destaque para o programa de racionalização e uso de energia financiado pela FINEP⁵² e pesquisa novamente encomendada pela RedeGásEnergia com a proposta de realizar estudos sobre novas tecnologias aplicadas a sistemas compactos de cogeração, incluindo motogeradores, microturbinas, células a combustível e máquinas de refrigeração por absorção. O potencial da cogeração aumenta na medida em que os custos diminuem e a oferta de gás natural cresce, tendo em vista inclusive a oportunidade proporcionada pela exploração da camada pré-sal.



Microplanta de cogeração a gás natural, instalada no HU/UFSC, fornecendo eletricidade e água quente: Projeto FINEP/PRUEN/UFSC; Convênio FINEP/CT-Infra nº 01.02.0023.00.

Motogerador 100 kVA

⁵⁰ Análise de sistemas de cogeração e oportunidades para aplicação de novas tecnologias em Santa Catarina; Projeto Multicliente/RedeGásEnergia (Petrobras/TBG/SCGas).

⁵¹ Seminário sobre Perspectiva da Cogeração com gás Natural no Setor Elétrico Brasileiro, Florianópolis, 4-5 de junho de 2001.

⁵² Programa de Racionalização do Uso da Energia: Sub-projeto "Sistema Compacto de Cogeração para o Hospital Universitário"; Projeto FINEP/PRUEN/UFSC; Convênio FINEP/CT-Infra nº 01.02.0023.00.

Tecnologias de cogeração se apresentam como uma alternativa efetiva, tanto sob o ponto de vista da conservação de energia como sob o conceito de geração distribuída, já que podem alcançar eficiências de até 90%, produzindo simultaneamente energia eletromecânica e energia térmica útil a partir de uma mesma fonte de energia. Plantas operando em regime de cogeração estão localizadas próximas ao local de consumo, geralmente projetadas para atender apenas a demanda local.

A geração de potência elétrica através de pequenas unidades, estrategicamente localizadas perto dos consumidores e centros de carga traz benefícios para o consumidor e suporte para a operação econômica da rede de distribuição de eletricidade existente. Na expectativa de aumentar eficiência térmica e de reduzir custos, novas tecnologias são propostas para o setor elétrico, despontando o gás natural como uma alternativa importante para a geração termelétrica, principalmente devido à praticidade de uso, garantia de suprimento, baixos custos de manutenção e menor impacto ambiental se comparado a outros combustíveis convencionais.

Atuando nessa linha de trabalho, o LabCET concluiu projetos de pesquisa com recursos FINEP/CT-Petro e do programa RedeGasEnergia⁵³, com a finalidade de verificar a viabilidade técnica e econômica de sistemas compactos de cogeração, com potências inferiores a 100 kW. Primeiros resultados foram obtidos pela aplicação de um motor a gasolina Palio, modelo 1.0 e 8 válvulas, com potência máxima de 44 kW, convertido para operar com gás natural, e que sofreu adaptações para poder ser usado para aplicação estacionária. O motor foi conectado a um gerador elétrico de fabricação WEG, com potência nominal de 21 kVA. A bancada dispõe de um trocador de calor para aproveitar o calor dos gases de exaustão para produção de água quente. Importante para a realização dos testes foi o projeto e montagem dos equipamentos eletroeletrônicos, permitindo a total automação do sistema. Foram especialmente projetados e montados um sistema de aquisição de dados, as proteções mecânicas e elétricas e um sistema especial para dissipação elétrica, com banco de resistências e banco de capacitores e motores. Uma microplanta envolvendo uma microturbina Capstone, de 28 kWe, foi também montada e instrumentada no LabCET, visando a geração de energia elétrica e água quente. A microturbina opera em paralelo com a rede interna de energia elétrica do LabCET. Uma terceira bancada de testes foi também montada, envolvendo um motogerador a gás natural 30 kWe operando também no modo cogeração para produção de energia elétrica e água quente.

Máquinas de refrigeração por absorção de pequeno porte, na ordem de 5 TR, se apresentam como uma alternativa racional para uso em sistemas

⁵³ Estudo teórico e experimental de sistemas compactos de cogeração - Projeto CTPetro/FINEP e RedeGásEnergia - Convênio FINEP/CT-Petro N° 21.01.03.74.00.

compactos de cogeração, mas não eram disponíveis a custos competitivos no mercado nacional. Os equipamentos atualmente fabricados no Brasil são “customizados” e caros. Ou seja, para cada cliente é feito um projeto de acordo com suas necessidades. Os equipamentos customizados são projetados empiricamente. O fabricante sabe disso e tem interesse na busca de soluções, de novas tecnologias ou conhecimentos que viabilizem produtos baratos, mais eficientes e de qualidade. Nessa linha de ação, há expectativa de encontrar alternativas que tornem o sistema compacto e barato. Na busca da melhor alternativa, diferentes aspectos foram abordados, alguns considerados críticos pelo fabricante, a saber: (i) A identificação de mecanismos de transferência de calor de alta condutância térmica, como superfícies aletadas, termossifão, tubos de calor e sistemas de bombeamento capilar, para o aproveitamento do calor residual de gases de exaustão de microturbinas, caldeiras e fornos industriais, (ii) Bombas de deslocamento positivo, para bombeamento de solução água-amônia, específicas para condições de alta pressão e pequenos volumes de deslocamento; (iii) Arranjo físico dos diversos componentes da máquina de refrigeração, visando sua compactação e viabilização econômica para uso no mercado em sistemas de cogeração. Em projeto de pesquisa mais recente, nos termos do Edital MCT-RBT/FINEP/CT-Petro 01/2003, tendo como intervenientes as empresas Petrobras, TBG e SCGás, foram também concluídas atividades relacionadas à adaptação de máquinas de refrigeração por absorção água-amônia, substituindo a queima direta de gás natural pelo calor residual dos gases de exaustão da microturbina⁵⁴.

Como resultado concreto deste trabalho, uma microplanta completa de cogeração encontra-se em operação no LabCET. A planta de cogeração foi reestruturada associando-se a microturbina a uma caldeira de recuperação e duas máquinas de absorção, sendo uma de climatização (4°C) e a outra frigorífica (-10°C), para produção de energia elétrica, vapor ou água quente e água gelada. A microturbina opera em paralelo com a rede interna de energia elétrica, utilizando gás natural comprimido (GNC) como combustível. O GNC é armazenado em um feixe de seis cilindros com capacidade total de 150 Nm³ de gás, pressão máxima de 240 bar, garantindo autonomia de funcionamento para 12 horas de operação em carga máxima. O calor residual dos gases de exaustão da microturbina é recuperado em uma caldeira de recuperação para produção de vapor ou água quente e, então, transferido total ou parcialmente à máquina frigorífica e máquina de refrigeração, que, por sua vez, produzem gelo para fins de conservação de alimentos ou climatização. Resultados parciais apontam para produção de até 25 kW de energia elétrica, 33 kW de água quente ou vapor saturado e até 8 kW de água gelada na faixa de 4 a -10°C, de

⁵⁴ Estudo teórico e experimental de sistemas compactos de cogeração: máquina frigorífica água-amônia associada à microturbinas; Projeto CTPetro/FINEP/RGE, Convênio FINEP/CT-PETRO N° 01.04.1058.00 (Edital MCT-RBT/FINEP/CT-Petro 01/2003) – Portaria nº 005/PROAF/DCP/2005 – Processo UFSC 23080.052241/2006-91, fls. 36.

acordo com a finalidade desejada. Relatório técnico foi encaminhado à FINEP e empresas intervenientes, contendo resultados relativos à produção simultânea de energia elétrica e água gelada (até -10°C), utilizando equipamentos tecnicamente viáveis e competitivos no mercado internacional.

