

MEMORIAL DE ATIVIDADES ACADÊMICAS

MAA

Profa. Marcia Barbosa Henriques Mantelli

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 15 de dezembro de 2016.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fotografia do prédio que abriga o Labtucal (Laboratório de Tubos de Calor)	15
Figura 2: Princípios físicos de funcionamento de um termossifão.	22
Figura 3: Princípios físicos de funcionamento de um tubo de calor	22
Figura 4: Esquema de um termossifão em circuito (“loop thermosyphon”).....	22
Figura 5: Esquema de um tubo de calor em circuito.....	23
Figura 6: Desenho esquemático de um aquecedor de água do tipo Perkins	24
Figura 7: Forno Perkins, do tipo “lastro”, patenteado no século XIX, onde a tecnologia de termossifões é empregada.	24
Figura 8: Forno de cocção de pães assistidos por termossifões verticais	26
Figura 9: Esquema dos fornos de esteira assistidos por termossifões.....	26
Figura 10: Fornos de lastro assistidos por termossifões em formato de árvore com os “galhos” na horizontal.	27
Figura 11: Fotografia e esquema de funcionamento de forno de secagem de erva entregue a empresa Boldo SA.....	28
Figura 12: TROCATER: trocador de calor com termossifões instalado no SIX (São Mateus do Sul).	30
Figura 13: Bancada de testes de trocadores de calor gás-gás (BANCUN) com termossifões.....	30
Figura 14: BANCUN com linha de líquido pressurizada.	31
Figura 15: Aquecedor do tipo trocador de calor com termossifões e protótipo estudado em laboratório.	33
Figura 16: Esquema de um sistema de aquecimento de GN tradicional e de uma câmara de vapor a ser adaptada neste aquecedor.	33
Figura 17: Trocador com termossifões carregados com sódio e um termossifão em teste.....	34
Figura 18: Forno de soldagem por difusão e peças produzidas no forno.	35
Figura 19: Esquema de funcionamento do termossifão em circuito do destilador unitubular.....	37
Figura 20: Meio poroso multi-camadas desenvolvido no Labtucal e fotos de bancadas de medição de propriedades termofísicas.....	38
Figura 21: Ilustração da participação do Brasil nas oportunidades de testes em microgravidade proporcionadas pela AEB	41
Figura 22: Esquema do termossifão em circuito desenvolvido, fotografia do protótipo testado a bordo da aeronave e vistas externa e interna do experimento envolvendo diversas tecnologias para transferência de calor da fonte ao evaporador do termossifão em circuito.....	44
Figura 23: Bancada de testes de radiador de caminhões.....	46
Figura 24: Esquema do equipamento proposto para recuperação de água em torres de resfriamento e fotografia do protótipo desenvolvido.	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	BREVE HISTÓRICO DA MINHA CARREIRA DE PESQUISA	9
3	O LABORATÓRIO DE TUBOS DE CALOR - LABTUCAL	11
3.1	A Importância da Petrobrás no Labtucal	11
3.2	Pesquisas no Espaço	13
3.3	Outras linhas de pesquisa	13
3.4	Infraestrutura de pesquisa.....	14
3.5	Equipe de trabalho.....	15
3.6	Disciplinas e palestras	17
3.7	Prêmios.....	18
3.8	Participação em comitês e como editora de revistas	19
3.9	Empresa “Start Up” nascida no Labtucal	20
4	DESCRIÇÃO GERAL DAS LINHAS DE PESQUISA.....	21
4.1	O Que são Tubos de Calor e Termossifões?	21
4.1.1	Aspectos históricos	23
5	DESCRIÇÃO TÉCNICA DAS LINHAS DE PESQUISA.....	24
5.1	Fornos Industriais assistidos pela tecnologia de termossifões	25
5.1.1	Fornos de cocção de pães para padarias de médio porte.....	25
5.1.2	Forno para cocção industrial de biscoitos e massas.....	26
5.1.3	Fornos de lastro para cocção de pães	27
5.1.4	Desenvolvimento de fornos de secagem de ervas medicinais	27
5.1.5	Ramas para o tratamento térmico de tecidos.	28
5.2	Trocadores de calor assistidos pela tecnologia de termossifões.....	28
5.2.1	Desenvolvimento de um trocador de calor (TROCATER) para a Unidade de Refino de Xisto de São Mateus do Sul (SIX), da Petrobrás	29
5.2.2	Tecnologias de tubos de calor de média-alta temperatura, para aplicações em petroquímicas	30
5.2.3	Projeto, construção e instalação de uma bancada universal para testes de termossifões de baixa a média temperatura (BANCUN).	30
5.2.4	Desenvolvimento de Tecnologias para Trocadores de Calor Assistidos por Termossifões	31
5.2.5	Projeto e Fabricação de um Protótipo de um Gerador de Vapor Empregando Tecnologia de Termossifões.	32
5.2.6	Aquecedores de Tanques de Armazenamento de Asfalto.....	32
5.2.7	Aquecedores de Gás Natural em Estações de Descompressão e Distribuição.	33
5.2.8	Trocadores de calor de alta temperatura	34
5.3	Trocadores de calor compactos e ultracompactos fabricados por soldagem por difusão ...	35
5.4	Destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões	36
5.5	Controle térmico de eletrônicos em veículos espaciais, automotores e aeronaves	37
5.5.1	Tecnologias para controle térmico de componentes eletrônicos.	37
5.5.2	Veículos espaciais - Microgravidade	38
5.5.3	Aeronaves.....	40
5.5.4	Veículos automotores.....	42
5.6	Equipamentos para recuperação de água em torre de resfriamento industriais	44
6	PRINCIPAIS PRODUÇÕES BIBLIOGRÁFICAS	46
6.1	Capítulo de livro.....	47
6.2	Publicação de artigos em periódicos.	47

6.2.1	Fornos Industriais assistidos pela tecnologia de termossifões	47
6.2.2	Trocadores de calor assistidos pela tecnologia de termossifões	47
6.2.3	Trocadores de calor compactos e ultracompactos fabricados por soldagem por difusão 48	
6.2.4	Destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões	48
6.2.5	Controle térmico de eletrônicos em veículos espaciais, automotores e aeronaves	48
6.2.6	Veículos automotores.....	50
6.2.7	Equipamentos para recuperação de água em torre de resfriamento industriais	50
6.2.8	Outros.....	50
7	PATENTES REGISTRADAS	51
8	ORIENTAÇÕES DEFENDIDAS	53
8.1	Fornos Industriais assistidos pela tecnologia de termossifões	53
8.1.1	Mestrado.....	53
8.2	Trocadores de calor assistidos pela tecnologia de termossifões.....	53
8.2.1	Mestrado.....	53
8.2.2	Doutorado.....	53
8.3	Trocadores de calor compactos e ultracompactos fabricados por soldagem por difusão ...	53
8.3.1	Mestrado.....	53
8.4	Destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões 54	
8.4.1	Mestrado.....	54
8.5	Controle térmico de eletrônicos em veículos espaciais, automotores e aeronaves	54
8.5.1	Tecnologias para controle térmico de componentes eletrônicos.	54
8.5.2	Veículos espaciais - Microgravidade	54
8.5.3	Aeronaves.....	55
8.6	Veículos automotores	55
8.6.1	Mestrado.....	55
8.7	Equipamentos para recuperação de água em torre de resfriamento industriais	55
8.7.1	Mestrado.....	55
8.8	Outros	55
8.8.1	Resistência térmica de contatos	55
8.9	Alunos de Iniciação Científica	56
9	RECURSOS DE CONTRATOS MAIS RECENTES	57
10	OBJETIVOS, METODOLOGIA E RESULTADOS ESPERADOS PARA FUTURO PRÓXIMO	58
10.1	Fornos Industriais assistidos pela tecnologia de termossifões.....	58
10.2	Trocadores de calor assistidos pela tecnologia de termossifões	59
10.3	Trocadores de calor compactos e ultracompactos fabricados por soldagem por difusão	60
10.4	Destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões	61
10.5	Controle térmico de eletrônicos em veículos espaciais, automotores e aeronaves.....	62
10.5.1	Tecnologias para controle térmico de componentes eletrônicos.	62
10.5.2	Veículos espaciais - Microgravidade	62
10.5.3	Aeronaves.....	63
10.6	Veículos automotores	64
10.7	Equipamentos para recuperação de água em torre de resfriamento industriais.....	64
10.8	Outras atividades	65
11	ORIENTAÇÕES EM ANDAMENTO	66
11.1	Fornos Industriais assistidos pela tecnologia de termossifões.....	66
11.1.1	Mestrado.....	66
11.2	Trocadores de calor assistidos pela tecnologia de termossifões	66

11.2.1	Mestrado.....	66
11.3	Trocadores de calor compactos e ultracompactos fabricados por soldagem por difusão	67
11.3.1	Mestrado.....	67
11.3.2	Doutorado.....	67
11.4	Destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões	67
11.4.1	Doutorado.....	67
11.5	Controle térmico de eletrônicos em veículos espaciais, automotores e aeronaves.....	67
11.5.1	Tecnologias para controle térmico de componentes eletrônicos.	67
11.5.2	Veículos espaciais – Microgravidade	67
11.5.3	Aeronaves.....	67
11.6	Veículos automotores	67
11.6.1	Doutorado.....	68
11.7	Equipamentos para recuperação de água em torre de resfriamento industriais.....	68
11.7.1	Mestrado.....	68
11.8	Alunos de Iniciação Científica.....	68
12	CONCLUSÃO	68

TECNOLOGIA DE TUBOS DE CALOR E/OU TERMOSSIFÕES APLICADA A EQUIPAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

HEAT PIPES AND THERMOSYPHON TECHNOLOGIES APPLIED TO HEAT TRANSFER EQUIPMENT

1 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta um memorial de minhas atividades acadêmicas, tendo em vista o processo de minha promoção para Professora Titular do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Primeiramente é apresentado um histórico de minha carreira, focando nas atividades de pesquisa e ensino que desenvolvi, desde a minha graduação. Apresenta também as perspectivas de trabalho e desenvolvimentos futuros. Observe-se que dados mais específicos serão fornecidos para os anos mais recentes, que tem maior relevância ao presente processo de promoção funcional.

2 BREVE HISTÓRICO DA MINHA CARREIRA DE PESQUISA

Em 1978, aos 17 anos, prestei vestibular para o curso de Engenharia Mecânica da Unicamp. Na época esta faculdade não seria a minha primeira opção, mas a Engenharia Civil da Unicamp na ocasião era sediada na cidade de Limeira e meu pai, muito conservador, não iria permitir que sua filha menor de idade fosse morar fora de casa, principalmente considerando o fato de que a família residia em Campinas, São Paulo. Mas eu não tinha grandes expectativas de passar pois, apesar de sempre ter sido boa aluna, não tinha feito cursinho, sem contar que o vestibular da Unicamp era muito concorrido e que amigos diversos tiveram que amargar até 3 anos de cursinho para ter o privilégio de estudar lá. Mas, surpresa, passei e bem classificada. Depois da festa, a realidade. Na matrícula descobri que era a única menina da classe, e pior, a primeira a sentar nas salas de aulas da Engenharia Mecânica em toda a existência do curso. Fazer o que? Encarar o desafio. E a Engenharia Civil? Talvez depois de formada e mais dona de minha vida, poderia pensar na alternativa de mais uma graduação. Foi exatamente neste contexto que surge a área de Ciências Térmicas em minha vida. Por volta do terceiro ano, uma vez que as disciplinas básicas já haviam sido vencidas, comecei a fazer disciplinas desta área como Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos, Transferência de Calor. Este conjunto de disciplinas era o “terror” dos alunos, mas eu tinha grande facilidade com elas e comecei a me destacar na turma. Mesmo que na época não houvesse um programa sólido em Iniciação Científica no país, convites para trabalhar em laboratórios surgiram. Meu primeiro contato com a tecnologia de “Tubos de Calor” foi com o Prof. Kamal Ismail, que na ocasião atuava, orientando alunos de pós-graduação, nesta linha de pesquisa. E a Engenharia Civil? Já não fazia o menor sentido! Havia me encontrado: queria ser pesquisadora e atuar na área de ciências térmicas.

Uma vez formada, em dezembro de 1982 estava cheia de confiança no futuro, havia vencido diversos desafios: tinha levado a cabo a minha graduação, tinha um dos melhores coeficientes de rendimento da turma, tinha sido a oradora da turma na formatura e tinha diversos convites de professores para seguir na pós-graduação. Porém, o Brasil atravessava uma das maiores crises econômicas, a famosa “crise do Petróleo”. Sem ofertas de empregos, muitos recorriam a pós-graduação e, assim, a concorrência para as poucas bolsas era grande. Eu tive o privilégio de poder organizar bem a minha vida, pois fui aceita no curso de pós-graduação em Ciências Espaciais do

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), onde pude unir o meu antigo fascínio pelo espaço com a área de ciências térmicas, pois fui trabalhar em pesquisa e desenvolvimento de subsistemas para controle térmico de satélites. Além disto, pude alcançar relativa independência financeira (recebi bolsa do CNPq) e, estar em São José dos Campos me permitiu organizar a minha vida pessoal, pois Sylvio, meu futuro marido, também trabalhava no INPE.

Em 1984 fui contratada como engenheira de desenvolvimento no INPE e em 1985 defendi o meu mestrado, no tema “Resistência Térmica de Contatos dos Satélites do Programa Espacial Brasileiro”. Foi apresentando o meu primeiro artigo em um congresso internacional em resfriamento de equipamentos eletrônicos que encontrei pela primeira vez com o meu orientador de doutorado, Prof. M.M.Yovanovich da Universidade de Waterloo, Canada. Em 1990 me inscrevi no programa de doutorado da Unicamp, sob a orientação do Prof. Luiz Fernando Milanez e em 1992 fui fazer parte de meu doutorado na Universidade de Waterloo, em um programa sanduíche, como bolsista CNPq (mantendo, porém, meu salário). Porém, as taxas que o CNPq pagava a Universidade de Waterloo, incluíam acesso às disciplinas e decidi também fazer as disciplinas em Waterloo. Assim, em dois anos, além de minha pesquisa de tese já adiantada, tinha as disciplinas necessárias a um doutorado pleno em Waterloo (note-se que sem aproveitamento das disciplinas já cursadas na Unicamp). Consegui uma mudança de programa de doutorado no CNPq de sanduíche para pleno. Com uma prorrogação de oito meses e mais dois meses acumulados de férias, que tinha direito no INPE, consegui obter o título de doutorado pleno em Waterloo em dois anos e dez meses, prazo considerado muito curto para os padrões da Universidade de Waterloo. Desenvolvi um modelo matemático para predição do comportamento térmico de juntas aparafusadas para aplicações espaciais.

Apesar de desenvolver meu doutorado no tema Resistência Térmica de Contatos, o trabalho desenvolvido por nossa equipe no INPE sempre nos remetia à importância da independência tecnológica do Brasil na área de tubos de calor e tecnologias afins, as quais seriam empregadas no controle térmico dos satélites brasileiros. Neste contexto surgiu o meu primeiro contato com o Prof. Sérgio Colle. Por volta de 1990, o INPE buscou desenvolver tecnologias de tubos de calor e para isto propôs, para as principais universidades brasileiras, parcerias. Dentre as universidades consultadas, a UFSC foi a escolhida por demonstrar real interesse na parceria e por ostentar excelência na área de pesquisas em ciências térmicas. Ainda em Waterloo, e a exemplo de outros funcionários do INPE, foi convidada pela UFSC, mais especificamente pelo Prof. Colle, a me transferir para a UFSC como engenheira do quadro de funcionários da UFSC. O objetivo era participar ativamente da montagem de um grupo forte de pesquisa na área de tubos de calor. Nesta altura já havia percebido que a universidade, com toda a sua liberdade de pensamento, seria o ambiente ideal para a minha atuação depois de meu doutorado. Assim, dei andamento ao processo de transferência do INPE para a UFSC e, como tudo parecia bem encaminhado, em 1995 quando terminei meu doutorado, retornei ao Brasil diretamente a Florianópolis. Porém, nem tudo correu como planejado, algumas leis mudaram, e não pude efetivar a transferência. Até 1999, consegui permanecer na UFSC às custas de projetos do CNPq e Finep, com bolsas do tipo DTI. A situação era ainda mais complicada porque o MEC não permitia a abertura de concursos há vários anos. Em 1999 o Departamento de Matemática abriu um concurso na área de Equações Diferenciais, para o qual me inscrevi e passei. Finalmente, o penoso processo de transferência do INPE para a UFSC estava finalizado. Hoje percebo que, para o bem de minha carreira, o cargo de professor concursado era muito melhor do que o de engenheiro, principalmente em uma universidade pública. Em 2002 fui transferida em um processo interno da UFSC para o Departamento de Engenharia Mecânica, onde permaneço até hoje.