Nesse assunto, além de relatório completo e detalhado reunindo informações e resultados obtidos com a execução do projeto⁵⁵, cinco dissertações de mestrado foram concluídas, com diversos trabalhos publicados em congressos realizados no Brasil e no exterior e pelo menos três artigos técnicos foram publicados em revistas indexadas⁵⁶. Resultados foram também apresentados na ECOS 2009 em Foz do Iguaçu, pela primeira vez realizada na América do Sul, onde o LabCET tomou parte da organização.



Chillers de absorção água-amônia

Microplanta de cogeração a gás natural, construída no LabCET, fornecendo eletricidade e água gelada: Convênio FINEP/CT-Petro N° 01.04.1058.00 FINEP/Petrobras/SCGás/TBG.



Microturbina 28 kWel

Em 2006, atendendo Edital FINEP/CT-Petro Temas Estratégicos 01/2006, novo projeto de pesquisa foi submetido e aprovado com a proposta de desenvolver ferramenta computacional para projetos de cogeração⁵⁷, projeto este que foi realizado também no LabCET, com a coordenação do professor Jonny Carlos da Silva do Departamento de Engenharia Mecânica.

⁵⁵ Relatório técnico contendo especificação técnica de equipamentos, central de armazenamento de gás natural, subsistemas de conversão de energia, recuperação de calor, produção de água gelada, instrumentação, resultados e registro fotográfico; Projeto CTPetro/FINEP/RGE.

⁵⁶ J. A. Matelli, E. Bazzo; On the parameters of performance of combined refrigeration and power plants, *International Journal of refrigeration* (2013), ISSN 0140-7007, v. 36, Iss 8 p. 2169-2175, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2013.06.011.

E. Bazzo, A. N. Carvalho, J. A. Matelli; Experimental results and thermodynamic analysis of a natural gas small scale cogeneration plant for power and refrigeration purposes; *Applied Thermal Engineering Journal*, Vol. 58, p. 264-272, May 2013, ISSN 1359-4311, DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.04.041>.

J. A. Rossa, E. Bazzo; Thermodynamic modeling of an ammonia-water absorption system associated with a microturbine, *IJoT - International Journal of Thermodynamics*, International Centre for Applied Thermodynamics, Vol. 12 (No. 1), p. 38-43, March 2009, ISSN 1301-9724.

⁵⁷ Sistema especialista para projeto de plantas cogeração (Projeto FINEP/Petrobras - Edital FINEP/CT-Petro Temas Estratégicos 01/2006 – Convênio FINEP/CT-PETRO N° 01.06.1018.00 DOU 19/05/2006).

Existe demanda por análises de viabilidade técnica e econômica de plantas de cogeração, bem como existe potencial para uso de ferramentas inteligentes, de suporte à tomada de decisões que proporcionem maior robustez e confiabilidade aos projetos. O projeto de uma planta de cogeração é um problema de síntese, sujeito a restrições termodinâmicas e que inclui a alocação e o dimensionamento de diversos componentes, de modo a satisfazer cargas elétricas e térmicas do sistema. Um dos aspectos importantes para consideração em projetos de cogeração é um dos que mais contribuem para sua complexidade é variação das cargas com o tempo, expressa através de curvas de carga conhecidas como perfis de demanda. O número de combinações possíveis de componentes, que satisfazem os perfis de demanda, pode crescer exponencialmente, na medida em que o problema se torne mais complexo. Apesar dessa complexidade, o problema de se projetar uma planta de cogeração, sujeita a diversas restrições termodinâmicas e de cargas energéticas, é resolvido de forma robusta por técnicos experientes. Esse conhecimento sugere o uso de inteligência artificial (IA), reunindo técnicas computacionais que codificam e emulam os padrões de raciocínio da mente humana para fazer um computador projetar uma planta de cogeração. Uma importante técnica de IA é o sistema especialista (SE), constituindo-se em boa alternativa para abordagem do problema, porque ela aponta para as possíveis combinações de componentes. O protótipo é implementado em um “shell” e o conhecimento é representado na forma de regras e de orientação a objetos. Considerando-se como requerimentos as demandas de energia elétrica e térmicas, o protótipo propõe rapidamente soluções alternativas, exibindo em um ambiente gráfico os fluxogramas das plantas. Com essa metodologia, uma tese de doutorado foi também concluída⁵⁸, com a publicação de dois artigos em congressos internacionais e quatro artigos em revista indexada internacional⁵⁹, reportando uma ferramenta computacional baseada em IA, denominado ProSisC, para auxílio no projeto de sistemas de cogeração.

⁵⁸ J. A. Matelli, Sistemas baseados em conhecimento para projeto de plantas de cogeração a gás natural; Tese de doutorado concluída em 01/12/2008, com a co-orientação do Prof Jonny Carlos da Silva.

⁵⁹ J. A. Matelli, E. Bazzo, J. C. Silva; Development of a knowledge-based system for cogeneration plant design: verification, validation and lessons learned, Knowledge-Based Systems Journal. Vol. 67, p. 230-243, May 2014, ISSN 0950-7051, DOI: 10.1016/j.knosys.2014.05.002.

J. A. Matelli, J. C. Silva, E. Bazzo; Cogeneration design problem: computational complexity analysis and solution through an expert system; Engineering Computations Journal, Vol. 31, Iss 6, pp. 1034-1051; ISSN 0264-4401; DOI: 10.1108/EC-03-2012-0045.

J. A. Matelli, E. Bazzo, J. C. Silva; Development of a case-based reasoning prototype for cogeneration plant design; APEN2549 Applied Energy, Vol/issue: 88/9; p. 3030-3041; DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.03.006.

J. A. Matelli, E. Bazzo, J. C. Silva; An expert system prototype for designing natural gas cogeneration plants; Elsevier ESWA 3287, Expert Systems with Applications Journal, Vol. 36, Nº 4, May 2009, pp 8375–8384, ISSN 0957-4174; DOI:10.1016/j.eswa.2008.10.083.

PESQUISA EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO CAPILAR

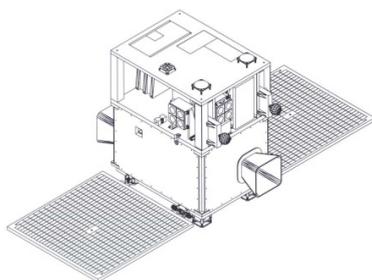
Sistemas de bombeamento capilar são estudados com a perspectiva de atender a demanda por novas tecnologias voltadas ao uso aeroespacial e industrial. O controle térmico é fundamental no funcionamento de computadores, laptops, satélites e diversas aplicações na indústria aeroespacial. Circuitos bifásicos de transferência de calor constituídos por tubos de calor ou evaporadores capilares (CPL - Capillary Pumped Loop e LHP - Loop Heat Pipe) são alternativas de projeto consideradas principalmente para aplicação em satélites e sondas espaciais. Os circuitos são geralmente carregados com amônia, acetona ou água deionizada como fluido térmico. Tubos de calor são dispositivos bifásicos constituídos de um evaporador e um condensador, podendo ou não apresentar uma zona adiabática. O fluido de trabalho é bombeado do condensador ao evaporador por ação capilar. No evaporador, o fluido no estado líquido recebe calor e muda de fase. O vapor desloca-se até o condensador por diferença de pressão, onde perde calor retornando ao estado líquido. O sistema opera em um ciclo fechado e não necessita de energia elétrica para a circulação do fluido de trabalho. Da mesma forma, CPL's possuem um evaporador, condensador e um reservatório, além das linhas de transporte de líquido e de vapor. O reservatório tem a função de controlar a quantidade de fluido no interior do circuito, para desta forma controlar a temperatura de operação. A movimentação do fluido térmico é proporcionada por ação capilar no evaporador, onde calor é absorvido por evaporação. O aumento da pressão desloca o vapor do evaporador para o condensador. O condensado retorna para o evaporador por ação capilar. O LHP tem mesma configuração que o CPL, mas com a diferença de não dispor de reservatório e operar com uma câmara de compensação diretamente conectada ao evaporador capilar.

Pesquisas foram efetivamente iniciadas em 1992, primeiramente com recursos FINEP em projeto institucional do Departamento de Engenharia Mecânica, com a proposta de desenvolver tubos de calor e bombas capilares para aplicações em sistemas de conversão de energia e também aplicações espaciais. E posteriormente com recursos da AEB (Agência Espacial Brasileira) com a proposta de desenvolver satélites de comunicação no Brasil, no âmbito do consórcio de pesquisadores UNISAT⁶⁰, que foi coordenado pelo professor Sergio Colle da UFSC. E, ainda, com recursos próprios no desenvolvimento, caracterização e testes de evaporadores capilares de níquel sinterizado, em cooperação com o LabMAT e LMPT, ambos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, trabalho que resultou na primeira dissertação de mestrado nesse assunto em particular⁶¹. Seguiram-se outros projetos

⁶⁰ Estudo de viabilidade técnica e planejamento de recursos para o desenvolvimento de um satélite de comunicação no Brasil; Convênio AEB 011/96, Consórcio de Pesquisadores UNISAT.

⁶¹ E. G. Reimbrecht, Produção e caracterização de componentes porosos para bombas capilares (Co-orientação: Prof. Marcio Fredel). Dissertação aprovada pelo PGMAT em 24/11/98.

financiados pela FINEP e CNPq, para enfim fechar um primeiro contrato com recursos do Ministério de Ciência e Tecnologia e coordenação geral do INPE, com vistas ao desenvolvimento e testes de uma bomba capilar em ambiente de microgravidade⁶². A proposta contemplava a construção de modelo de qualificação (MQ) e modelo de voo (MV) para integração em satélite-franco-brasileiro. À época foi estabelecida uma primeira cooperação internacional com a Universidade de Clemson - EUA. Os trabalhos foram iniciados por volta de 1998, mas no terceiro ano de atividades, por questões financeiras este projeto foi interrompido pela parte francesa.



CPL – Capillary Pumped Loop

Satélite Franco-Brasileiro para testes de experimentos em microgravidade.

Projeto FBM - French Brazilian Microsatellite (INPE/CNES) aprovado pela Academia Brasileira de Ciências (ABC), Contrato INPE/MCT/FUNCATE.

Atualmente expectativa maior se concentra na comprovação da viabilidade técnica e qualificação de evaporadores capilares cerâmicos para uso em condições de microgravidade. O LabCET construiu um histórico positivo no desenvolvimento e testes de experimentos para uso em ambiente de microgravidade. Em março de 2006, dois experimentos científicos foram realizados em ambiente de microgravidade, com forte participação de alunos de graduação e de pós-graduação da UFSC. Os experimentos foram testados na ISS, como parte da Missão Centenário, coordenada pela Agência Espacial Brasileira (AEB), em cooperação com o INPE e IAE. Coube ao LabCET a responsabilidade pela primeira experiência brasileira de um CPL em ambiente de microgravidade⁶³. O experimento, denominado pela Agência Espacial Russa como “CEM”, consistiu de um circuito bifásico de transferência de calor constituído por um evaporador capilar de microrranhuras circunferenciais, assistido por um processador eletrônico com funcionamento programável e aquisição automática de dados. Atendendo requisitos de segurança, em lugar de amônia ou acetona, água deionizada foi selecionada como fluido de trabalho. Potências entre 10 e 20 W foram aplicadas no evaporador, para temperaturas do reservatório controladas em torno de 45°C. Completando o ciclo térmico, a potência transferida pelo sistema foi rejeitada para o meio ambiente por convecção forçada, com o auxílio de pequenos ventiladores instalados no condensador. O experimento foi transportado pela Soyuz em 29 de março de 2006. O propósito do experimento foi desenvolver e aperfeiçoar

⁶² FBM - French Brazilian Microsatellite (INPE/CNES): Ofício da Academia Brasileira de Ciências informando aprovação do experimento “Design of a small capillary pumped loop for tests under microgravity”, Rio de Janeiro, 5/5/1997. Contrato INPE/MCT/FUNCATE.

⁶³ Projeto CEM: Capillary Evaporator Microgravity Experiment (AEB/MCT-ISS-MCENT Missão Centenário), Contrato AEB/FUNCATE.

tecnologia nacional em sistemas de bombeamento capilar para controle térmico de equipamentos utilizados em ambiente de microgravidade. Os trabalhos tiveram a cooperação também de técnicos e pesquisadores do LabTermo, LabSolda, LMPT e LabMAT, todos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. Dados experimentais foram primeiramente obtidos no Laboratório de Integração e Testes (LIT/INPE) e, posteriormente, na ISS. O comportamento termodinâmico apresentado pelo experimento CEM apontou para resultados absolutamente satisfatórios, qualificando e comprovando plenamente sua capacidade de operar tanto em terra como em microgravidade. Os resultados foram apresentados em seminário realizado em São José dos Campos no dia 21 de novembro de 2006, sob a coordenação da AEB, INPE e CTA/IAE⁶⁴.



MCENT – Missão Centenário: Testes de evaporador capilar em ambiente de microgravidade com água deionizada (CEM) na Estação Espacial Internacional (ISS) em 31/03/2006

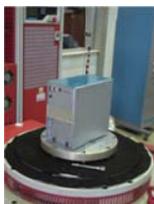
Recursos financeiros: MCT/AEB

Um segundo experimento foi também testado em vôo suborbital, como parte da Operação Cumã II, coordenada pela AEB, em cooperação com o IAE, CLA e DLR⁶⁵. O experimento foi realizado no foguete brasileiro VSB-30, lançado da Base de Lançamento de Alcântara, às 12h13 minutos do dia 15/07/2006. O vôo durou cerca de 19 minutos, atingindo um apogeu de aproximadamente 242 km. Durante o vôo foi estabelecido um ambiente de microgravidade por 6,2 minutos. O experimento CPL consistiu de um sistema de bombeamento capilar controlado por um processador computacional PC-104. Os dados foram armazenados e transmitidos por telemetria à Base de Lançamento de Alcântara. O evaporador consistiu de um tubo de alumínio circunferencialmente ranhurado na parte interna. As micro-ranhuradas têm formato retangular com profundidade média de 220 μ m e largura média de 30 μ m. A eletrônica destinada ao controle e aquisição de dados do experimento foi desenvolvida utilizando um processador PC-104 (Athena), alimentado por baterias. O software foi desenvolvido em linguagem C. Testes em laboratório, CTA e PPCU na Base de Lançamento de Alcântara têm demonstrado

⁶⁴ Projeto CEM: Seminário Sobre os Resultados da Missão Centenário, AEB, INPE e CTA/IAE, São José dos Campos, 21 e 22 novembro 2006 – Processo 23080.028028/2008-20, pgs. 40.

⁶⁵ Projeto Microgravidade: Análise experimental de uma bomba capilar de ranhuras circunferenciais em ambiente de microgravidade (AEB/MCT-Microgravidade AO-02/2004) - Processo 23080.028028/2008-20, pgs. 43.

comportamento satisfatório. Mesmo considerando a fonte fria em condições desfavoráveis, com temperatura igual à ambiente, em torno de 35°C, o sistema tem operado bem com potências de até 50 W.