3 O LABORATÓRIO DE TUBOS DE CALOR - LABTUCAL

O Lepten (Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia) basicamente é composto de três laboratórios associados: Laboratório Solar (Labsolar), Laboratório de Ebulição (Boiling) e Laboratório de Tubos de Calor (Labtucal). Em termos gerais, desenvolve pesquisas na área de ciências térmicas, em termodinâmica aplicada e em transferência de calor. O laboratório se constitui em uma unidade do departamento do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, com autonomia no que se refere à execução, à coordenação e à gestão de atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação.

A linha de pesquisas em tubos de calor teve sua origem na UFSC ainda dentro do Labsolar, a partir do primeiro contato entre INPE e UFSC visando o desenvolvimento de tecnologias de tubos de calor para controle térmico de equipamentos eletro/eletrônicos em satélites, no início da década de 1990. Por iniciativa do Prof. Colle, um convênio com a Universidade de Stuttgart foi estabelecido, e diversos alunos de doutorado foram enviados à Alemanha, resultando na defesa de diversas teses, em co-orientação com o Prof. Manfred Groll, na época um dos pesquisadores mundialmente mais ativos na área. Os primeiros equipamentos adquiridos no contexto de projetos envolvendo tubos de calor foram financiados pela então recém-criada Agência Espacial Brasileira (AEB), no projeto UNIESPAÇO. Alguns equipamentos foram também doados ao Labsolar pela Universidade de Stuttgart. O Prof. Colle era o coordenador do projeto, embora eu, recém-chegada do Canadá, fui a executora. Note-se que este foi o único projeto em P&D em tubos de calor e termossifões no qual não fui a coordenadora das atividades. Todos os demais projetos aqui citados foram propostos, assinados e coordenados por mim.

Deve-se notar que, infelizmente, a Agência Espacial Brasileira nasceu em um contexto mundial em que a Guerra Fria já havia terminado e, assim, o fim da “corrida espacial” havia sido “decretado”. Com isto, havia se extinguido a principal motivação das grandes nações em dominar o espaço. Observou-se, nesta ocasião, uma acentuada redução de recursos financeiros para a área espacial, o que resultou no esvaziamento de diversos grupos de pesquisa em todo o planeta. O Brasil não ficou imune e as expectativas de uma AEB forte e atuante não se concretizaram. Tínhamos alguns equipamentos importantes, tínhamos alunos, conhecimento e vontade de trabalhar, mas por outro lado, tínhamos nos preparado para um volume de projetos que não vieram. Foi neste contexto, por volta de 1998, que a Petrobrás surgiu.

3.1 A Importância da Petrobrás no Labtucal

O Eng. Henrique Landa, na época do Cenpes, Petrobrás, havia desenvolvido um trabalho teórico em termossifões como sua dissertação de mestrado no Rio de Janeiro, na década de 1980. Em um encontro sobre energia solar na UFSC, descobriu que tínhamos um grupo de pesquisas em tubos de calor e foi nos visitar. Acompanhou um trabalho conceitual experimental de um aluno de mestrado sobre a aplicação de termossifões em fornos de cocção de pães. Se apaixonou pelo projeto e retornou ao Rio de Janeiro com a ideia de propor à Petrobras que financiasse um projeto, cujo produto final seria um forno comercial de cocção de pães adaptado com termossifões. Mas porque a Petrobrás se interessaria por fornos de padaria? Na década de 1990, foi construído o gasoduto Brasil-Bolívia e um acordo entre Petrobrás e o governo boliviano garantia a compra de um volume fixo de gás natural, independentemente de ser ou não utilizado. O Brasil, que pouco gás natural produzia, praticamente não incluía o gás natural em sua matriz energética. Visando incrementar o consumo do gás já adquirido na indústria nacional, a Petrobras criou toda uma linha de financiamento de pesquisas, geralmente geridas pelo CENPES, visando incentivar o uso de Gás

Natural (GN). Padaria era um dos setores que mais consumiam GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e desta forma, apresentava um grande potencial para o consumo de GN. Resolvia-se dois problemas: melhorava-se a performance térmica de fornos de padaria e adaptava-se estes equipamentos para o uso do GN. Deste projeto surgiria a minha primeira patente de um equipamento assistido por tecnologia de tubos de calor e termossifões, em co-titularidade UFSC-Petrobrás.

Foi na Rússia, no ano 2002, a bordo de um navio de turismo navegando sobre o Rio Volga, onde acontecia a 12th IHPC (International Heat Pipe Conference), que, assistindo a uma palestra de uma professora chinesa (Dra. Hong Zhang, que 4 anos depois passaria 3 meses trabalhando conosco) sobre aplicações industriais de tecnologias envolvendo termossifões, mais especificamente trocadores de calor, o Eng. Landa nos desafiou a projetar e fabricar trocadores de calor assistidos por termossifões para diversos usos em diversas unidades da Petrobrás, desde refinarias a plataformas de exploração de petróleo. Menos de um ano depois desta conferência assinávamos o nosso primeiro projeto de grande porte com a Petrobrás, onde, num prazo de dois anos, projetamos, fabricamos e instalamos um trocador PAF (Pré-Aquecedor de Forno) na unidade de refino do Xisto, em São Mateus do Sul, Paraná. Vários outros projetos vieram na sequência nas linhas de fornos (com o financiamento da FINEP estudamos a aplicação de tubos de calor em fornos de esteira para fabricação de biscoitos, secagem de ervas, fornos de pizzas, etc) e trocadores de calor (novas aplicações foram estudadas, com novas configurações e tecnologias). Neste contexto, ainda nas instalações originais do nosso Labsolar (Bloco B da Engenharia Mecânica) obtive da Petrobrás recursos para a construção de dois andares do Bloco A3 da Engenharia Mecânica, onde pudemos abrigar, com maior conforto, professores, secretárias e alunos de doutorado, mestrado e IC, envolvidos com P&D na área de tubos de calor e termossifões.

Fomos convidados a organizar a 14th IHPC, em 2007, em Florianópolis, a qual aconteceria pela primeira vez no hemisfério sul do planeta. Nesta ocasião passei a participar, como membro permanente, do principal comitê internacional de tubos de calor, cuja função principal é organizar tais conferências e que reúne os maiores pesquisadores desta linha de pesquisa no mundo. Não é por menos que a série de conferências IHPC é o maior congresso, a nível mundial, neste tema.

Neste contexto, a expressão “solar” contida no nome do laboratório causava confusão no entendimento do público a respeito das atividades de pesquisa do grupo. Desta forma, o Prof. Colle decidiu criar uma estrutura mais abrangente, criando o Lepten, que abriga três laboratórios (como já mencionado anteriormente), surgindo, então, o Labtucal (Laboratório de Tubos de Calor).

Neste contexto, as novas tecnologias em desenvolvimento, com os novos equipamentos e máquinas ferramentas que foram sendo adquiridos, exigiam instalações laboratoriais maiores, capazes de abrigar grandes bancadas de testes, oficinas para fabricação de protótipos, assim como equipamentos de pesquisa de maior porte. Em 2011 obtivemos da Petrobrás recursos para a construção, no campus Trindade de Florianópolis, de um prédio de dois andares com área de cerca 900 m², dedicado ao desenvolvimento de pesquisas em tubos de calor e termossifões, o qual foi inaugurado em 2013. Em 2015 o Prof. Colle recebeu recursos para a construção dos dois andares superiores que completam o prédio, cuja inauguração está prevista para meados de 2017. O prédio completo abrigará todas as linhas de pesquisa que estão dentro do “chapéu” Lepten.

Tendo em vista o sucesso destas linhas de pesquisa dentro da Petrobrás, novas aplicações da tecnologia foram surgindo para solução de diversos problemas dentro da empresa. Em 2008 iniciamos projetos de pesquisa com o grupo de eficiência energética visando a recuperação parcial de água em torres de resfriamento. Note-se que o volume da água evaporada nestas torres em refinarias como a de Paulínea (REPLAN) seria suficiente para abastecer uma cidade maior que a cidade de Paulínea e imediações, onde a refinaria se encontra. Soluções passivas (sem gasto de energia) empregando termossifões, cujos evaporadores estão fisicamente associados a meios porosos, permitem a recuperação de até 30% desta água (Projeto Hidriter). Outro projeto que está sendo desenvolvido em conjunto com um grupo da Engenharia Química e que se iniciou em 2011, consiste do desenvolvimento de um destilador de petróleo compacto para plataformas, que emprega

destilação pelicular, e onde o calor necessário ao processo de destilação é fornecido, com maior eficiência, através de termossifões.

Mais recentemente, em 2014, o Labtucal assinou um projeto de desenvolvimento de tecnologias e processos de fabricação de trocadores de calor compactos, visando o seu emprego em plataformas de petróleo. Este projeto difere dos projetos até então desenvolvidos para a Petrobrás, uma vez que tecnologias de tubos de calor não são empregadas. Foram importados do exterior equipamentos altamente tecnológicos, como um forno de soldagem por difusão, único na América Latina, capaz de soldar, por difusão, blocos de chapas de até 60X60X80 cm³ de volume, a temperaturas de até 1700° C, sujeitos a pressões de até 250 toneladas. No momento presente, está sendo instalada no Labtucal, uma máquina de corte de chapas com jato de água, recém adquirida. Estes equipamentos abrem um grande leque de possibilidades de P&D em diversas áreas, envolvendo metalurgia e ciência dos materiais, incluindo o desenvolvimento de novas configurações de tecnologias de tubos de calor compactos.

Deve-se notar que, no contexto de todos estes fatos, dissertações de mestrado e teses de doutorado foram defendidas, artigos publicados e patentes registradas, conforme pode-se verificar no memorial MDA e no meu Currículo Lattes.

3.2 Pesquisas no Espaço

Note-se que, apesar do fato de ter sido a Petrobrás a grande fomentadora do Labtucal, este jamais abandonou as suas origens na pesquisa espacial, mantendo linhas voltadas ao desenvolvimento de sistemas de controle térmico de veículos espaciais. O Labtucal participou de todas as campanhas de testes em ambiente de microgravidade proporcionadas pela AEB, incluindo testes realizados na Estação Espacial Internacional (ISS) pelo Astronauta Brasileiro Marcos Pontes em 2008. No contexto destes estudos experimentais, novas tecnologias de tubos de calor foram desenvolvidas e qualificadas para uso em ambiente de microgravidade como em satélites e veículos espaciais. Uma dissertação de mestrado neste tema recebeu o prêmio ABCM – Embraer de melhor mestrado no Brasil em 2007. O Labtucal mantém hoje convênios com universidades italianas (Bergamo e Pisa) e inglesa (Brighton) onde são montados experimentos para microgravidade para testes de uma nova tecnologia de tubos de calor pulsantes (Pulsating Heat Pipes – PHP).

3.3 Outras linhas de pesquisa

Uma aplicação clássica de tubos de calor é no resfriamento de componentes eletrônicos em notebooks e laptops, sendo também aplicados em computadores desktops que exijam alta performance. O Labtucal desenvolveu, no contexto de uma tese de doutorado, e patenteou em 2009, uma tecnologia de fabricação de tubos de calor formados por placas planas e fios roliços soldados por difusão. Deste processo resultam equipamentos eficientes, flexíveis e de baixo custo de fabricação. Um protótipo do dispositivo foi fabricado e instalado em um laptop, o qual foi utilizado por diversos anos, demonstrando desempenho melhor do que os tubos normalmente empregados nestes equipamentos.

Tendo em vista o sucesso no desenvolvimento destes dispositivos de controle de temperatura, a Embraer, de 2014 a 2016, financiou um projeto visando o desenvolvimento de tecnologia para o controle térmico de equipamentos eletro/eletrônicos a bordo de aeronaves. Note-se que as aeronaves modernas estão cada vez mais eletrônicas, sejam nos sistemas empregados para a sua dirigibilidade, seja em equipamentos quando são dedicadas a missões especiais (militares, meteorológicas, etc), seja para o entretenimento de passageiros (televisões, vídeos, internet, etc). Normalmente, a refrigeração destes equipamentos é feita por sistema de ar condicionado, o qual é energizado pelos

motores da aeronave, consumindo uma parcela razoável da potência do motor do avião. Porém, aeronaves em cruzeiro estão em ambiente externo de frio severo, que poderia ser utilizado como sumidouro do calor a ser dissipado. Foram desenvolvidos e patenteados dois equipamentos para uso em aeronaves: um termossifão em circuito que utiliza tanto a face externa da fuselagem como dutos de ar condicionado como sumidouros de calor e tubos de calor em circuito, responsáveis por transferir o calor dos componentes eletrônicos aos evaporadores dos termossifões.

Por outro lado, a potência que um caminhão é capaz de desenvolver depende diretamente da capacidade de refrigeração dos seus motores. Os radiadores operam em seu limite e não comportam carga extra de calor. Em um projeto financiado pela Volvo do Brasil em 2014 a 2105, verificou-se a possibilidade do uso de termossifões para melhorar o desempenho dos radiadores. O uso de termossifões em circuito, composto de um evaporador, fabricado pela tecnologia de trocadores de calor compactos, e de um ou mais condensadores, que, a exemplo das aeronaves, podem estar espalhados sobre as superfícies externas da cabine do caminhão, certamente contribuirão para uma melhor performance dos caminhões.

Em 2015 e 2016, o Labtucal projetou e fabricou, para a empresa sueca Cleanergy, fabricante de equipamentos para a geração de energia em locais remotos a partir de fontes limpas (biomassa e solar), um trocador de calor com termossifões para operar em alta temperatura, cujo fluido de trabalho é sódio líquido. O equipamento foi testado com sucesso na Suécia. Este projeto demonstra a inserção internacional do Labtucal.

A partir de 2010, o Labtucal mantém formal e informalmente uma parceria com a empresa Baldo, que comercializa erva mate. Trata-se de uma empresa de grande qualidade e projeção internacional, fornecendo 60% da erva mate consumida no Uruguai. Porém, o processo de tratamento da erva, mais especificamente a sua secagem, com o uso direto de ar quente provindo da queima de lenha, contamina o produto e impede que este conquiste mercados mais exigentes como a Europa e Estados Unidos. O Labtucal desenvolve equipamentos de secagem assistidos por termossifões, que permitem a secagem indireta do produto, resultando em um produto descontaminado, de melhor qualidade.

Para dar apoio as linhas de pesquisa descritas, o Labtucal mantém uma longa parceria com o Prof. Aloísio Klein, do Laboratório de Materiais, que desenvolve materiais porosos especiais a serem usados em tubos de calor e em circuitos de bombas capilares. Neste contexto já foram produzidas teses de doutorado, dissertações de mestrado, trabalho de iniciação científica. Há também uma forte cooperação no desenvolvimento de processos de fabricação de equipamentos a partir de processos de soldagem por difusão.