Operação Cumã II: Qualificação e testes de desempenho do experimento CPL com amônia no CTA em São José dos Campos, em 30/11/2006.

Recursos financeiros: MCT/AEB



VSB-30

Foto na Base de Lançamento de Alcântara, em 15/07/2007.

Os resultados de vôo corresponderam parcialmente à expectativa, com o experimento suportando as condições adversas de lançamento, mas não permitindo uma análise completa do comportamento térmico no período de gravidade, tendo em vista a incidência de ruídos na aquisição de dados e, principalmente, pela desativação programada da potência aplicada ao experimento por motivo de segurança, em resposta à elevação abrupta da temperatura na fonte fria (plataforma da carga útil). O excesso de ruído proveniente da telemetria dificultou o tratamento dos dados e análise dos resultados. O projeto contribuiu para o desenvolvimento de tecnologia nacional e alcance da autonomia no setor aeroespacial, uma vez que dispositivos utilizados para controlar a temperatura em satélites brasileiros ainda são importados do exterior. Do ponto de vista acadêmico, o projeto contribuiu com a formação de pessoal técnico especializado e de alunos que tiveram efetiva participação nas atividades de laboratório e na solução dos diversos problemas encontrados durante as fases de desenvolvimento, integração, testes de desempenho e operação em vôo. São profissionais bem formados e candidatos ao mercado nacional de trabalho, onde a oferta de sistemas de bombeamento capilar para fins de refrigeração e controle térmico de sistemas é ainda incipiente, mas com grande potencial para que empresas brasileiras iniciem participação em um ramo de alta tecnologia.

O LabCET mantém uma equipe de trabalho nas atividades de fabricação e montagem do experimento científico CCE - Ceramic Capillary Evaporator aprovado pela AEB no âmbito do Projeto MICROGRAVIDADE- Anúncio de Oportunidades- AO-03/2006, com a expectativa de também qualificá-lo para aplicação aeroespacial. Não há ainda previsão para testes na ISS. O experimento foi projetado para funcionar com objetivo similar aos aparelhos de refrigeração, transferindo calor de fontes quentes para ambientes frios,

utilizando o princípio da capilaridade para movimentação de fluido térmico. Água ou etanol são candidatos para operar como fluidos de trabalho, obedecendo a restrições impostas para uso de fluidos de trabalhos no interior da estação espacial. Um evaporador capilar deverá ser selecionado para montagem do modelo de vôo, eletronicamente controlado por uma placa PC-104, que realizará, de acordo com o programa computacional instalado, a aplicação das potências pré-estabelecidas às resistências elétricas e a aquisição e armazenamento automático dos dados. Resistências elétricas alimentadas por energia elétrica da ISS serão utilizadas como fonte de calor e pequenos ventiladores deverão ser utilizados para remoção do calor por convecção forçada no condensador. O modelo de vôo deverá atender requisitos de massa, volume e potência disponibilizada na ISS. O experimento deverá ter um volume máximo de 5000 cm³ e massa de até 4 kg. Do ponto de vista científico, o desafio maior se sustenta na determinação dos limites de operação em ambiente de microgravidade, bem como superar restrições impostas relacionadas com massa, volume e potência elétrica disponíveis em satélites e sondas espaciais. O espaço disponível na ISS corresponde a cerca de 1 m³. A ISS disponibiliza a potência de 100 W, tensão de 28 VDC em tomadas especiais de 3 a 10 A. O procedimento de avaliação do modelo de vôo consiste nos testes de partida do sistema; testes de máxima potência transportada e testes de longa duração em cargas variáveis, além naturalmente da análise termodinâmica do funcionamento do sistema. O projeto deve contribuir para a consolidação de autonomia no setor, uma vez que os dispositivos utilizados para controlar a temperatura em satélites brasileiros são importados, além de representar uma janela de oportunidade para as empresas brasileiras em um ramo de alta tecnologia. A equipe de projeto é formada por pesquisadores do LabCET, com envolvimento dos alunos IC e de pós-graduação da UFSC. Um aluno deverá revisar os trabalhos de integração de modelo de vôo específico para testes em ambiente de microgravidade, deixando-o pronto para futuros testes de aceitação e qualificação no Laboratório de Integração e Testes (LIT/INPE). Os trabalhos deverão ser realizados com novas amostras cerâmicas, considerando a possibilidade de sucesso em produzir evaporadores capilares com gradientes de porosidade e condutividade térmica variável. O processo de usinagem do evaporador capilar e montagem do modelo de vôo serão realizados com o apoio do LabTERMO.

Trabalhos são também realizados com a cooperação de instituições de pesquisa do Brasil e exterior. Com a expectativa de aprimorar técnicas de montagem de mini-evaporadores capilares, trabalhos foram também conduzidos no IKE (Institut für Kernenergetik und Energiesysteme - www.ike.uni-stuttgart.de/) da Universidade de Stuttgart na Alemanha, onde recentemente um aluno de doutorado realizou atividades experimentais, utilizando acetona como fluido de trabalho em LHP constituído de evaporador capilar cerâmico montado inteiramente na UFSC. Os trabalhos foram bem

sucedidos, resultando na publicação de um artigo técnico na revista “Applied Thermal Engineering⁶⁶”, em coautoria com Dr.-Ing. Rainer Mertz e Dr.-Ing. Rudi Kulenovic. A tese de doutorado foi recentemente concluída, contabilizando ao final sete artigos completos em congressos, três artigos publicados em revista indexada e com o prêmio de melhor tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC e **Menção Honrosa do Prêmio CAPES⁶⁷**.

Na área de materiais, os esforços são atualmente direcionados à produção e caracterização de material cerâmico sinterizado, que seja livre de impurezas e compatível com os fluidos de trabalho utilizados nos sistemas de bombeamento capilar. Dentre os itens de caracterização, esforços serão empreendidos na montagem de uma bancada de teste para determinação de condutividade térmica das estruturas capilares de acordo com metodologia encontrada na literatura. Estudos têm se concentrado no desenvolvimento e caracterização de evaporadores capilares cerâmicos com a cooperação do CERMAT e LabTERMO, ambos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, além de cooperação internacional com o instituto AC (Advanced Ceramics Institute – Instituto de Cerâmicas Avançadas) da TUHH (Technische Universität Hamburg-Harburg - Universidade Tecnológica de Hamburg-Harburg - www.tu-harburg.de/). Um projeto de cooperação bilateral CNPq/DLR com a TUHH da Alemanha, intitulada "Porous wicks for use in capillary pumping systems for satellite technology", foi recentemente concluído concluído⁶⁸. O projeto foi aprovado pelo CNPq com a expectativa de explorar alternativas cerâmicas para uso em evaporadores capilares, juntamente com esta conceituada instituição alemã, com experiência em compósitos (ex: alumínio-alumina) e que estrategicamente está situada em Hamburgo, uma das sedes da agência espacial alemã (DLR). A coordenação do projeto foi conduzida pelo Prof Dachamir Hotza (ENQ/UFSC) e Prof Rolf Janssen (TUHH), com vigência no período de 1/4/2007 a 31/03/2010 (Edital CNPq 27/2006 - Processo: 490639/2006-2). O projeto estimulou também o intercâmbio de estudantes de graduação e de pós-graduação, fato consolidado com a vinda de aluno alemão ao LabCET em outubro de 2009 e a ida de aluno brasileiro em fevereiro de 2010.

Evaporadores capilares cerâmicos representam um avanço na tecnologia mundial para dissipação de calor e controle da temperatura de operação de componentes eletrônicos, com potencial aplicação em ambiente de microgravidade. Os estudos são direcionados ao desenvolvimento de rotas para produção e caracterização de material cerâmico sinterizado, que seja livre

⁶⁶ Paulo H. D. Santos, Edson Bazzo, Susanne Becker, Rudi Kulenovic and Rainer Mertz; Development of loop heat pipes with ceramic wick; Applied Thermal Engineering (2010); v.30, September 2010, p.1784–1789; ISSN 1359-4311 (DOI:10.1016/j.applthermaleng.2010.04.010) - Processo 23080.017577/2012-55, fls. 36.

⁶⁷ **Menção Honrosa do Prêmio CAPES** - Portaria Nº 084, de 05 de junho de 2012 - Outorga de Menção Honrosa do Prêmio CAPES de Tese - Edição 2011.

⁶⁸ Projeto de cooperação bilateral CNPq/DLR - Edital CNPq 27/2006 - Processo: 490639/2006-2.

de impurezas e compatível com os fluidos de trabalho utilizados nos sistemas de bombeamento capilar. Devido a suas propriedades físicas e químicas como alta resistência ao calor, inércia química entre outras, as estruturas porosas cerâmicas possuem os mais abrangentes usos. Nos últimos anos tem sido empregada a técnica de colagem por barbotina na fabricação de elementos porosos, utilizando alumina e mulita como matéria-prima, recomendadas por possuírem resistência à corrosão e condutividade térmica adequada. Há forte expectativa na aplicação de técnicas avançadas de fabricação, visando obter estruturas capilares com maior flexibilidade relativamente ao tamanho de poros e porosidade.

Uma tese de doutorado neste assunto foi orientada pelo professor Dachamir Hotza do departamento de Engenharia Química da UFSC, envolvendo estágio na universidade TUHH com bolsa aprovada pelo convênio CAPES/CNPq/DAAD (Processo BEX 4427/09-2). O aluno de doutorado realizou parte de seu trabalho na TUHH, com foco na produção e caracterização de estruturas porosas cerâmicas, constituídas de mulita e alumina e objetivo voltado às características desejadas de porosidade, tamanho de poro e permeabilidade de evaporadores capilares. Os trabalhos foram bem sucedidos, resultando além dos artigos apresentados em congressos internacionais, um artigo técnico publicado na revista "Applied Thermal Engineering"⁶⁹ e um na revista "Materials Science"⁷⁰, ambos em coautoria com o professor Rolf Janssen da TUHH. A tese de doutorado foi recentemente concluída, contabilizando ao final nove artigos completos apresentados em congressos nacionais e internacionais, além de três artigos publicados em revistas indexadas.

Duas novas técnicas de sinterização estão sendo consideradas com a perspectiva de substituir a técnica atual de colagem por barbotina. A primeira estaria associada à técnica de sinterização reativa (reaction bonded), atualmente utilizada na Alemanha e objeto principal da tese de doutorado recentemente concluída na UFSC. A segunda estaria associada com a técnica de espumação direta (direct foaming), esta ainda em fase preliminar de estudos e aguardando por recursos financeiros que viabilizem a realização de trabalhos experimentais. Sinterização reativa representa uma técnica avançada de fabricação capaz de produzir estruturas porosas cerâmicas com formação de nova fase in situ. A fabricação através de sinterização reativa baseia-se na preparação de uma mistura precursora contendo um pó cerâmico e um pó metálico, o qual após a conformação é oxidado, formando assim uma nova

⁶⁹ L. F. Berti, E. Bazzo, R. Janßen, D. Hotza, C. R. Rambo. Evaluation of permeability of ceramic wick structures for two phase heat transfer devices. Applied Thermal Engineering, v. 31, p. 1076-1081, 2011; DOI:10.1016/j.applthermaleng.2010.12.001 – Processo 23080.017577/2012-55, fls.35.

⁷⁰ L. F. Berti, C. R. Rambo, E. Bazzo, R. Janßen, D. Hotza; A novel route for porous matrix composites; Materials Science Forum (Online), v. 727-728, Advanced Powder Technology VIII. p. 568-573, Trans Tech Publications, Switzerland, 2012; DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.727-728.568 – Processo 23080.038252/2014-78, fls. 45.

fase cristalográfica. Essa técnica permite fabricar diversas fases cristalográficas, dependendo diretamente da composição da mistura precursora. A técnica de espumação direta, por sua vez, poderá apresentar a importante vantagem de conferir gradientes apropriados de porosidade, de tamanho de poros e indiretamente da condutividade térmica. A aplicação de evaporadores capilares com tais propriedades deverá refletir positivamente no comportamento térmico do circuito (CPL e LHP), particularmente na partida (startup) e sob potências próximas ao limite capilar e limite de ebulição. A fabricação através de espumação direta, método de processamento de cerâmicas celulares que consiste na emulsificação de alcanos em suspensões cerâmicas, a distribuição do tamanho das gotas de óleo na suspensão pode ser controlada em paralelo tanto pela quantidade de sólidos, como pela velocidade e tempo de agitação mecânica com a qual as suspensões forem emulsificadas. Por causa dessa capacidade de controlar a morfologia microestrutural da estrutura porosa, é possível obter porosidades variando de 74 a 84%, tamanhos médios de células variando entre 11 (camada superior) a 52 μm (camada suporte) e 26 MPa de resistência mecânica a compressão.

Os primeiros elementos porosos foram sinterizados na UFSC, utilizando alumina e mulita como matéria-prima, recomendadas por possuírem resistência à corrosão. O processo de fabricação foi realizado em quatro etapas: (i) fabricação dos moldes de gesso, (ii) preparação da barbotina, (iii) colagem e (iv) queima. Carvão ativado tem sido adicionado para garantir a porosidade desejada. A caracterização das amostras é realizada através de análise termogravimétrica e análise de imagens. Uma dissertação de mestrado foi concluída em 2008, sobre caracterização de cerâmica porosa para aplicação em sistemas de bombeamento capilar, sob a orientação do professor Carlos Renato Rambo, hoje docente do departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica da UFSC. Dando prosseguimento aos estudos, um aluno deverá agora desenvolver estruturas porosas cerâmicas utilizando e adaptando processos de fabricação recém-desenvolvidos que são capazes de produzir gradientes de propriedades físicas e fluidodinâmicas, variando o tipo de agente formador de poros, AFP, utilizado em substituição à resina fenólica, a qual é utilizada atualmente. Preliminarmente, a sugestão é o emprego de carbono ativado ou parafina para formação de poros após sua calcinação. As caracterizações dessas estruturas serão realizadas pela determinação de porosidade, permeabilidade e tamanho crítico de poros (propriedades relevantes para a aplicação). O aluno deverá seguir procedimentos pré-estabelecidos para as técnicas de fabricação: (i) preparação da matéria-prima (preparação do pó ou da suspensão), (ii) conformação (compactação ou secagem) e (iii) tratamento térmico (oxidação e/ou sinterização). A caracterização morfológica será realizada por MEV (LCME), e as fluidodinâmicas serão realizadas no próprio LabCET e, como já se tem feito, o processo de usinagem das estruturas capilares e montagem do evaporador

capilar serão realizados no LabTERMO. Alunos IC com conhecimentos em ciências dos materiais e processos de fabricação de materiais cerâmicos são envolvidos na fabricação de amostras. Para garantir qualidade nas amostras produzidas, os trabalhos são supervisionados por alunos de mestrado ou de doutorado, além de professores vinculados ao programa de pós-graduação em ciências dos materiais.