3.4 Infraestrutura de pesquisa

Por volta de 2005, foi construído com recursos da Petrobrás, sob minha supervisão, os dois últimos andares do Bloco A3 da Engenharia Mecânica (cerca de 600 m²), para abrigar escritórios, salas de estudos (para estudantes de mestrado e doutorado) e laboratórios computacionais. Em março de 2011 foi inaugurado um prédio com cerca de 900 m², construído com recursos da Petrobrás, também sob minha supervisão, que, até o momento, abriga pesquisas em tubos de calor e termossifões (ver Fig. 1). Este prédio recebeu mais recursos da Petrobrás em 2015, através de projeto coordenado pelo Prof. Sérgio Colle, de forma que estão sendo construídos mais três andares e área de testes de coletores solares e sistemas de geração de energia termoassistidas, na laje de cobertura do prédio, num total de 1200 m² de área totalmente dedicada a experimentos. A Fig. 1 apresenta uma fotografia do prédio inaugurado em 2011 e da obra dos três andares superiores, que está em seu estágio final.

O Labtucal conta com infraestrutura completa para o desenvolvimento das suas linhas de pesquisa. Destaca-se uma oficina contendo torno, fresa, furadeiras, serras, dobradeiras, etc.

Recentemente foi adquirida uma máquina de usinagem com corte de jato de água, capaz de cortar chapas grandes (2 x 2 m) de diversos materiais, incluindo o aço. Desta forma, o Labtucal é capaz de fabricar grande parte das bancadas experimentais e dos equipamentos que desenvolve.

Em 2013 foi adquirido um forno de grande porte para a soldagem por difusão de chapas de aço (ou outros materiais) empilhadas, perfazendo um volume de até 60X60X80 cm. O forno, que é capaz de atingir até 1700° C de temperatura e que possui um sistema capaz de pressurizar o conjunto de chapas até 250 toneladas, tem atmosfera controlada (alto vácuo ou atmosfera inerte, com o uso de nitrogênio, por exemplo). Este equipamento, adquirido da Alemanha, é único na América Latina e é capaz de fabricar equipamentos como trocadores de calor compactos por soldagem por difusão. Em 2015 foi adquirido, dentro de um projeto com a empresa sueca Cleanergy, um forno de aquecimento por indução, capaz de fornecer altas taxas de energia térmica em altas temperaturas (superiores a 1500° C).

O Labtucal também conta com uma infraestrutura completa de testes incluindo diversos banhos térmicos de temperatura controlada, diversos sistemas de aquisição de dados, fontes elétricas, rede computacional bastante completa (incluindo um cluster), etc., assim como estoque de material de consumo (termopares, sensores de pressão, medidores de força, fitas de alumínio, chapas, tarugos, isolantes térmicos, etc.)



Figura 1: Fotografia do prédio que abriga o Labtucal (Laboratório de Tubos de Calor)

3.5 Equipe de trabalho

O Labtucal conta com uma equipe de trabalho formada por cerca de 40 pessoas incluindo:

- 4 Professores da UFSC:
 - Prof. Fernando Henrique Milanese, Enga. de Energia, Campus UFSC Araranguá.
 - Prof. Kleber Paiva, Enga. Aeroespacial, Campus UFSC Joinville.
 - Prof. Dr. Alexandre Kupka da Silva (EMC, UFSC Campus Florianópolis)
 - Prof. Marcus Vinícius Mortean, Engs. Aeroespacial, UFSC Joinville.
 - Prof. Jorge Goes Oliveira, Enga. de Locomoção, UFSC Joinville.
 - Obs.: com exceção do Prof. Oliveira, todos os professores foram meus orientados (os três primeiros de doutorado, o quarto de mestrado).

- Dr. Sergio Colle (Prof. UFSC) – colaborador eventual.
- Dr. Júlio C. Passos (Prof. UFSC) – colaborador eventual.
- Engenheiros contratados por recursos de projetos pelas fundações da UFSC:
 - Enga. Dra. Kênia Milanez
 - Eng. Luiz Domingos
 - Eng. Eng. Luis Hernan Rodriguez Cisterna
 - Eng. Vitor Rodrigues Miranda (Contrato CLT, recursos de projetos)

- Técnica administrativa (bolsista)
 - Ana Roberta Gomes

- Técnicos (contratados CLT, pelas fundações, recursos de projetos)
 - Tec. Leandro da Silva
 - Tec. Mec. Charles Nuernberg da Silva

- Alunos de doutorado
 - Eng. MsC. Juan Pablo Mera Florez
 - Eng. MsC. Estevan Grosch Tavares
 - Eng. MsC. Luis Alonso Betancur Arboleda
 - Eng. MsC. Nelson Yuraco Londono Pabon
 - Eng. Ms.C. Marcus Vinicius Volponi Mortean
 - Eng. Ms.C. Luis Hernan Rodriguez Cisterna
 - Eng. Ms.C. Andres Paul Sarmiento Cajamarca
 - Eng. Ms.C. Ana Paula Braga Pires

- Bolsista de projetos
 - Pos-doutorado Eng. Materiais Gustavo G. N. Vierdieri
 - Estagiário Técnico
 - Eng. MsC. Leonardo Kessler Slongo

- Alunos de mestrado
 - Eng. Cassiano Tecchio
 - Eng. Felipe Rodrigues Castro
 - Eng. Vitor Rodrigues Miranda
 - Eng. Grégori Rosinski
 - Eng. Mauricio Guimarães Reynaldo
 - Eng. Pedro Lando Bellani
 - Eng. Arthur Facin
 - Eng. Gabriela Coelho Vieira
 - Eng. Guilherme Paul Jaenisch

- Alunos de Iniciação Científica
 - Gabriel Serafin Couto Vieira
 - Gonçalo Vitto.
 - Gerson Leandro Mota Santos.
 - Jânio Grosskopf.
 - Luisa Bastos Mateus.
 - Maria Clara Kauduinski Cardoso.
 - Maria Eduarda Chiamulera.
 - Maria Julia Ioshiura.
 - Marcos Vicente dos Reis Junior.

- Nayana Catóia Dias Muller.
- Pedro Von Hohendorff Seger.
- Victor Matvienko.

3.6 Disciplinas e palestras

Ofereço regularmente três disciplinas para a Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, área de Ciências Térmicas, onde duas são de matemática avançada: Métodos Matemáticos para a Solução de Equações Diferenciais Ordinárias (EMC 410078) e Métodos Matemáticos para a Solução de Equações Diferenciais Parciais (EMC 410050) e uma sobre Tubos de Calor e Termossifões. Ofereço também, regularmente, disciplinas de Transferência de Calor I (TRANSCAL I) para a graduação em Engenharia Mecânica e de Modelagem Matemática para a graduação de Engenharia de Materiais. Mais especificamente, nos anos de 2013 e 2014, ministrei as disciplinas:

Graduação:

- EMC 5417 Transmissão de Calor , períodos: 2013.1, 2013.2, 2014.1 e 2014.2.
- EMC 5729 Modelagem Matemática, períodos: 2013.1, 2013.3, 2014.1, 2014.3.
- EMC 5416 Tubos de Calor e Termossifões, período: 2013.2.

Pós-Graduação:

- EMC 6004 Métodos Matemáticos em Engenharia e Ciências Térmicas, período: 2013.1.
- EMC 410078 Métodos Matemáticos para Solução de Equações Diferenciais Ordinárias, período: 2014.2.
- EMC 410050 Métodos Matemáticos para Solução de Equações Diferenciais Parciais, período: 2014.3.
- EMC 410099 Tubos de Calor e Termossifões, período: 2014.3

Note-se que a UFSC implementou em 2015 um processo de avaliação semestral de professores, que tem recebido adesão cada vez maior por parte dos alunos. Tenho recebido avaliações bastante positivas conforme pode ser verificado no endereço: <http://cpa.ufsc.br>.

Tenho também sido convidada para proferir diversas palestras em diversos eventos tanto no Brasil como no exterior. São os eventos os últimos quatro anos:

- 9ª Semana Acadêmica de Engenharia de materiais da UFSC. Palestra: “A Importância dos Materiais no Desenvolvimento de Tubos de Calor e Termossifões”, UFSC, 2016.
- 8ª Semana Acadêmica de Engenharia de materiais da UFSC. Palestra: “A participação da Mulher na Inovação Tecnológica”, UFSC, 2015.

- 15ª Semana Acadêmica de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC. Palestra: “A participação da Mulher na Inovação Tecnológica”, UFSC, 2015.
- CREA - Fórum Equidade de Gênero - 72ª Semana Oficial da Engenharia e da Agronomia. Palestra: “A participação da Mulher na Inovação Tecnológica”, Fortaleza. 2015.
- TEDx Talks 2014. Evento organizado mundial pela UFSC. Palestra: “Dos tubos de calor ao Espaço”, Marcia Mantelli at TEDxUFSC.
- Conference on Thermophysics in Microgravity. Lyon, França. Palestra: “Microgravity Tests of Several Heat Pipe Porous Media Technologies in LABTUCAL”, 2014.
- Curso DIT/PROPEAQ para edital Capes/CNPq Jovens Talentos. Palestra: “Case - Experiência em Parceria e Transferência de Tecnologia”. UFSC, 2013.
- I Semana Estadual de Energia - Inovação, Competitividade e Sustentabilidade. Palestra: “Um Caso Bem Sucedido da Interação Indústria-Universidade na Área de Energia”. FIESC, Florianópolis, 2013.
- Seminário de Investigación da Área Curricular Ingeniería Química e Ingeniería de Petróleos. Palestra: “Technologies of Heat Pipes and Thermosyphons”, Universidade de Medellin, Colombia, 2013.
- 2º Fórum Brasil-Coreia do Sul em Ciência, Tecnologia e Inovação. Palestra: “New Technologies for Thermal Dissipation”, Curitiba, 2012. (Encontro)

3.7 Prêmios

Como reconhecimento por parte da sociedade por minha contribuição para a ciência e para a formação de pessoal, tenho sido agraciada com diversos prêmios, sendo os mais importantes de minha carreira listados a seguir.

- 2015 - Mulheres de Destaque na Engenharia, Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CREA), entregue durante o II Fórum de Equidade de Gêneros dentro da Semana Oficial de Engenharia e Agronomia, Fortaleza, CE, 15 a 18 de setembro de 2015, na presença de cerca de 3000 pessoas.
- 2012 - Prêmio Claudia 2012, categoria CIÊNCIAS - Organizado pela Editora Abril, pela Revista Cláudia (WWW.PREMIOCLAUDIA.ABRIL.COM.BR). O prêmio é entregue a uma única pesquisadora no Brasil por ano, que atue em qualquer área de pesquisa. Sendo um prêmio a nível nacional, as candidaturas são feitas a partir de indicação voluntária por pares, no caso, de membros da sociedade científica nacional. Reportagens sobre o histórico e atuação das candidatas são veiculadas em diversas revistas nacionais de grande circulação, incluindo a própria Revista Cláudia e a Revista Veja, nos meses que antecedem e no mês posterior à cerimônia de premiação. No caso da Revista Claudia, foram publicados artigos sobre o meu trabalho de pesquisa em três edições mensais sucessivas.

3.8 Participação em comitês e como editora de revistas

Atuo intensivamente em comitês internacionais, principalmente relacionados com a área de tubos de calor e termossifões, conforme apresentado a seguir.

- Membro do Comitê Organizador de Conferências Internacionais de Tubos de Calor (International Heat Pipe Conferences).
- Membro do Comitê Organizador de Simpósios Internacionais de Tubos de Calor (International Heat Pipe Symposium).
- Membro do Comitê Organizador do Seminário Internacional de Tubos de Calor, Bombas de Calor, Refrigeradores e Fontes de Potência (International Seminar on Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators and Power Sources).
- Membro Senior do AIAA (American Institute for Astronautics and Aeronautics), desde 2001.
- Membro do Comitê de Termofísica da AIAA - American Institute for Astronautics and Aeronautics, desde 1996.
- Editora chefe do periódico internacional: “Heat Pipe Science and Technology, an International Journal”, Beggel House, USA, desde 2010.

Sou do corpo editorial dos periódicos internacionais:

- Energy Technology & Policy, desde 2014.
- AIAA Journal of Thermophysics and Heat Transfer, a partir de janeiro de 2017.

E do periódico nacional:

- Journal of Aerospace, Technology and Management, desde 2010.

Além disto, sou revisora dos seguintes periódicos internacionais, todos classificados como Qualis A (CNPq):

- International Journal of Thermal Sciences, desde 2008.
- Journal of Thermophysics and Heat Transfer, desde 2009.
- Int. Journal of Microscale and Nanoseale Thermal and Fluid Transport Phenom, desde 2010.
- Journal of Aircraft (Print), desde 2008.
- Journal of Heat Transfer, desde 2010.
- International Journal of Heat and Mass Transfer, desde 2010.
- Journal of Aerospace Technology and Management, desde 2008.

- Heat Transfer Engineering, desde 2009.
- Journal of Electronic Packaging, desde 2011.
- Applied Thermal Engineering, desde 2011.
- Heat Pipe Science and Technology, An International Journal, desde 2011.
- Energy, desde 2013.
- Acta Astronautica, desde 2013.
- Experimental Thermal and Fluid Science, desde 2014.
- Energy Conversion and Management, desde 2015.

Também reviso artigos do periódico:

- Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, desde 2013.

3.9 Empresa “Start Up” nascida no Labtucal

No momento estou auxiliando um grupo de alunos e ex-alunos a desenvolver uma empresa para projeto e fabricação de equipamentos assistidos por tubos de calor e tecnologias afins. Esta empresa está encubada no Centro Empresarial para Laboração de Tecnologias Avançadas (CELTA, incubadora da Fundação CERTI situada em Florianópolis, SC) e no momento, desenvolve secadores de biomassa (erva mate, plantas medicinais, frutas, tomates, etc.) assim como trocadores de calor compactos e/ou assistidos por tecnologias de termossifões. Esta empresa se inscreveu no programa Sinapse da Inovação (Fundação CERTI), tendo sido selecionada e recebido recursos. Na verdade, ajudar na formação e sobrevivência de uma empresa de tecnologia tem representado o maior desafio de minha carreira neste momento, uma vez que não tenho experiência nesta área.

4 DESCRIÇÃO GERAL DAS LINHAS DE PESQUISA

Neste capítulo serão apresentadas as linhas de pesquisa desenvolvidas no Labtucal. Primeiramente serão descritos sucintamente os princípios físicos de operação de tubos de calor e tecnologias correlatas. Em seguida são descritos os principais aspectos das linhas de pesquisa desenvolvidas sob minha orientação.

4.1 O Que são Tubos de Calor e Termossifões?

Tubos de calor e termossifões são dispositivos capazes de transportar grandes taxas de calor através de consideráveis distâncias, quando submetidos às pequenas diferenças de temperatura. Esta característica, aliada à sua simplicidade construtiva, tem motivado a sua utilização em diversas aplicações. Termossifões podem ser basicamente descritos como um tubo selado nas extremidades, previamente limpo, evacuado e carregado com certa quantidade de fluido de trabalho. O fluido de trabalho é determinado em função principalmente do nível de temperatura de operação, podendo-se citar, na ordem de baixas para altas temperaturas: nitrogênio líquido, freon, amônia, água, alcools, naftalenos, mercúrio e sódio, dentre outros. Os tubos de calor e termossifões podem ser divididos em três regiões distintas: evaporador, onde o calor é aplicado e o fluido se vaporiza, seção adiabática, região onde teoricamente não ocorre transferência de calor, e o condensador, onde o calor é rejeitado e o vapor, formado no evaporador, se condensa (ver Fig. 2). Nos tubos de calor, o retorno do condensado do condensador para o evaporador se dá por capilaridade, por um meio poroso que reveste a superfície interna do tubo. Os termossifões distinguem-se dos tubos de calor pela inexistência da estrutura capilar. Nos termossifões, o fluido condensado retorna ao evaporador pelo efeito da gravidade, escoando pela parede interna do tubo, devido à tensão superficial entre fluido e parede do tubo. Com isto, espera-se que o melhor desempenho de termossifões seja alcançado em posições próximas às verticais. As Figs. 2 e 3 apresentam esquemas de funcionamento de tubos de calor e termossifões, respectivamente.