Alunos IC com conhecimentos em termodinâmica, transferência de calor e instrumentação são também envolvidos nos trabalhos para garantir e dar continuidade à montagem e testes de experimentos em laboratório, dentro de características específicas para testes em microgravidade, correspondentes a massa, volume e potência disponibilizada na ISS. O embarque do experimento foi suspenso, mas os alunos deverão priorizar as atividades de laboratório, testando exaustivamente diversos evaporadores capilares até a montagem definitiva do modelo de vôo, deixando-o pronto para futura qualificação pelo LIT/INPE e, com a expectativa, de aceitação do experimento em projeto futuro envolvendo a RSC Energia/Moscou. O propósito dos experimentos é também desenvolver e aperfeiçoar tecnologia nacional em sistemas de bombeamento capilar para controle térmico de equipamentos utilizados em satélites e sondas espaciais e, portanto, os resultados experimentais obtidos em laboratório devem ser posteriormente comparados com os resultados obtidos em ambiente de microgravidade.

As bancadas experimentais são montadas no LabCET para testes com água, amônia e acetona como fluidos de trabalho. Novos experimentos estão sendo também montados com evaporador capilar de paredes microrranhuradas. Os trabalhos relacionadas a micro-usinagem, soldagem em atmosfera controlada, vácuo e carregamento dos experimentos com amônia, acetona ou água deionizada são executados com a supervisão do Eng. Edevaldo B. Reinaldo (Técnico LabTermo/UFSC). Os dados experimentais são processados e avaliados de modo a permitir o aprimoramento do projeto, buscando garantir partida do sistema, estabilidade, ausência de gases não condensáveis, bem como garantir uma menor resistência térmica entre evaporador e condensador. Novos resultados deverão ser obtidos e publicados em congressos e revistas nacionais e internacionais.

Células a Combustível

Estruturado de modo multidisciplinar, estudos foram iniciados em 2001 com a preocupação de atender prioridade estratégica nacional, visando elevar o conhecimento técnico e científico do país no campo da geração de energia elétrica, priorizando o uso de fontes renováveis de energia, de forma limpa e sustentável. A tecnologia de células a combustível poderá ainda se tornar uma alternativa decisiva na redução da emissão de poluentes em centros urbanos e na geração distribuída de energia elétrica, promovendo sustentabilidade e redução no impacto ambiental. Com este propósito, as primeiras duas

dissertações de mestrado foram realizadas com a proposta de avaliar a aplicação de células a combustível em plantas de cogeração a gás natural, com primeiros resultados apresentados em congressos nacionais e internacionais. Ambas as dissertações foram realizadas com a cooperação de professores vinculados ao curso de pós-graduação do KTH - Royal Institute of Technology de Estocolmo (<http://www.kth.se/eng/>). Um primeiro artigo técnico foi também publicado em revista indexada⁷¹, com foco voltado na análise termodinâmica de células a combustível de alta temperatura incluindo reforma interna do gás natural. Outras duas dissertações foram concluídas com foco na reforma de gás natural e de etanol, ambas sob a orientação do professor Amir A. M. Oliveira Jr.

De forma integrada, pesquisas prosseguiram na UFSC, com a participação de professores e alunos vinculados ao INEP do departamento de Engenharia Elétrica, LabCET e POLIMAT (Grupo de Estudos em Membranas Poliméricas) do departamento de Química, com a perspectiva de desenvolver tecnologia nacional na área. Pelo lado da engenharia elétrica, o INEP iniciou pesquisas em 2001, com o propósito de desenvolver uma eletrônica de potência para processamento da energia elétrica de células PEM. Pelo lado do departamento de Química, o POLIMAT apostou no desenvolvimento membranas de condução protônica, em cooperação com o GKSS da Alemanha, visando minimização de custos e capacidade de produção em massa, tendo por justificativa o custo de importação e a capacidade limitada de células PEM devido ao superaquecimento. Os trabalhos de síntese das membranas foram desenvolvidos sob a orientação do Prof. Alfredo Tibúrcio (POLIMAT/UFSC), com o propósito de substituir o Nafion, de modo a operar em temperaturas mais elevadas. O contato com o GKSS teve início com o projeto CAPES/PROBRAL/DAAD em 1995, intitulado “Separação de fase de sistemas multicomponentes para obtenção de membranas”. O projeto teve resultados significativos, originando publicações e o intercâmbio de estudantes e professores brasileiros e alemães. Com a conclusão deste projeto, manteve-se a integração entre os laboratórios, resultando na obtenção de uma tese de doutorado e publicações conjuntas. À época, trabalhos de cooperação foram mantidos também com pesquisadores da USP – São Carlos.

Hoje o LabCET dispõe de uma célula PEM de potência nominal 15 W e outra de 200 W, que servem de referência para estudos de desempenho e projeto do sistema de arrefecimento. Ambas unidades foram adquiridas da empresa Electrocell, a primeira de 15 W com recursos CTPetro/CNPq⁷² (Processo: 50.4858/2004-1) e a segunda de 200 W com recursos CT-

⁷¹ J. A. Matelli and E. Bazzo; A methodology for thermodynamic simulation of high temperature, internal reforming fuel cell systems. *Journal of Power Sources*; DOI: 10.1016/j.jpowsour.2004.09.039, Vol 142, Issues 1-2, pp 160-168; 2005 - Processo 23080.052241/2006-91, fls.28.

⁷² Desenvolvimento de um sistema de arrefecimento e de controle da temperatura de células combustível tipo PEM (Edital CTPetro/CNPq 17/2004 Processo 50.4858/2004-1).

Energ/MCT/CNPq⁷³ nº 17/2005 - Apoio a Projetos (Processo 55.1182/2005-9). A unidade de 200 W é composta por dez células montadas eletricamente em série e utiliza convecção forçada a ar para resfriamento. De acordo com resultados obtidos de uma terceira dissertação de mestrado, primeiros dados experimentais apontaram para alta influência da temperatura de operação no desempenho das células PEM. Em certas condições, uma variação de 10°C implica em uma redução de 50% na eficiência, mesmo para patamares de baixa temperatura relativa.



Bancada experimental PEMFC 15 W:
Testes com hidrogênio - LabCET



PEMFC 200 W

Recursos:

CT-Petro/CNPq (Processo: 504.858/2004-1)
CT-Energ/MCT/CNPq nº 17/2005 - Apoio a
Projetos - Processo 55.1182/2005-9).

Uma quinta dissertação de mestrado foi concluída na Suécia por aluno vinculado ao programa de pós-graduação do KTH⁷⁴. Finalmente as duas últimas dissertações já concluídas foram focadas na aplicação de tubos de calor e evaporadores capilares como alternativas para arrefecimento e controle térmico de células a combustível do tipo PEM. Primeiros resultados já apontaram para uma alta influência da temperatura de operação no desempenho das células, comprovando resultados experimentais obtidos por outras instituições de pesquisa do Brasil e do exterior. Os sistemas atuais empregam resistências elétricas no interior das células para compensar a baixa eficiência para potências baixas e acionam ventiladores para o arrefecimento quando as potências são mais elevadas. Considerando a complexidade no desenvolvimento de células-combustível, os custos associados a aplicação dos sistemas de arrefecimento e umidificação são comparativamente pequenos.

O arrefecimento de células a combustível é a preocupação principal da indústria nacional. A adaptação do sistema de refrigeração proposto às células PEM normalmente encontradas no mercado necessita ser melhorada. Diversas técnicas de resfriamento são descritas na literatura e consideradas como alternativas de projeto. Em sistemas portáteis de geração e em bancadas

⁷³ Sistema de arrefecimento de células PEM (Edital CT-Energ/MCT/CNPq nº 17/2005 - Apoio a Projetos - Processo 55.1182/2005-9).

⁷⁴ A. Ljung Experimental performance study of a 15 W polymer electrolyte membrane fuel cell, dissertação de mestrado aprovada em 2007, em coorientação com o Prof. Göran Lindbergh do Departamento de Engenharia Química e Tecnológica do KTH, Estocolmo – Processo 23080.028028/2008-20, pgs.51.

experimentais mais simples, o cátodo é aberto para o ambiente e a célula é resfriada com o próprio ar de alimentação, soprado por ventiladores. São sistemas que geralmente trabalham com baixas densidades de potência e projetados para operar com ar como agente oxidante. Em sistemas sujeitos a altas densidades de potência são recomendados sistemas de resfriamento com circulação de água por canais usinados nas placas de grafite. Em células PEM menores que 100 W, dependendo da geometria, com construção aberta (espaçamento entre stacks), é possível utilizar convecção natural para resfriamento, sem utilização de ventilador auxiliar. A célula de 200 W recentemente adquirida com recursos do CNPq utiliza convecção forçada a ar para resfriamento. O desenvolvimento de um sistema de controle capaz de manter a temperatura de operação na estreita faixa de maior eficiência terá grande impacto positivo no mercado foi objeto de dois projetos aprovados pelo CNPq com recursos CT-Petro (Processo 50.4858/2004-1) e CT-Energ (Processo 55.1182/2005-9).

Procurando identificar novas tecnologias de refrigeração, uma dissertação de mestrado foi recentemente concluída com a cooperação do LabTERMO/UFSC, com foco voltado na construção e testes de uma bancada experimental simulando uma das células. Após a realização dos testes e análise dos resultados, um evaporador foi selecionado para montagem do sistema de refrigeração. O dispositivo proposto consistiu na aplicação de tubos de calor e evaporadores capilares instalados de modo a controlar a temperatura de operação entre 60 e 80°C, absorvendo o calor liberado pelas reações químicas. O módulo foi composto por placas externas de aço responsáveis pela função estrutural do conjunto, placa de Teflon®, material isolante térmico, e placa de grafite onde foram inseridos minitubos de calor. As dimensões utilizadas para as placas de aço foram 171 x 208 x 18 mm e para placa de Teflon® 136 x 179 x 10 mm. Para possibilitar a inserção dos tubos de calor na célula, as placas de grafite foram bipartidas com 4 mm de espessura individual. Tubos de aço inoxidável de Φ 1/8" (3,18 mm) de diâmetro externo foram utilizados como tubos de calor. Uma tela de aço inoxidável mesh 100 foi utilizada como estrutura capilar. Água deionizada foi utilizada como fluido de trabalho. O módulo foi operado a partir de uma resistência elétrica conectada a uma fonte de potência, com potências pré-estabelecidas da ordem de 20 W. Os testes têm sido realizados envolvendo partida do sistema e operação em carga variável para diferentes temperaturas no evaporador. Em todos os testes, o tubo de calor apresentou partida rápida e comportamento estável no regime permanente, com temperaturas na faixa de 60 a 80°C, atendendo requisito básico imposto pelas células PEM. Além disso, o tubo de calor obteve bons resultados com a aplicação dinâmica de potência. Um artigo técnico foi recentemente publicado em revista internacional indexada (Applied Thermal Engineering) apresentando os principais resultados experimentais obtidos na dissertação de mestrado. Os resultados apresentados são preliminares, pois

foram obtidos para um número pequeno de tubos de calor, ainda sem uma integração definitiva ao módulo que simula a célula a combustível. Mesmo com resultados preliminares, pode-se antecipar que tubos de calor representam uma alternativa promissora na refrigeração de células do tipo PEM. Futuramente, os testes deverão ser realizados também em câmara climatizada, mas necessitando de investimentos complementares para alterações na rede lógica e suprimento adequado de hidrogênio e energia elétrica. Novas configurações são propostas e deverão também ser analisadas como alternativas de projeto. Como resultado desse trabalho, foram publicados três artigos em congressos nacionais e internacionais, além de um artigo publicado na revista “Applied Thermal Engineering⁷⁵” em 2012.

Os trabalhos prosseguem de forma integrada com diversos laboratórios, envolvendo pesquisadores e alunos de graduação e pós-graduação dos cursos de engenharia mecânica e ciência dos materiais da UFSC. Uma última dissertação foi recentemente concluída, agora com a proposta de reduzir as dimensões do sistema de arrefecimento e viabilizar sua aplicação em escala comercial, avaliando conceitos de projetos compatíveis com a potência requerida e geometria dos eletrólitos. Entre três e quatro minitubos de calor foram utilizados como alternativa de projeto. A potência foi fornecida por uma resistência elétrica do tipo skin heater, simulando o calor gerado nas reações eletroquímicas durante a operação da célula. Os resultados experimentais foram considerados para validação de modelos teóricos focados no processo de transferência de calor dos minitubos de calor integrados ao sistema de arrefecimento, com potências de até 15 W.

Pesquisas prosseguem no desenvolvimento de tecnologia para refrigeração de células-combustível do tipo PEM, agora com a proposta de aproveitar o calor rejeitado como fonte de energia para sistemas de adsorção, com fins de climatização. Uma tese de doutorado foi recentemente iniciada em cooperação com o professor Rogério Gomes de Oliveira do Campus de Araranguá – UFSC.

⁷⁵ A. P. Silva, R. M. Galante, P. R. Pelizza, E. Bazzo; A combined capillary cooling system for fuel cells; Applied Thermal Engineering Journal; Vol. 41, p. 104-110, 2012, ISSN 1359-4311, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2012.01.008 – Processo UFSC 23080.038252/2014-78, fls. 48.

5. PARTICIPAÇÃO EM BANCAS

A participação em bancas de concurso público, de mestrado e de doutorado foi registrada nos relatórios de desempenho apresentados em 2006, 2008, 2010 e 2012, como também por ocasião da apresentação do MAD - Memorial da Avaliação de Desempenho em 2014, de acordo com Art. 3º da Resolução Normativa Nº 40/CUn/2014, de 27 de maio de 2014, que se encontram disponíveis como anexos⁷⁶.

6. PALESTRAS

Evidentemente o convite a palestras é consequência natural da atuação acadêmica do professor, da sua participação ativa em congressos nacionais e internacionais, do seu reconhecimento como professor e orientador de bons alunos em nível de pós-graduação, mas sobretudo consequência da instituição de ensino e pesquisa à qual pertence. E nesse sentido ser professor da UFSC faz diferença, hoje uma instituição reconhecida nacionalmente e, ainda que em menor escala, também internacionalmente, resultado da atuação positiva do conjunto de professores e de colegas pioneiros que aqui passaram e que contribuíram decisivamente para a criação e consolidação dos primeiros laboratórios de pesquisa e cursos hoje reconhecidos pelo MEC e CAPES como nível de excelência. Neste contexto se enquadra o Departamento de Engenharia Mecânica e todos seus laboratórios.

E como resultados de atividades de cooperação desenvolvidas também pelo LabCET, a partir de 1999 diversas palestras foram realizadas em eventos realizados no Brasil e no exterior, com destaque para temas focados nas áreas de energia e sistemas de bombeamento capilar. No período que precede 2004, foram atendidos diversos eventos a convite de universidades e centros acadêmicos (UNESP, CENBIO/USP, UNOESC, UFC, UNIFEI, DCE), além naturalmente de congressos organizados em áreas de interesse sobre energia e cenário elétrico brasileiro.