Já os termossifões em circuito, ou “loop thermosyphons” são dispositivos bastante similares aos termossifões verticais, porém os evaporadores e os condensadores estão situados em posições diferentes no circuito. Estes elementos são conectados por tubos, por onde circulam apenas líquido na forma de condensado ou de vapor, não ocorrendo escoamento em contra corrente, como acontece em termossifões tradicionais. Assim estes devem apresentar melhor performance, além de conferir maior flexibilidade geométrica ao dispositivo. A Fig. 4 mostra um esquema de funcionamento de termossifões em circuito, onde evaporador e condensador se encontram na posição vertical para permitir a ação da gravidade. Já os circuitos de bombas capilares (**Capillary Pumped Loops – CPLs**) ou os tubos de calor em circuito (**Loop Heat Pipes – LHP**) são semelhantes aos termossifões em circuito, porém o deslocamento dos fluidos de trabalho ao longo do circuito ocorre por efeitos capilares, a partir de meios porosos concentrados no evaporador (estes evaporadores também são conhecidos como bombas capilares). A Fig. 5 mostra um esquema de funcionamento de um LHP.

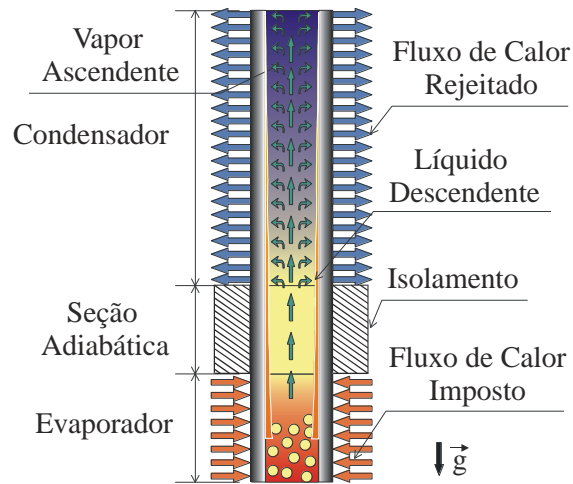


Figura 2: Princípios físicos de funcionamento de um termostifão.

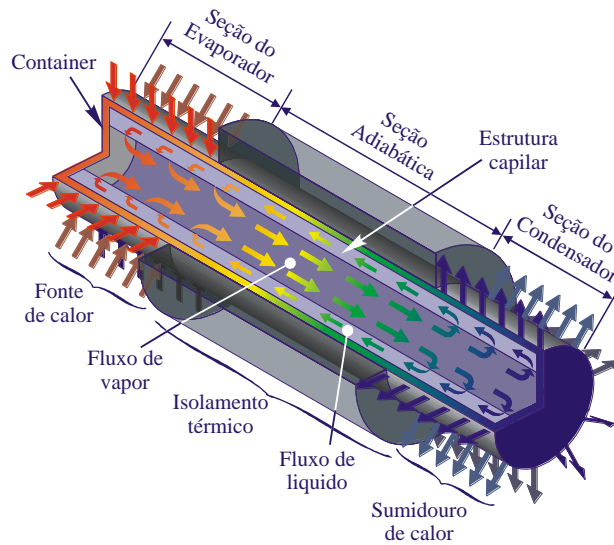


Figura 3: Princípios físicos de funcionamento de um tubo de calor

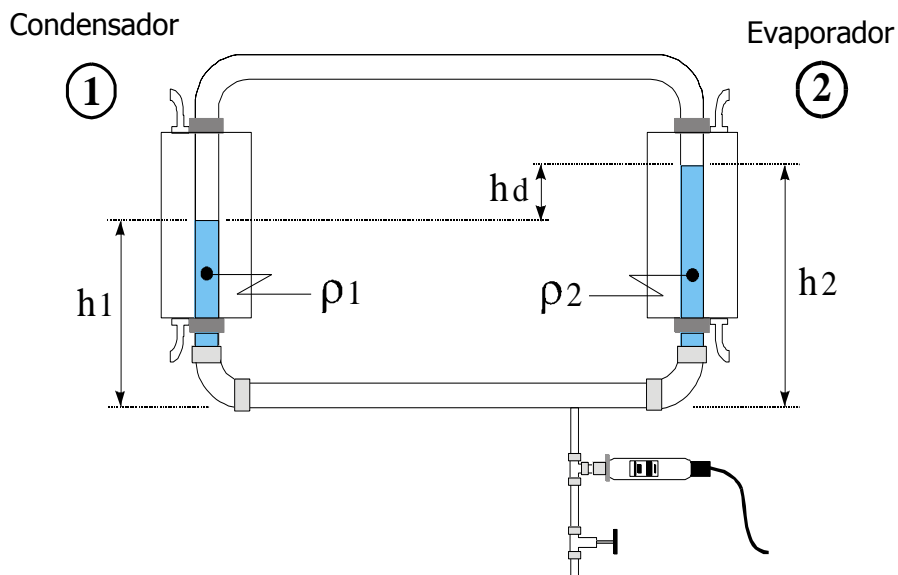


Figura 4: Esquema de um termostifão em circuito ("loop thermosyphon").

4.1.1 Aspectos históricos

As primeiras patentes relacionadas à termossifões foram registradas por A. M. Perkins e J. Perkins, em meados de 1800. O equipamento patenteado consistia de um aquecedor de água, onde o transporte de calor, de uma fornalha a um tanque de água, se dava através do fluido contido internamente a um tubo em circuito fechado, o qual operava com mudança de fase ou apenas na fase líquida. A Fig. 6 ilustra este equipamento. Ainda neste século, Perkins também registrou uma patente de um forno de cocção de pães com tecnologia de termossifões, conhecido como forno Perkins, conforme ilustra a Fig. 7. É interessante notar que ainda hoje, pelo menos no Brasil, vários destes fornos ainda estão em operação, apresentando ainda grande performance.

Apesar de concebidos em meados do século passado, tecnologia de tubos de calor e afins foram deixadas para segundo plano por várias décadas, até o evento da corrida espacial, resultante da guerra fria. Tubos de calor foram então desenvolvidos para o controle de temperatura de componentes eletrônicos em veículos espaciais. Países da Europa, da Ásia, a Rússia e os Estados Unidos são hoje detentores de tecnologia avançada para aplicação em componentes eletrônicos tanto em ambiente espacial quanto de computadores e afins. Porém, a aplicação de tubos de calor e termossifões para equipamentos industriais é ainda incipiente em todo o mundo, sendo que a China é o país de vanguarda nesta área. O Brasil, mais especificamente o Labucal desponta neste cenário, pois desenvolve um robusto programa envolvendo projeto, construção e instalação de equipamentos, principalmente para a indústria petroquímica. Visitas técnicas realizadas por membros no Labucal e engenheiros da Petrobrás às instalações da indústria petroquímica na China não deixaram dúvidas sobre a viabilidade técnica e econômica de dispositivos que utilizam tubos de calor, tais como trocadores de calor e fornos em geral.



Figura 5: Esquema de um tubo de calor em circuito.

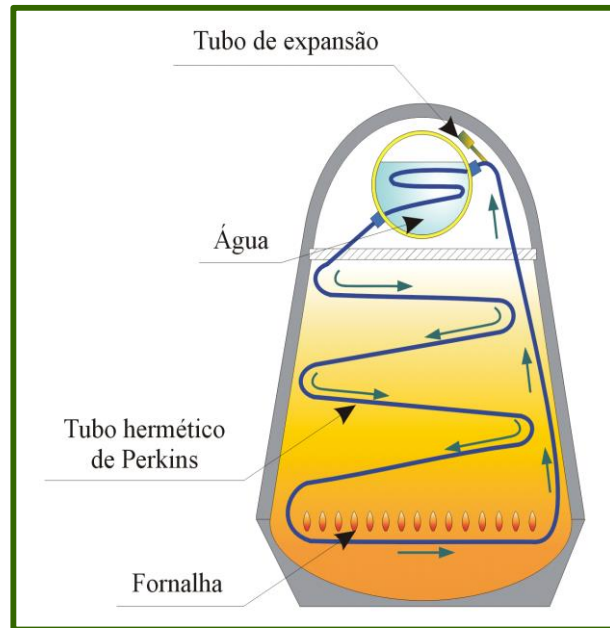


Figura 6: Desenho esquemático de um aquecedor de água do tipo Perkins

Basicamente, um tubo de calor é fabricado a partir de três componentes principais: o invólucro, que em muitos casos é um tubo oco, feito de metal, vidro ou cerâmica; uma estrutura porosa, construída a partir de fibra de vidro corrugada, pós metálicos sinterizados, telas (metálicas ou de fibra de vidro) ou ranhuras (sulcos de pequena dimensão) presentes na camada interna dos tubos; e fluido de trabalho, que pode variar de hélio ou nitrogênio líquido, para operar em baixas temperaturas, até metais líquidos (mercúrio, sódio, potássio, lítio) para operar em altas temperaturas, passando pela água, para temperaturas intermediárias. Estes três elementos são muito importantes e devem ser mecânica e quimicamente compatíveis entre si.

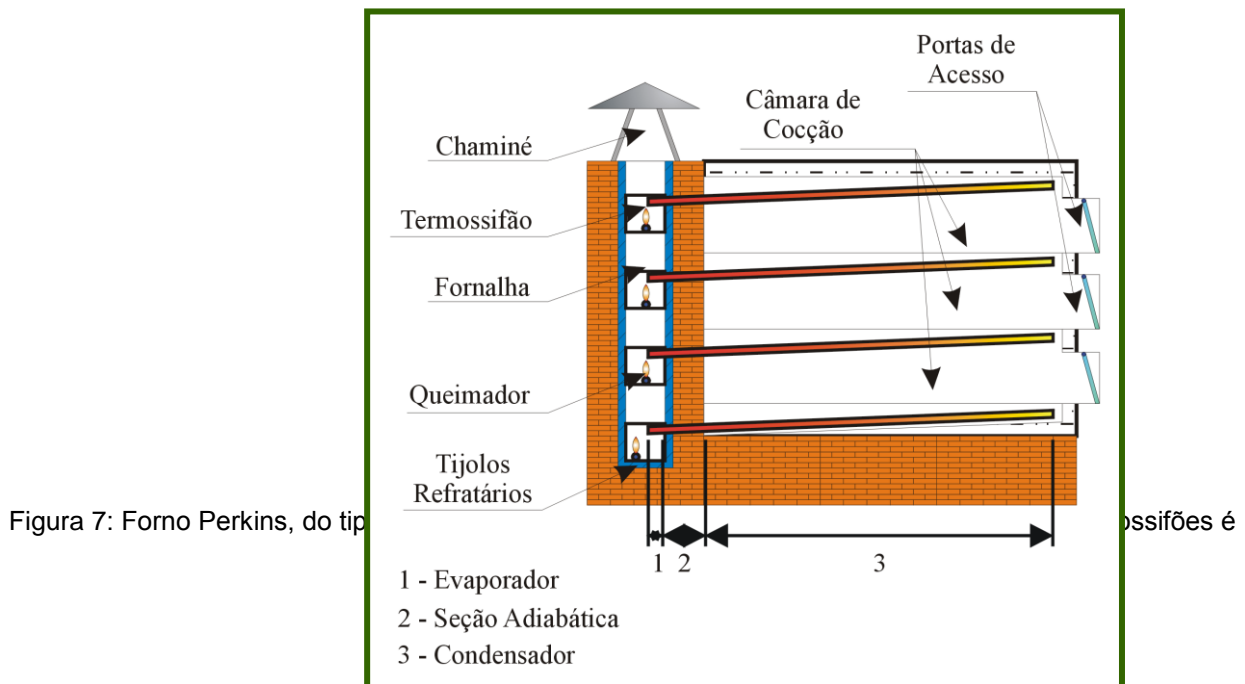


Figura 7: Forno Perkins, do tipo

ossifões é

5 DESCRIÇÃO TÉCNICA DAS LINHAS DE PESQUISA

Com o desenvolvimento econômico, a demanda de energia no Brasil tem crescido em taxas maiores do que a sua oferta. É de conhecimento geral que o país se aproxima rapidamente de um colapso energético, caso medidas emergenciais não forem tomadas. Dentre estas medidas, devem ser incluídas as iniciativas de conservação e uso racional dos recursos energéticos disponíveis. De uma certa forma, o governo e instituições de fomento de pesquisa têm incentivado, ao longo dos últimos anos, através de fundos de pesquisa, o desenvolvimento de tecnologias que permitam um uso eficiente de energia nas indústrias, embora o momento atual seja de suspensão de aplicação destes recursos. Porém, o empresário, principalmente o de pequeno porte, será fortemente atingido por uma crise energética mais grave, como é o caso das indústrias alimentícias em geral, incluindo panificadoras, produtores de biscoitos e massas e produtoras de ervas mates.

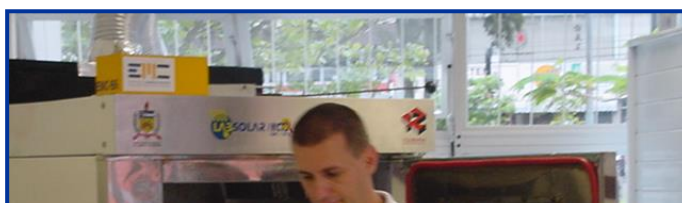
Equipamentos empregando tubos de calor, termossifões de dupla fase e tecnologias afins podem ser desenvolvidos e empregados em processos industriais, visando a redução do consumo de energia. Neste contexto, o Labtucal tem desenvolvido pesquisas nesta área de conhecimento, mantendo convênios com diversas instituições tanto no Brasil como no exterior e, conseqüentemente, formando diversos mestres e doutores na área. Dentre as parcerias de sucesso, citam-se convênios e projetos firmados com a Petrobrás, Embraer, Volvo, Baldo, Prática Technicook, Cleanergy, etc.

Neste capítulo, as linhas de pesquisa, desenvolvimento e inovação conduzidas dentro do contexto do Labtucal serão brevemente apresentadas, assim como os principais resultados alcançados até o momento. Note-se que, atualmente, os trabalhos são divididos em seis grandes linhas de pesquisa, que abrigam os seus correspondentes temas e projetos. A seguir estas linhas são sucintamente apresentadas, ressaltando-se os principais resultados alcançados nos últimos anos.

5.1 Fornos Industriais assistidos pela tecnologia de termossifões

5.1.1 Fornos de cocção de pães para padarias de médio porte

Conforme já mencionado, o primeiro projeto de equipamentos envolvendo termossifões do Labtucal (financiado pela Petrobrás) consistia no desenvolvimento de fornos de cocção assistidos por termossifões. Fornos a gás, além de serem altamente ineficientes termicamente, apresentam distribuições não uniformes de temperatura, de forma a produzir pães com diferentes níveis de cocção em uma fornada. A instalação de termossifões, em formato de árvore, nas laterais dos fornos possibilitou não apenas uma economia de 50% da energia quando comparado a fornos tradicionais, como também possibilitou a produção de pães com melhor qualidade. Este projeto foi patenteado em co-titularidade com a Petrobras. Note-se que o forno de cocção de pães, o primeiro a ser desenvolvido dentro desta linha de pesquisa, tem sido empregado para diversos usos tais como: secagem de erva-mate, ervas finas, frutas (maçãs), legumes (cenoura, abobrinha), tubérculos (batata, mandioca), dentre outros. A empresa “Start Up” composta de alunos e ex-alunos do Labtucal tem comercializado estes fornos. Um protótipo disponível no Labtucal tem sido utilizado em feiras e exposições, como a que ocorreu em 2013 em um evento de eficiência energética promovido pelo Governo do Estado de Espírito Santo. A Fig. 8 ilustra o forno de cocção de pães desenvolvido pelo Labtucal.



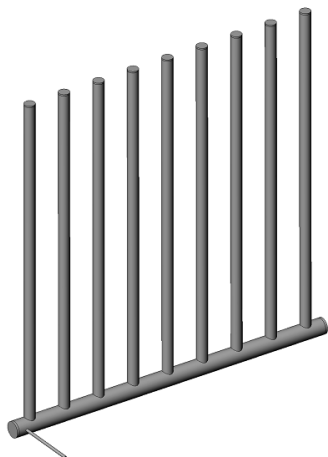


Figura 8: Forno de cocção de pães assistidos por termossifões verticais

5.1.2 Forno para cocção industrial de biscoitos e massas.

Em um projeto financiado pela FINEP, foram desenvolvidos dois protótipos de fornos de biscoitos e massas, assistidos pela tecnologia de termossifões: um de pequena escala (que continua operacional no Labtucal) e um forno de escala industrial (que se encontra em funcionamento na empresa de Biscoitos Lili, em Içara, Santa Catarina). Os testes no forno de esteira rolante de pequena escala (2 metros) mostraram a viabilidade da tecnologia para aplicação em fornos de esteiras (não somente para a cocção de biscoitos, mas de secagem de ervas, secagem de tintas, tratamento térmico de peças, etc). O segundo forno, construído em escala industrial, foi fabricado pela indústria nacional (Maqpol), que se encontra habilitada para a produção destes equipamentos. A Fig. 9 apresenta esquemas dos fornos de pequena escala e escala industrial, onde a esquerda é possível observar os conjuntos de termossifões instalados sob e sobre a esteira. Para que estes fornos sejam contínuos, foi desenvolvida uma válvula que permite o rápido intercâmbio entre o GLP e o Gás Natural, que pode ser empregada em diversos equipamentos, visando torná-los flexíveis (GLP/Gás Natural).

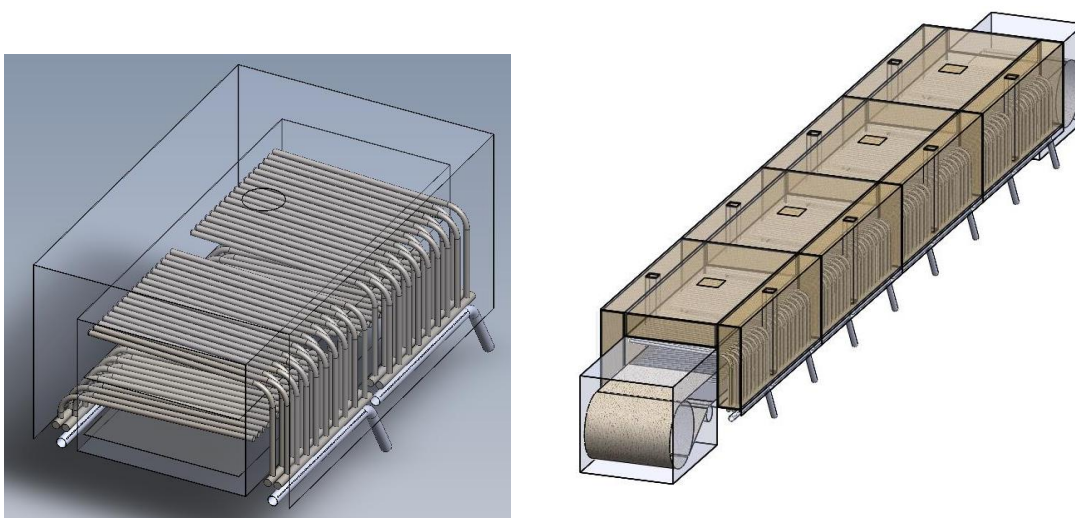


Figura 9: Esquema dos fornos de esteira assistidos por termossifões

5.1.3 Fornos de lastro para cocção de pães

O tema de pesquisa envolvendo o desenvolvimento de fornos de lastro para a cocção de pães, foi financiado pela Empresa Prática Technicook. Estes fornos são constituídos de diversas câmaras de cocção dispostas na posição vertical para produção industrial de pães. A ideia principal deste desenvolvimento era substituir o lastro, normalmente uma pedra que retém calor, uniformizando a distribuição de temperatura e o fornecimento de energia ao pão a ser assado, por termossifões. Na realidade, o lastro é responsável pelo alto consumo de energia desse equipamento, uma vez que o forno precisa ser ligado horas antes de ser utilizado, justamente para aquece-lo. Os termossifões em formato de árvore com os “galhos” dobrados na horizontal permitem a substituição com vantagens do lastro, uma vez que proporcionam o controle e a distribuição de temperatura desejados, mas porém, apresentam uma inércia térmica muito menor. Este desenvolvimento gerou uma patente registrada no INPI compartilhada com a empresa Prática. A Fig. 10 mostra fotos do protótipo desenvolvido e testado no Labtucal.

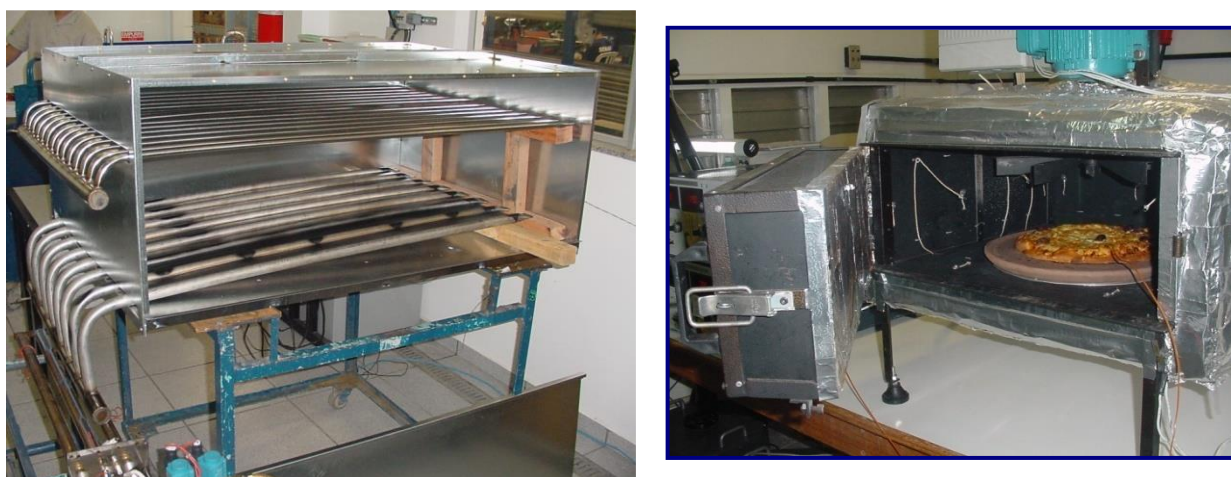


Figura 10: Fornos de lastro assistidos por termossifões em formato de árvore com os “galhos” na horizontal.

5.1.4 Desenvolvimento de fornos de secagem de ervas medicinais

Este projeto foi financiado pela empresa de fornecimento de erva mate Baldo S.A. Foi projetado e construído um forno dedicado ao desenvolvimento de produtos diferenciados para o mercado (misturas de erva mate e ervas medicinais), o qual foi entregue a Baldo e que está em operação. Além disto, um forno de esteiras para a secagem de ervas medicinais empregando a tecnologia de tubos de calor e termossifões foi projetado e deverá ser construído pela indústria nacional e entregue para a Baldo em breve. A Fig. 11 mostra uma fotografia do forno entregue à empresa e um esquema do seu funcionamento.

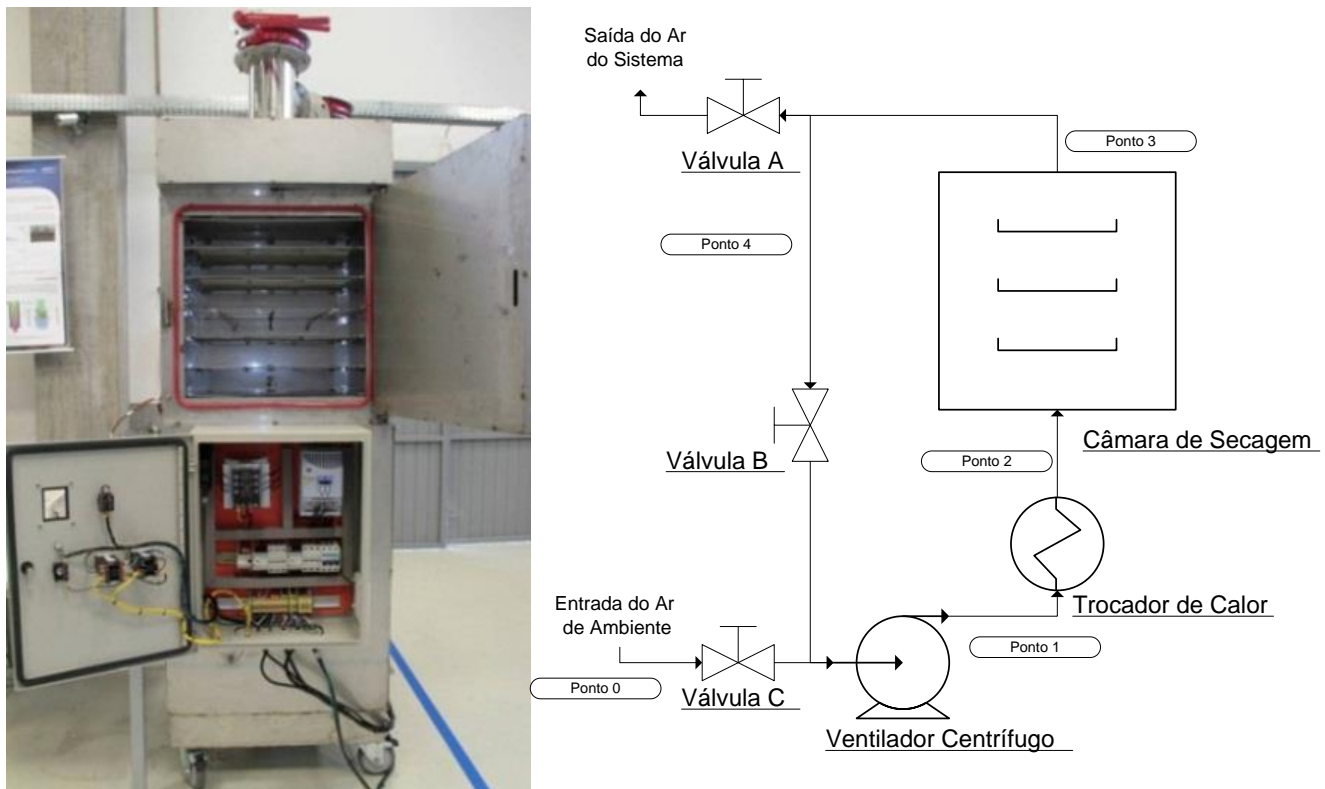


Figura 11: Fotografia e esquema de funcionamento de forno de secagem de erva entregue a empresa Boldo SA

5.1.5 Ramas para o tratamento térmico de tecidos.

Ramas são equipamentos de grande porte empregados pela indústria têxtil para tratamento térmico e químico das malhas, conferindo fixação de cor e estabilidade geométricas das malhas quando em uso e nas lavagens domésticas. Em uma indústria têxtil, o uso de energia destas máquinas é muito intenso. O Labtucal, com financiamento obtido através de um projeto da FINEP, estudou e verificou a viabilidade do uso de termossifões nestes equipamentos, projetando um trocador de calor responsável pela distribuição de calor na rama, embora nenhum protótipo tenha sido ainda construído.

5.2 Trocadores de calor assistidos pela tecnologia de termossifões

Na busca de processos e equipamentos que permitam que a empresa opere com maior eficiência energética, a Petrobrás, nos últimos 18 anos, firmou diversos convênios com o Labtucal, visando o desenvolvimento de trocadores de calor com termossifões. Estes trocadores apresentam uma série de vantagens quando comparados com trocadores do tipo casco e tubos, os mais utilizados, dentre as quais pode-se destacar a sua versatilidade geométrica, pois se adaptam facilmente a sua aplicação dentro da planta industrial. Outra grande vantagem está na facilidade de limpeza, uma vez que os

fluidos que trocam calor entre si escoam sempre externamente aos tubos. Os volumes dos trocadores de calor por termossifões e do tipo casco e tubos são aproximadamente os mesmos.

Dentre os principais resultados desta linha de pesquisa, pode-se ressaltar os apresentados a seguir.

5.2.1 Desenvolvimento de um trocador de calor (TROCATER) para a Unidade de Refino de Xisto de São Mateus do Sul (SIX), da Petrobrás

O primeiro projeto desenvolvido nesta linha de pesquisa para a Petrobrás, no biênio 2003-2004, envolvia o projeto e a construção de um trocador de calor cujo recheio era composto por um conjunto de termossifões verticais alinhados. Este equipamento foi projetado pelo Labtucal, e fabricado em parceria com a empresa INTECNIAL. Este equipamento foi financiado pela Petrobrás e instalado na Unidade de Xisto de São Mateus do Sul (SIX), no Paraná. Note-se que as refinarias da Petrobrás há muito tempo empregam regeneradores de calor, para recuperação de energia térmica de fluxos quentes de processos de refino de petróleo, os quais seriam rejeitados para o ambiente, provocando poluição térmica. Tomando-se como exemplo o SIX, gás quente a 180°C, pré-aquece ar frio que alimenta os fornos nos processos de refino de petróleo. Com isto, tem-se uma economia de combustível de até 15%. Os trocadores de calor tradicionalmente utilizados para este fim são os rotativos. São equipamentos de grande porte e apresentam uma série de desvantagens, tais como: difícil manutenção, partes rotativas, mistura (contaminação) do ar aquecido com resíduos do gás sujo, uso de energia elétrica para acionamento do motor elétrico, risco de eventual explosão, etc. A partir de visitas a plataformas de exploração de petróleo verificou-se que alguns trocadores do tipo placa também apresentam sérios problemas operacionais, pois não resistem às grandes variações de pressão nas linhas de alimentação dos trocadores, comum em processos de produção de petróleo em plataformas, além de acumular resíduos. Os trocadores de calor do tipo casco-tubo empregados no aproveitamento de calor de turbinas em plataformas também apresentam uma série de problemas operacionais, incluindo a dificuldade de limpeza, além de serem muito grandes. Devido a estes problemas, grande parte destes dispositivos está inativa no momento. Trocadores de calor empregando a tecnologia de termossifões estão, cada vez mais, sendo considerados como alternativa a estas tecnologias mais convencionais. Tomando-se o exemplo da China, a maioria dos trocadores de calor que são instalados em petroquímicas são assistidos por termossifões. A Fig. 12 apresenta um esquema e uma foto deste equipamento.

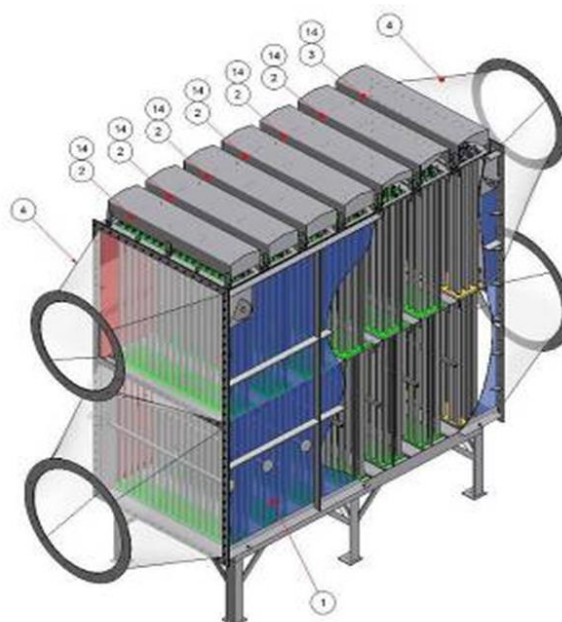


Figura 12: TROCATER: trocador de calor com termossifões instalado no SIX (São Mateus do Sul).