Em 2004, na Suécia⁷⁷ foi apresentada palestra sobre energia renovável, intitulada “Hybrid photovoltaic/diesel systems for remote areas in the Brazilian rain forest: A renewable energy technology for rural electrification and remote areas in Brazil”, com foco nos resultados obtidos de trabalho desenvolvido sobre o uso de energia solar como alternativa energética aos grupos geradores diesel, utilizados em regiões isoladas da região amazônica. O material

⁷⁶ Participação em bancas: Processos UFSC 23080.052241/2006-91, fls. 55 a 60; 23080.028028/2008-20, fls. 52 a 67; 23080.015511/2010-69, fls. 55 a 59; 23080.017577/2012-55, fls. 69 a 89; 23080.038252/2014-78, fls. 82 a 94.

⁷⁷ Workshop on Renewable Energy Technologies for Decentralised Rural Electricity Service Provision, SEI/KTH/Sida, Studsvik, 10-12 June 2004 (Processo 23080.052241/2006-91, fls 15 e 63)

apresentado foi considerado pela SEI (Stockholm Environment Institute) para publicação em boletim informativo (Newsletter of the Energy Programme)⁷⁸.

Em 2006 na Colômbia foram apresentadas três palestras na “*Semana de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira*”, uma primeira sobre fontes de energia e novas tecnologias para geração termelétrica, uma segunda sobre exergia e análise termodinâmica de plantas de cogeração e uma terceira sobre sistemas de bombeamento capilar, oportunidade em que foi recebida **Menção Honrosa** concedida pela Faculdade de Engenharia Mecânica e Conselho Estudantil da Universidade Tecnológica de Pereira⁷⁹.

Novamente em fontes de energia e novas tecnologias para geração termelétrica foram proferidas palestras em 2008 na UNOESC⁸⁰ em Joaçaba-SC e 2011 na UFC⁸¹ em Fortaleza, oportunidades em que foram apresentados e discutidos temas relacionados geração hidrelétrica (UHE, PCH e CGH), geração nuclear (fissão, fusão e lixo nuclear), cogeração e geração termelétrica (carvão, óleo, gás natural, xisto e biomassa), IGCC – Gaseificação integrada em ciclos combinados, CCS – Sequestro e armazenamento de carbono, etanol, biodiesel, biogás e outras fontes de energia.

Mais recentemente, em 2012, foram apresentados aspectos relevantes e atuais sobre cogeração e geração distribuída para discussão em mesa redonda organizada pela Petrobrás para reflexões sobre o futuro da energia no Brasil⁸²

Também recentemente, em 2013, atendendo convite da UNIFEI foi proferida palestra intitulada “Biomass as energetic alternative for centralized and distributed electricity generation” em seminário internacional na cidade Itajubá, evento organizado pelo NEST/UNIFEI⁸³, reunindo pesquisadores do Brasil, Europa e Estados Unidos, com o propósito de discutir avanços recentes no uso de resíduos e energias renováveis. Novamente em 2013, em congresso realizado em Joinville-SC, foi apresentado o tema intitulado “Aplicação de sistemas de bombeamento capilar no controle térmico de satélites⁸⁴”, oportunidade em que foram discutidas experiências recentes sobre o uso de

⁷⁸ Renewable energy technologies for decentralized rural electricity services, in Renewable Energy for Development, SEI – Stockholm Environment Institute, January 2005, vol. 18, Nº. 1 – by Björn Kjelström from Exergetics AB, Sweden.

⁷⁹ Mención de Honor concedida pela Faculdade de Engenharia Mecânica e Conselho Estudantil da Universidad Tecnológica de Pereira - Semana de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colômbia, 4 al 6 de octubre de 2006 - (Anexo)

⁸⁰ XIII Semana Acadêmica da Engenharia, UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina – Campus de Joaçaba, 8 a 11 de Outubro/2008 (Processo 23080.015511/2010-69, fls 61).

⁸¹ I SEEMA - Semana de Tecnologia da UFC - Fortaleza, 17 a 21/10/2011 (Processo 23080.017577/2012-55, fls 92).

⁸² Workshop Futuro da Energia – Reflexões para Rio +20; Rio de Janeiro, 24/04/2012 (Processo 23080.038252/2014-78, fls 97).

⁸³ Seminário Internacional CEURER-2013 – Avanços em Conversão de Energia, Uso de Resíduos e Energias Renováveis; NEST/UNIFEI – Itajubá-MG, 17/04/2013 (Processo 23080.038252/2014-78, fls 95).

⁸⁴ CONEMB - I Congresso Nacional das Engenharias da Mobilidade; Centro de Engenharia da Mobilidade – UFSC – Centreventos Cau Hansen, Joinville-SC, 17/10/2013 (23080.038252/2014-78, fls 96).

tubos de calor e evaporadores capilares no controle térmico de satélites e sondas espaciais com professores e alunos do curso de engenharia aeroespacial do Centro de Engenharia da Mobilidade da UFSC.

7. PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES EDITORIAIS

Editor⁸⁵

Invited Editor special issue ECOS 2009 “Energy The International Journal”,
ELSEVIER ISSN: 0360-5442: 01/09/2009 a 30/12/2010;

Invited Editor special issue ECOS 2009 “IJoT – International Journal of Applied
Thermodynamics”, ICAT ISSN 1301-9724; 01/11/2009 a 30/12/2010;

Revisor de artigos⁸⁶

ATE Applied Thermal Engineering

APEN Applied Energy

Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering BMSE - Springer

Journal of Industrial and Engineering Chemistry

8. ASSESSORIA OU CONSULTORIA A ÓRGÃOS DE FOMENTO

Linha de Fomento/Chamada⁸⁷

Programa PEC-PG / Chamada N° 25/2013 - PEC - PG 2013

Edital MCT/CNPq FNDCT n ° 05/2010 Capacitação Laboratorial e Formação de
RH em Fontes Renováveis / Edital 05/2010 - Energia Eólica

Bolsas no País / Produtividade em Pesquisa - PQ – 2013

Chamada Bilateral CNPq N° 17/2013 / Costa Rica

Edital MCT/CNPq/CT- Energ n ° 04/2010 - Capacitação e Formação de
Recursos Humanos Laboratorial para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
na área de Energia Elétrica e Hidrogênio / Edital 04/2010 - Linha de Pesquisa
2: Hidrogênio

Chamada Pública MCTI/CNPq N° 14/2013 - Universal / Universal 14/2013 -
Faixa C - até R\$ 120.000,00

⁸⁵ Processo 23080.017577/2012-55, fls 102 a 107.

⁸⁶ Processo 23080.038252/2014-78, fls 119 a 131

⁸⁷ Processo 23080. 038252/2014-78, fls 132 a 134

9. CARGOS NA ADMINISTRAÇÃO⁸⁸

Chefe do Departamento de Engenharia Mecânica – Portaria 576/2014/GR de 27/03/2014; Presidente do Subcomitê de Segurança e Integração com a Comunidade da UFSC; Portaria Nº 567/GR/2011 de 16/05/2011; Período: 16/05/2011 a 31/12/2012; Supervisor do Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos (LabCET), Portarias 018/CTC/2004, 017/CTC/2006, 020/CTC/2008, 041/CTC/2010 e 055/CTC/2012, no período de março/2004 a fevereiro/2014; Sub-chefe do Departamento de Engenharia Mecânica, Portarias 389/GR/83 e 556/GR/85, no período de 1983 a 1987.

⁸⁸ Processos 23080.052241/2006-91, fls. 11; 23080.028028/2008-20, fls. 11; 23080.015511/2010-69, fls. 66 a 67; 23080.017577/2012-55, fls. 95 a 97; 23080.038252/2014-78, fls. 136.