5.2.2 Tecnologias de tubos de calor de média-alta temperatura, para aplicações em petroquímicas

Visando aplicações em trocadores de calor que operam em temperaturas mais altas, verificou-se a viabilidade do uso de fluidos orgânicos (naftaleno e anelina) como fluidos de trabalho para equipamentos que operem em níveis intermediários de temperatura (cerca de 400° C). Um dos objetivos deste estudo foi detectar se havia a perda de características e propriedades térmicas deste fluidos de trabalho, quando os termossifões operam a longo prazo. Para este estudo, foram realizados testes de longa vida em uma bancada especialmente projetada para este fim. A anelina se mostrou um fluido de trabalho inapropriado, pois se deteriorou rapidamente, porém o naftaleno se comportou muito bem, não apresentando piora significativa na performance térmica dos termossifões, em três anos de operação contínua.

Neste contexto está sendo desenvolvida uma pesquisa onde o fluido de trabalho testado é resultante de uma mistura de naftaleno e água. Este fluido deve facilitar o início de operação do termossifão com naftaleno, o qual parte com o fluido de trabalho no estado sólido (naftaleno em baixas temperaturas é sólido). Para tubos cujo fluido de trabalho é composto por 100% de naftaleno, o calor inserido externamente ao dispositivo pode não atingir o naftaleno, que, no estado sólido, pode não estar em contato com a parede e assim não receber calor, de forma que o dispositivo pode não começar a sua operação (falha no “start up”). Neste caso, ocorre o sobreaquecimento do termossifão no evaporador, com possibilidade de rompimento da parede e, assim, de acidentes.

5.2.3 Projeto, construção e instalação de uma bancada universal para testes de termossifões de baixa a média temperatura (BANCUN).

Foi projetada pelo Labtucal e construída pela indústria nacional uma bancada universal para testes de trocadores de calor, especialmente para os assistidos com a tecnologia de tubos de calor e termossifões, para trocas de calor entre fluxos de gases, denominada BANCUN. Esta bancada, de interesse e patrocinada pela Petrobras e dedicada ao desenvolvimento destes equipamentos, é única no Brasil e certamente uma das maiores do mundo (visitei universidades e institutos de pesquisa onde se desenvolvem pesquisas avançadas em equipamentos assistidos por tubos de calor e termossifões e não observei nenhum aparato experimental dedicado a trocadores de calor desta magnitude). A BANCUN basicamente consiste de dois túneis de vento de grande porte: por um deles circula gás quente a temperaturas de até 500° C, proveniente da queima de Gás Natural ou GPL e pelo outro circula ar na temperatura ambiente. Os fluxos mássicos, assim como as temperaturas dos gases em ambos os túneis de vento, são monitorados, permitindo desta forma balanços de energia. A foto apresentada na Fig. 13 ilustra esta bancada.



Figura 13: Bancada de testes de trocadores de calor gás-gás (BANCUN) com termossifões

Recentemente esta bancada foi ampliada e recebeu mais uma tubulação (túnel) por onde circula líquido pressurizado (até 8 bar de pressão). Por este túnel de líquido pode circular água, óleo ou mesmo petróleo. Esta bancada permite testes de trocadores de calor com termossifões do tipo gás líquido e líquido-líquido. Uma foto da BANCUN já adaptada com este novo túnel de líquido pressurizado se encontra na Fig. 14.

Vários testes já foram realizados utilizando-se a BANCUN, sendo um dos principais o que envolveu o desenvolvimento e testes de termossifões em circuito projetados para operar em temperaturas mais altas, sendo que o naftaleno foi testado como fluido de trabalho. O dispositivo funcionou bem, mas apresentou sérios problemas de partida (start-up). Não se recomenda o uso de naftaleno para tubos de calor em circuito.



Figura 14: BANCUN com linha de líquido pressurizada.

5.2.4 Desenvolvimento de Tecnologias para Trocadores de Calor Assistidos por Termossifões

Está sendo desenvolvido no Labtucal, no contexto de um projeto com a Petrobras, um convênio visando o desenvolvimento de tecnologias para trocadores de calor com termossifões com dois objetivos principais:

- Desenvolvimento de um portfólio (catálogo de trocadores de calor com termossifões para ser empregado por projetistas da Petrobrás) onde projetos de diversos equipamentos, em aplicações típicas da Petrobrás, estão sendo executados, visando a substituição de trocadores de tecnologia convencional. Para isto, foram feitas visitas a plantas industriais (refinarias e plataformas de petróleo), com o objetivo de coletar dados.
- Desenvolvimento de tecnologias de trocadores de calor (detalhes de fabricação, projeto de carcaças, etc) assistidos por termossifões para trocadores de calor com termossifões do tipo líquido – gás e líquido-líquido.

5.2.5 Projeto e Fabricação de um Protótipo de um Gerador de Vapor Empregando Tecnologia de Termossifões.

Por volta de 2007, foi projetado e construído (com recursos provindos de um projeto FINEP) um protótipo em escala reduzida para geração de vapor, visando o aproveitamento de energia residual de fluxos quentes em chaminés de indústrias. Este equipamento, baseado nos princípios de funcionamento de termossifões, é altamente eficiente apesar de ter pequeno porte, sendo uma solução útil para indústrias que visem usar energia de forma eficiente.

5.2.6 Aquecedores de Tanques de Armazenamento de Asfalto

De 2007 a 2011, o Labtucal recebeu recursos da Petrobrás para desenvolver um aquecedor de tanques de asfalto empregando a tecnologia de termossifões. Asfalto armazenado precisa estar sempre aquecido para não ser manipulável. Os aquecedores usuais empregam serpentinas por onde escorre vapor de água. Este vapor é produzido em uma central de produção de vapor e é distribuído ao longo da refinaria por tubulações. Grandes perdas térmicas e de vapor são observadas no caminho entre o gerador de vapor e o tanque de armazenamento de asfalto. Além disto, esta técnica de aquecimento não permite o controle efetivo da temperatura de aquecimento do asfalto, que normalmente permanece numa temperatura acima da necessária, o que resulta na perda excessiva de calor para o ambiente. Foi desenvolvido um trocador de calor, que consiste em um feixe de termossifões em paralelo e inclinado e que atravessa a parede do tanque. A parte externa do equipamento, correspondente a região dos evaporadores do feixe de termossifões, está em contato com gases quentes provenientes de um queimador de GN e a parte interna com o asfalto propriamente dito. Este aquecedor pode ser utilizado para aquecer de forma controlada o asfalto, mantendo-o em um nível de temperatura de armazenagem adequado, sendo sobreaquecido apenas na hora de ser manipulado, ou seja, principalmente quando for transferido para o caminhão. O comportamento térmico deste trocador e do tanque aquecido foi simulado numericamente e um protótipo de laboratório foi projetado, construído e testado. A Fig.15 ilustra o sistema de aquecimento mostrando um queimador de um aquecedor de tanque de asfalto e o tanque protótipo, antes de ser preenchido com asfalto.



Figura 15: Aquecedor do tipo trocador de calor com termosifões e protótipo estudado em laboratório.

5.2.7 Aquecedores de Gás Natural em Estações de Descompressão e Distribuição.

A Agência Nacional de Petróleo (ANP) regulamenta as condições em que o GN é entregue aos consumidores nas estações de compressão e distribuição de GN. O gás a ser vendido vem comprimido nos gasodutos e deve ser descomprimido na ocasião da venda. Durante a descompressão, o GN se resfria consideravelmente. Para garantir precisão na medida do volume vendido, o gás resfriado deve ser aquecido novamente, em níveis de temperatura pré-estabelecidos. Normalmente se emprega a técnica de resfriamento em “banho maria”, ou seja, o gás a ser aquecido percorre serpentinas no interior de um volume de água contido em um cilindro curto deitado. A água, por sua vez, é aquecida por gás quente proveniente da queima de GN em um queimador, o qual percorre outra serpentina. Neste processo, certa quantidade de água é evaporada e deve ser periodicamente reposta. Como as estações de descompressão normalmente se localizam em locais remotos, repor esta água pode representar um problema sério de logística. Porém, se consideramos que a altura da água no “banho maria” for suficiente apenas para cobrir as serpentinas aquecedoras e que a serpentina por onde percorre o GN a ser aquecido está situada numa região na presença apenas de vapor, caso o cilindro tenha sido evacuado antes da inserção da água, este equipamento pode funcionar como uma câmara de vapor. De uma forma simplificada, pode-se entender que uma câmara de vapor funciona como um termosifão invertido (as regiões do evaporador e condensador são internas ao dispositivo). No contexto de um projeto de pesquisa financiado pela Petrobrás, um protótipo de um aquecedor de GN, utilizando o conceito de câmara de vapor foi projetado, construído e testado, mostrando um bom desempenho térmico. A Fig. 16 ilustra mostra um esquema de um sistema de aquecimento de GN convencional e da câmara de vapor, cujo protótipo foi testado, a fim de avaliar a possibilidade de uso desta tecnologia no aquecimento de GN.

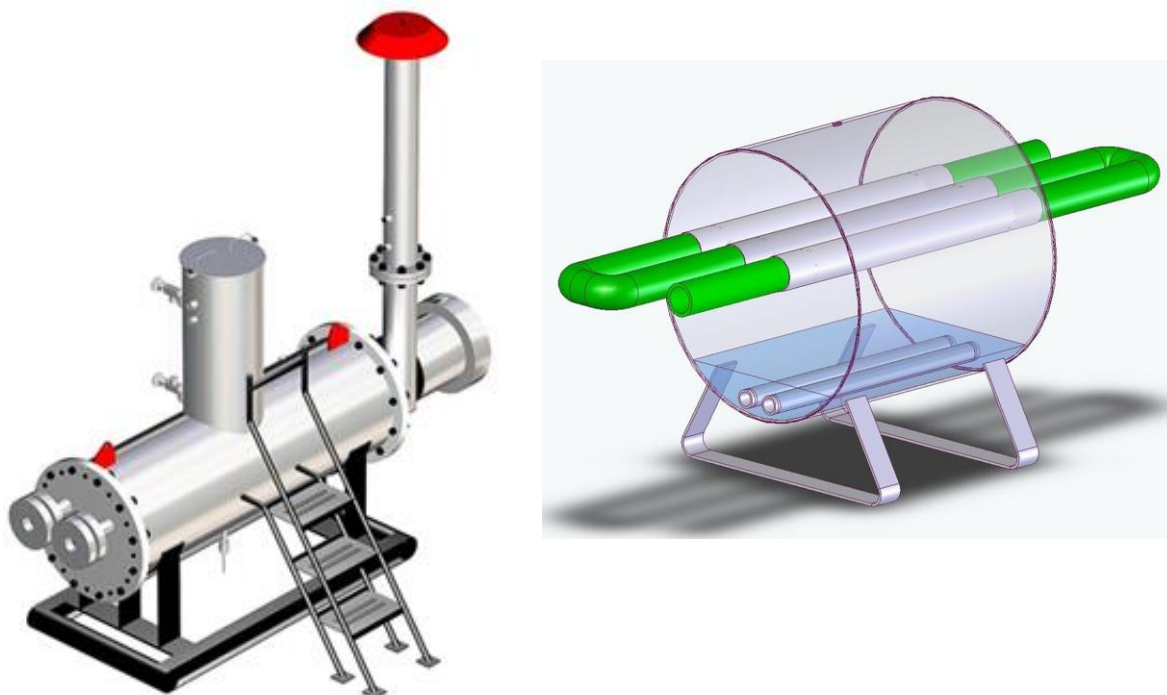


Figura 16: Esquema de um sistema de aquecimento de GN tradicional e de uma câmara de vapor a ser adaptada neste aquecedor.

5.2.8 Trocadores de calor de alta temperatura

Trocadores de calor de alta temperatura são, cada vez mais, empregados em processos de aproveitamento energético e de fornecimento de energia a partir de fontes não convencionais. A literatura reporta o desenvolvimento e uso de tubos de calor para operar em temperaturas superiores a 1000° C, especialmente para aplicações espaciais. Porém, com exceção da aplicação em reatores nucleares, pouco se encontra a respeito do desenvolvimento de termossifões para operar neste nível de temperatura.

O Labtucal desenvolveu, no contexto de um doutorado no passado, pesquisas na área de termossifões de alta temperatura, cujo fluido de trabalho utilizado era o mercúrio, embora sódio também tenha sido empregado. Tendo em vista esta experiência do grupo e a escassez de grupos de pesquisa na Europa capazes de projetar e fabricar termossifões de alta temperatura, fomos contratados pela Empresa Sueca Cleanergy, para, em convênio com grupos de pesquisas da Universidade de Brighton (Inglaterra) e de Bergamo (Itália), desenvolver um trocador a ser empregado em um equipamento projetado para utilizar energia solar concentrada (por concentradores solares) e energia da queima de biogás, na geração de energia elétrica em regiões remotas, como fazendas. Coube ao Labtucal o projeto e construção de termossifões de alta temperatura, que operam com sódio como fluido de trabalho para aplicação em geradores de energia elétrica, a partir de ciclo Stirling. Processos inéditos de fabricação destes dispositivos foram desenvolvidos.

O trocador de calor utilizado no gerador de energia elétrica da empresa sueca, incluindo os termossifões (cerca de 80), foi projetado no Labtucal. Os termossifões foram carregados com sódio e testados no Labtucal. Este trocador de calor foi posteriormente enviado à Suécia para ser integrado ao equipamento e testado, com resultados considerados excelentes pela empresa sueca. Para se atingir os altos níveis de temperatura necessários aos testes, um forno de aquecimento por indução, capaz de fornecer altas taxas de calor e aquecer os termosifões em temperaturas superiores a 1500° C, foi adquirido. A Fig. 17 ilustra o trocador de calor de alta temperatura e um termossifão em teste.

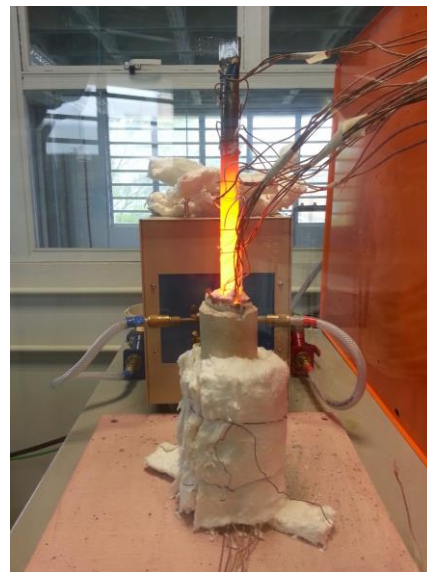


Figura 17: Trocador com termossifões carregados com sódio e um termossifão em teste.

5.3 Trocadores de calor compactos e ultracompactos fabricados por soldagem por difusão

Trocadores de calor compactos são equipamentos especiais usados em locais onde espaço e eficiência são quesitos fundamentais, tipicamente empregados em aeronaves, automóveis, centrais de computadores, etc. No caso de aplicações em plataformas de petróleo, além destas características, os trocadores de calor devem ser capazes de suportar grandes picos de pressões, que podem ocorrer durante o processo de extração de petróleo. Até o ano de 2015, apenas uma empresa no mundo detinha uma patente para a fabricação destes dispositivos, usando tecnologia de soldagem por difusão. Desta forma, sem concorrência, os custos destes equipamentos eram, e ainda são, muito altos.

Visando o desenvolvimento de tecnologia de trocadores de calor compactos alternativos, a Petrobrás financia um projeto com o Labtucal. Neste contexto, um processo de fabricação destes dispositivos foi desenvolvido e patentado. A fabricação do núcleo basicamente consiste no empilhamento de chapas usinadas as quais são pressurizadas e colocadas em ambiente inerte e a alta temperatura. A geometria dos canais por onde os fluidos que trocam calor percorrem são controlados e podem se adaptar de acordo com a aplicação: quando menor os canais, melhor a troca térmica, porém maior a perda de pressão. O processo desenvolvido permite a fabricação de geometrias diversas dos canais, de forma que as linhas de fluxo dos fluidos através do trocador de calor podem apresentar comportamentos uni, bi ou tri-dimensionais. Para a fabricação destes dispositivos foi adquirido um forno de soldagem por difusão de grande porte, único na América Latina, inaugurado em Novembro de 2014. Este forno é capaz de soldar peças cujos volumes totais sejam de, no máximo, $60 \times 80 \times 60 \text{ cm}^3$, com uma pressão de até 250 toneladas e temperaturas de até 1700°C em atmosfera controlada (vácuo ou gases inertes – argônio ou nitrogênio). Numa próxima etapa já em negociação, um núcleo de um trocador será construído no Labtucal e sua carcaça será produzida por uma empresa qualificada para fornecer equipamentos para plataformas de petróleo, ainda a ser definida. A Fig. 18 mostra uma fotografia do forno e ilustra algumas peças que foram produzidas pelo processo desenvolvido na UFSC.

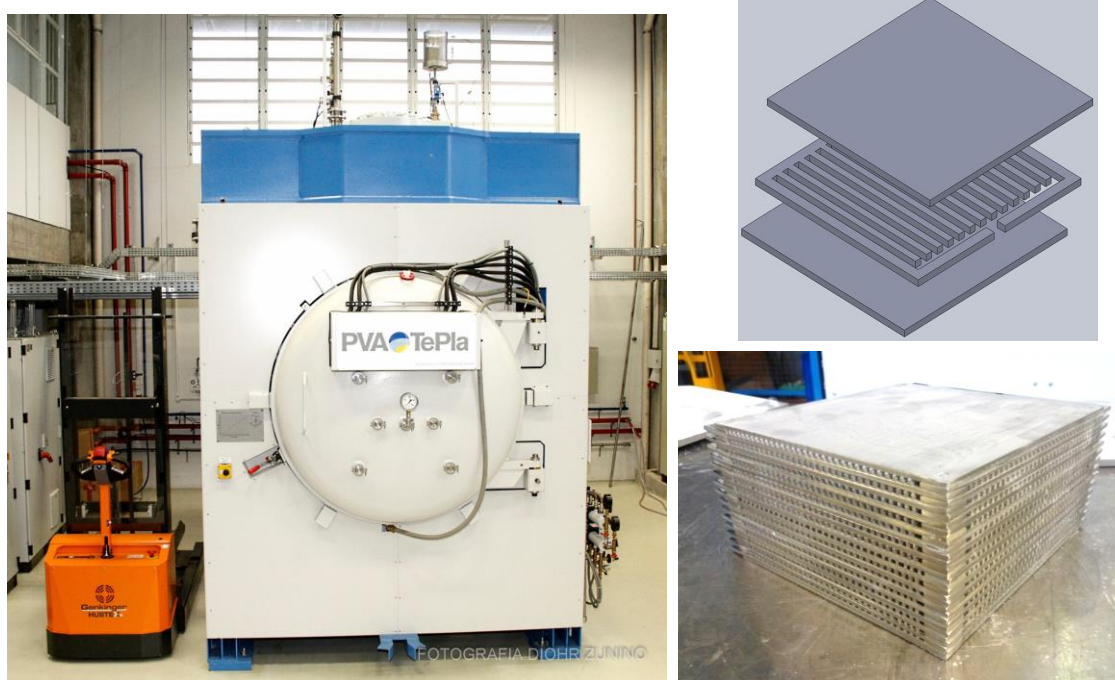


Figura 18: Forno de soldagem por difusão e peças produzidas no forno.

5.4 Destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões

Para se retirar petróleo pesado de poços, uma das alternativas é a mistura de componentes mais leves, como a Nafta, visando diminuir a densidade do petróleo. O transporte da nafta, produzida nas refinarias “in shore” para plataformas de petróleo “off shore” é oneroso. Portanto, o ideal seria a recuperação desta nafta ainda na plataforma, logo após a extração do petróleo. As torres das unidades de refino empregadas para a separação da nafta do petróleo bruto são altas, impossibilitando a sua instalação em plataformas. Em um projeto patrocinado pela Petrobras em parceria com o grupo de pesquisas LCP da Engenharia Química, estuda-se a possibilidade de, empregando a tecnologia de termossifões e a técnica de destilação em película, desenvolver equipamentos compactos, que possam ser instalados em plataformas de exploração de petróleo. Num primeiro momento, foi desenvolvido um protótipo de vidro para a visualização dos processos de destilação que ocorrem no dispositivo. A seguir, e com base nos resultados obtidos no protótipo de vidro, foi construído um trocador de calor de aço inox, contendo um tubo de destilação. Resultados obtidos com este dispositivo foram promissores. Foi possível, num primeiro momento, separar água e álcool com qualidade compatível com outras tecnologias, porém com significativa economia de energia. Outras misturas de fluidos orgânicos também já foram processadas com sucesso nestes equipamentos.

Tendo em vista os resultados obtidos, um dispositivo onde um mesmo termossifão abriga diversos tubos de destilação, visando uma maior produtividade de destilado, foi projetado e construído. No momento, a equipe da Engenharia Química (LCP) está testando este dispositivo, realizando destilações, cujos resultados serão comparados com as obtidas a partir de destiladores convencionais.

A tecnologia para a transferência de calor empregada neste equipamento consiste de uma adaptação de tecnologias de câmara de vapor e de termossifões em circuito. O vapor fornece externamente ao tubo de destilação o calor necessário ao processo de destilação em película, cuja película escorre pela parede interna dos tubos de destilação. Controlando-se um volume de gases não condensáveis junto ao fluido de trabalho do termossifão, pode-se estabelecer um perfil de temperaturas controlado de forma a se melhorar a qualidade do destilado. Uma patente relativa a este equipamento foi registrada no INPI. A Fig. 19 ilustra o esquema do termossifão em circuito utilizado na montagem unitubular e uma foto do equipamento montado.



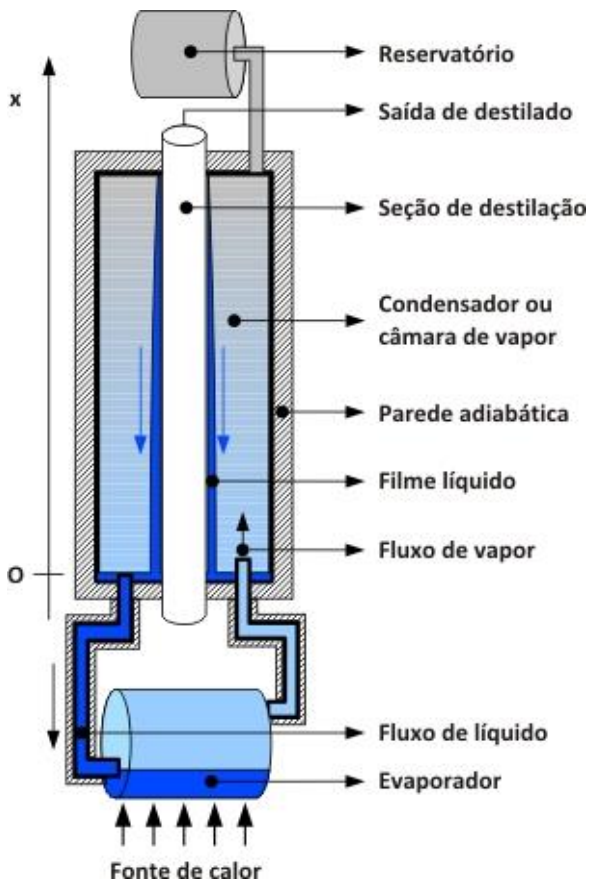


Figura 19: Esquema de funcionamento do termostato em circuito do destilador unitubular

5.5 Controle térmico de eletrônicos em veículos espaciais, automotores e aeronaves

5.5.1 Tecnologias para controle térmico de componentes eletrônicos.

Pode-se observar que, com o avanço tecnológico da indústria eletrônica, os componentes eletrônicos estão cada vez menores. Porém, a dissipação térmica destes equipamentos não tem reduzido no mesmo ritmo que as suas dimensões. Assim, o calor gerado por estes componentes se concentra, o que pode provocar pontos quentes em circuitos eletrônicos, comprometendo a performance do equipamento e aumentando o seu consumo de energia. Nestes casos,

pode-se empregar a tecnologia de tubos de calor para o transporte do excedente de calor até dissipadores e/ou radiadores. Tubos de calor hoje são rotineiramente encontrados em computadores portáteis (lap-tops e/ou note-books), em tablets e, mais recentemente, em smartphones, sendo também empregados em desk tops de maior performance. Podem também ser empregados em outras aplicações, onde haja necessidade de resfriamento devido à geração concentrada de calor, como em placas de circuitos eletrônicos. Note-se que o controle térmico eficiente de dispositivos eletrônicos leva a uma maior vida útil destes e a um menor consumo de energia. O Labtucal atua na área de controle de temperatura de componentes eletrônicos, tanto para aplicações em veículos espaciais, quanto para aplicações terrestres.

Os meios porosos são o “coração” das tecnologias de tubos de calor e circuitos de bombas capilares, uma vez que são responsáveis pela circulação do fluido de trabalho através das diversas regiões do dispositivo. Sua capacidade de operação impõe o limite de operação mais restritivo: o limite capilar. A fim de desenvolver tubos de calor (e tecnologias afins) mais eficientes, o Labtucal mantém uma parceria de longa data com o Laboratório de Materiais, visando desenvolver meios porosos através de técnicas de sinterização de pós metálicos, misturas de materiais de sacrifício (orgânicos ou outros pós mais voláteis, etc), fabricação de esponjas metálicas, dentre outros. Meios porosos multicamadas de diferentes propriedades (condutividade térmica, permeabilidade e porosidade) são produzidos em um forno de sinterização de pequeno porte que o Labtucal dispõe. Teses de doutorado e dissertações de mestrado foram defendidas nesta área, cujo principal órgão financiador até o momento foi o CNPq, através de projetos Universais e de bolsas DTI.

No contexto do desenvolvimento de tecnologias envolvendo meios porosos, o Labtucal tem trabalhado no projeto, fabricação e testes de tubos de calor em circuito (LHPs), alguns dos quais já tem aplicações em aeronaves e já apresentam qualificação para serem empregados em satélites, como se verá a seguir.

A caracterização das propriedades geométricas, mecânicas e térmicas é essencial para o desenvolvimento de tecnologias envolvendo meios porosos. O Labtucal desenvolveu bancadas de medição de condutividade térmica, permeabilidade e porosidade de meios porosos sinterizados,

cujos resultados das medições são superiores aos encontrados em bancadas comercializadas. A equipe do Labtucal, principalmente mestrandos e doutorandos desenvolveu diversos modelos inéditos de caracterização e predição de propriedades termofísicas dos meios porosos. Com os resultados das pesquisas realizadas no Labtucal, é possível, a partir da geometria, composição do pó metálico usado na sinterização do meio poroso e do processo de fabricação, obter propriedades apropriadas à aplicação a que o meio poroso se destina, como em evaporadores de LHPs. Estes modelos e resultados de testes de dispositivos desenvolvidos no Labtucal têm sido publicados em revistas internacionais de grande qualidade (Qualis A, CAPES). A Fig. 20 ilustra um meio poroso multi-camadas desenvolvido no Labtucal e bancadas de medição de propriedades termofísicas.

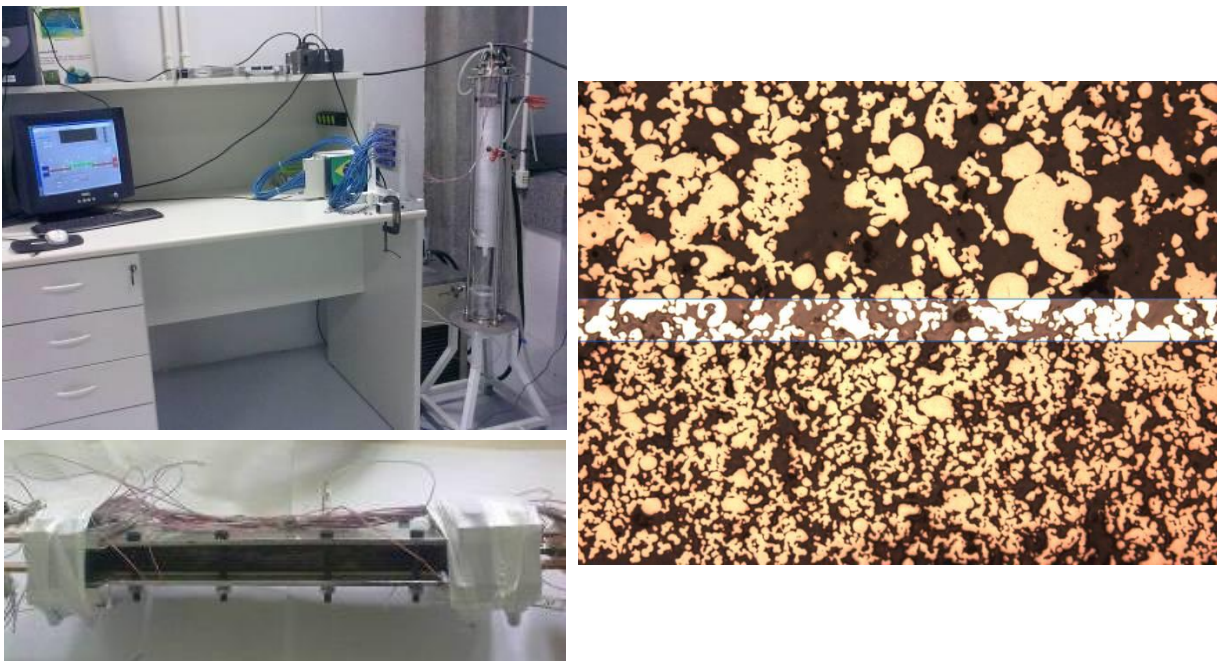


Figura 20: Meio poroso multi-camadas desenvolvido no Labtucal e fotos de bancadas de medição de propriedades termofísicas

5.5.2 Veículos espaciais - Microgravidade

Como já comentado no início deste documento, o Labtucal nasceu de um projeto de pesquisa junto com a AEB para o desenvolvimento de tecnologia para controle térmico de veículos espaciais do programa espacial brasileiro. Desta forma, apesar das diversas outras atividades de pesquisa desenvolvidas, participou de todas as oito missões envolvendo testes e experimentos em microgravidade oferecidas e financiadas pela Agência Espacial Brasileira (AEB), que disponibiliza, a partir de editais abertos à comunidade científica, ambiente de microgravidade de excelente qualidade (cerca de 7 minutos). Note-se que somente as mais recentes e/ou importantes missões serão mencionadas neste documento. Foguetes de sondagem (sounding rockets) desenvolvidos no Brasil pelo Instituto de Atividades Espaciais (IAE) são lançados a partir da plataforma de lançamentos de foguetes de Alcântara, carregando uma carga útil contendo experimentos

científicos. Estes foguetes realizam uma órbita parabólica e caem no mar cerca de 20 minutos após serem lançados, sendo recolhidos por helicópteros. Os ambientes de microgravidade fornecidos pela AEB para testes podem ser considerados de alta qualidade e longa duração, especialmente quando comparados a outros ambientes de testes, normalmente disponibilizados em outros países, como os voos parabólicos, que oferecem cerca de 20 segundos de microgravidade, ou seja, com tempo e qualidade inferiores.

Dentre os diversos testes realizados em microgravidade, os mini-tubos de calor, fabricados a partir de tecnologia de placas planas e fios roliços e/ou empregando meios porosos sinterizados, desenvolvidos no Labtucal, que foram testados com grande sucesso na Estação Espacial Internacional (ISS), são os de maior visibilidade. A mais recente campanha de testes em microgravidade, cuja janela de testes (lançamento do foguete) inclui o momento em que escrevo este documento, envolve um experimento desenvolvido no contexto de um acordo com grupos de pesquisa da Europa, onde tubos de calor pulsantes (pulsating heat pipes – PHP) com superfícies internas funcionalizadas serão testadas em ambiente de microgravidade, juntamente com um LHP desenvolvido no Labtucal. Neste contexto de colaboração internacional, prepara-se também testes a serem conduzidos em uma plataforma experimental na ISS, que está sendo projetada e construída pela ESA (Agência Espacial Europeia). Este programa envolve pesquisadores de vários países que atuam fortemente em P&D de tecnologias de tubos de calor e afins.

As tecnologias testadas em microgravidade estão relacionadas a seguir.

- Desenvolvimento de mini-tubos de calor híbridos para testes na Estação Espacial Internacional (ISS). Nestes mini tubos de calor, os meios porosos dos evaporadores são sinterizados enquanto que sanduíches de fios roliços e placas planas compõem o meio poroso da seção adiabática e condensador. Experimentos em gravidade e microgravidade mostraram maior desempenho destes dispositivos quando comparados a tubos de calor tradicionais, onde o meio poroso sinterizado está presente ao longo de todo o tubo de calor. Esta pesquisa gerou o registro de uma patente.
- Mini tubos de calor com meios porosos especiais (dupla camada), empregando técnicas de sinterização desenvolvidas no laboratório. Os resultados, em laboratório e microgravidade, mostraram que meios porosos duplos proporcionam dispositivos com maior performance dos que os tradicionais.
- O teste em microgravidade, que está em vias de acontecer, foi aprovado pela AEB em 2013, e inclui dois experimentos. O primeiro experimento consiste de um LHP, desenvolvido no contexto de uma tese de doutorado no Labtucal. O segundo consiste de tubos de calor pulsantes (“pulsating heat pipes - PHP”) desenvolvidos em parceria com pesquisadores das Universidades de Bergamo e de Pisa, ambas da Itália e de Brighton, na Inglaterra. A ideia deste convênio é preparar um experimento preliminar, visando um consórcio mais abrangente entre universidades de todo o mundo, para viabilizar a construção e uso de uma plataforma de testes de dispositivos que operam com fluidos com mudança de fase, que está sendo desenvolvida pela Agência Espacial Europeia (ESA) para ser instalada na Estação Espacial Internacional (ISS). Recebemos em 2015 um aluno de doutorado da Universidade de Bergamo (Itália), que auxiliou na montagem do experimento de microgravidade a ser testado no Brasil.

A Fig. 21 ilustra a participação do Brasil nas oportunidades de testes em microgravidade proporcionadas pela AEB.

5.5.3 Aeronaves

As aeronaves modernas têm se tornado cada vez mais eletro/eletrônicas, seja no uso de dispositivos que auxiliam no controle (pilotagem) da aeronave, seja nos dispositivos para conforto do passageiro (vídeo, internet, televisão, etc) ou mesmo em equipamentos encontrados em aviões dedicados a usos específicos, como os militares. Como acontece com todos equipamentos eletrônicos, o excesso de calor gerado deve ser removido para que não ocorra sobreaquecimento e, portanto, mal funcionamento dos dispositivos. Normalmente empregam-se os sistemas de ar-condicionado das aeronaves para a remoção deste calor. Ocorre que estes sistemas de refrigeração consomem fração significativa da potência desenvolvida pelos motores da aeronave. Porém, em rota normal de voo, as aeronaves estão em ambiente cuja temperatura gira em torno de -50°C . A Embraer financiou dois projetos junto ao Labtucal que envolveu o desenvolvimento de tecnologias de tubos de calor e afins, visando a conexão térmica entre os dispositivos, dos quais se deseja dissipar excesso de calor gerado, e o ambiente externo.

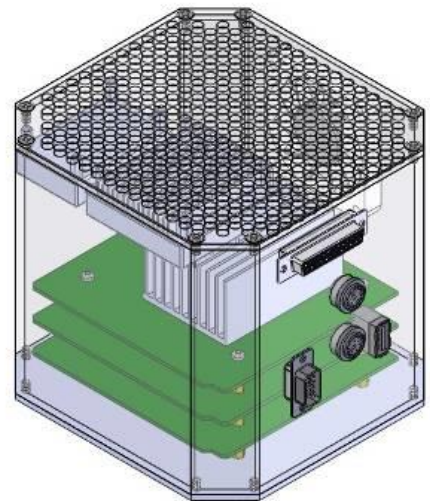
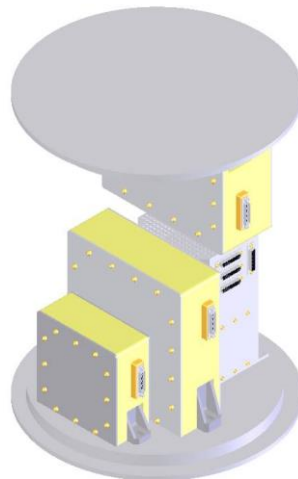
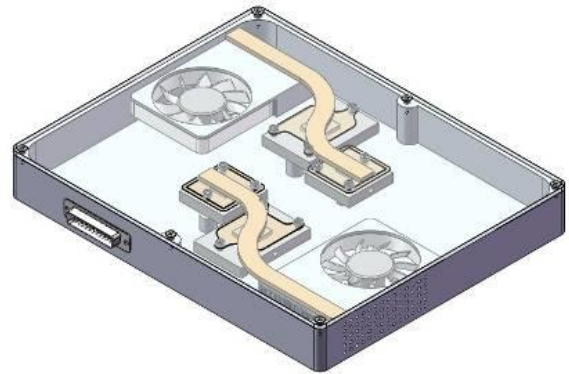
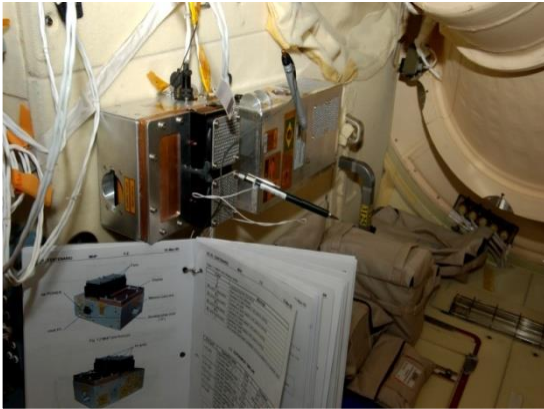


Figura 21: Ilustração da participação do Brasil nas oportunidades de testes em microgravidade proporcionadas pela AEB

Dentre os dispositivos desenvolvidos neste projeto (cuja tecnologia foi patenteada em coparticipação UFSC/Embraer), pode-se mencionar os listados a seguir.

- Foi desenvolvido um termossifão em circuito, com condensadores duplos. Um dos condensadores tem a parede conectada termicamente a parte externa da fuselagem do avião (para o uso do ambiente externo da aeronave como sumidouro de calor) e o outro condensador está conectado ao sistema de ar condicionado da aeronave. O evaporador, localizado na parte interna do avião está, a princípio, próximo a parede interna deste e tem a função de dissipar o calor a ser controlado. O transporte do líquido de trabalho (água) é feito com o uso da gravidade. Os condensadores duplos se justificam pelo fato de que em terra, o ambiente externo a aeronave pode não funcionar como sumidouro de calor e neste caso, o sistema de ar condicionado é acionado. Note-se que o controle do condensador a ser utilizado é passivo, ou seja, se auto ajusta, sem a necessidade de válvulas ou controladores. Este equipamento foi testado, com sucesso, tanto em ambiente de laboratório quanto em uma aeronave da Embraer.
- O calor dissipado pelo componente ou equipamento eletro/eletrônico deve ser conduzido do interior da aeronave até o evaporador do termossifão em circuito, por meio de tubo de calor em circuito (“loop heat pipe - LHP”) ou por termossifões com pequena inclinação. Este dispositivo foi desenvolvido e testado tanto em ambiente de laboratório, quanto de microgravidade. Um protótipo deste equipamento foi construído e testado em laboratório e em uma aeronave da Embraer. Este dispositivo também foi coberto pela patente registrada pela UFSC/Embraer.
- O contato entre o condensador do LHP e/ou termossifão (que retira o calor do equipamento eletro/eletrônico cuja temperatura deve ser controlada) e o evaporador do termossifão em circuito deve ser realizado através de uma “tomada” ou “plug térmico”. A ideia é que o evaporador do termossifão em circuito apresente uma série de conexões que permitam o rápido acoplamento térmico entre o plug (evaporador) do LHP ou do termossifão. Para isto um contato cônico foi desenvolvido, conforme resultados de modelagem térmica desenvolvida no contexto de uma dissertação de mestrado.

A Fig. 22 ilustra estes dois dispositivos desenvolvidos para o controle térmico de equipamentos eletro/eletrônicos em aeronaves.

5.5.4 Veículos automotores

A potência de caminhões é bastante limitada pela capacidade de resfriamento dos radiadores, que retiram calor do fluido de arrefecimento que refrigera os motores. Os radiadores estão localizados na região frontal dianteira de caminhões e, durante a locomoção do veículo, recebem ar ambiente frio. São compostos por tubulações verticais de pequeno calibre, altamente aletados, por onde circula fluido de arrefecimento quente. Parte da energia produzida pelo motor do caminhão é usada no bombeamento do líquido através dos radiadores. Aumentando-se a eficiência térmica destes radiadores, diminui-se o consumo de combustível e/ou aumenta-se a potência disponível para tração do veículo. Neste contexto a empresa Volvo, através de um convênio com a UFSC, financiou as primeiras atividades relativas ao desenvolvimento de radiadores assistidos por termossifões, visando a sua aplicação nos veículos produzidos pela empresa. A ideia explorada é a de que a tecnologia de termossifões permitiria uma melhor distribuição de temperatura nos radiadores e, portanto, uma maior eficiência. Como as trocas térmicas entre o fluido e o ar ocorrem sempre na região externa de tubulações, radiadores assistidos por termossifões poderiam apresentar uma menor perda de carga, consumindo menor energia do motor para este fim.

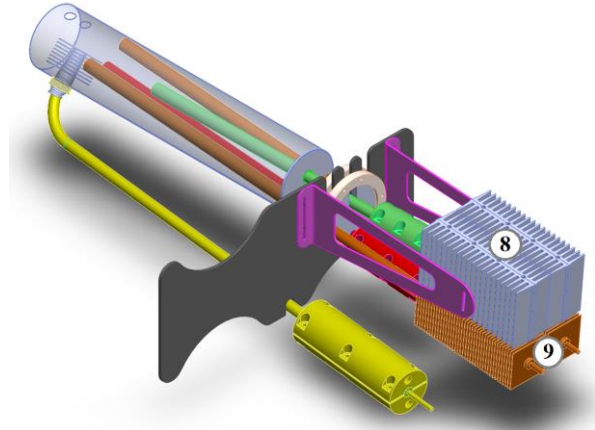
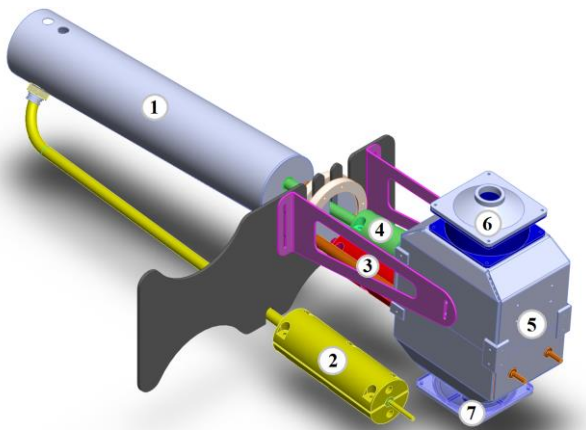
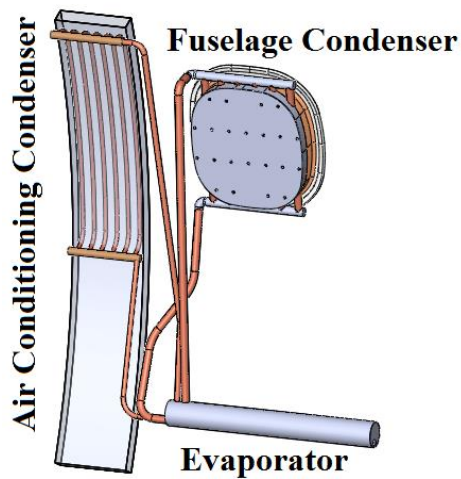


Figura 22: Esquema do termossifão em circuito desenvolvido, fotografia do protótipo testado a bordo da aeronave e vistas externa e interna do experimento envolvendo diversas tecnologias para transferência de calor da fonte ao evaporador do termossifão em circuito.

Neste projeto foi projetado e construído com sucesso um túnel de vento para caracterização de radiadores de caminhões Volvo, de forma que se possa comparar o funcionamento destes radiadores com e sem a presença de termossifões. Testes mostraram que uma adaptação simples dos radiadores implicaria no uso de tubos muito delgados, de geometria inadequada para termossifões, não conseguindo desta forma, operar satisfatoriamente. Porém, uma solução parecida com a proposta para a Embraer, onde as paredes externas da cabine do caminhão podem operar como fonte fria acoplada a condensadores de termossifões poderia aumentar em várias vezes a capacidade de arrefecimento dos radiadores dos caminhões. A Fig. 23 mostra o túnel de vento construído para testes do radiador do termossifão.

5.6 Equipamentos para recuperação de água em torre de resfriamento industriais

Na indústria, torres de resfriamento são empregadas para o arrefecimento, em alguns graus, de grandes volumes da água provindos dos diversos processos industriais. Uma pequena porcentagem da água resfriada (2 a 3 %) é evaporada e perdida ao ambiente, uma vez que o calor latente necessária a evaporação é retirado do restante da água, resfriando-a. Esta água deve ser reposta, sendo normalmente retirada da bacia hidrográfica local. Torres de resfriamento são equipamentos bastante convenientes quando há grande disponibilidade de água. Porém, com o crescimento de cidades ao redor das refinarias, a demanda de uso de água das bacias hidrográficas locais tem crescido consideravelmente, dificultando a obtenção de licenças ambientais de órgãos governamentais. Particularmente, o estado de São Paulo tem sofrido com problemas de escassez de água, conforme amplamente divulgado pela mídia. No caso da Replan (Refinaria do Planalto em Paulínea), a água consumida nas torres de resfriamento seria suficiente para abastecer uma cidade de cerca de 250.000 habitantes. No Labtucal, com financiamento da Petrobrás, foi desenvolvido um equipamento, que basicamente se constitui de um trocador de calor assistido por um conjunto de termossifões, a ser instalado nas torres de resfriamento, onde os evaporadores estão em contato com o ar úmido, na região interna da torre, e os condensadores com o meio ambiente, que é empregado como sumidouro de calor, na região externa superior destas. Ar úmido é resfriado, ao percolar meios porosos, que estão em íntimo contato térmico com os evaporadores do conjunto de termossifões. O vapor presente no ar úmido se condensa e o líquido condensado retorna por gravidade à planta industrial. O sistema funciona de forma passiva: maior volume de vapor será condensado em dias de vento, quando comparado a dias sem vento, por exemplo. De acordo com o estado da arte das pesquisas no Labtucal, há um potencial de recuperação de vapor de água do ar úmido de até 30%. Um aparato experimental consistindo de uma torre de resfriamento em escala reduzida foi construído e protótipos de recuperadores de água em ar úmido, resfriados passivamente por termossifões, estão sendo estudados, visando o projeto e construção de um protótipo a ser instalado em uma torre real. Uma patente deste equipamento foi gerada em coautoria UFSC-Petrobras. As etapas deste estudo mostradas a seguir já foram cumpridas.

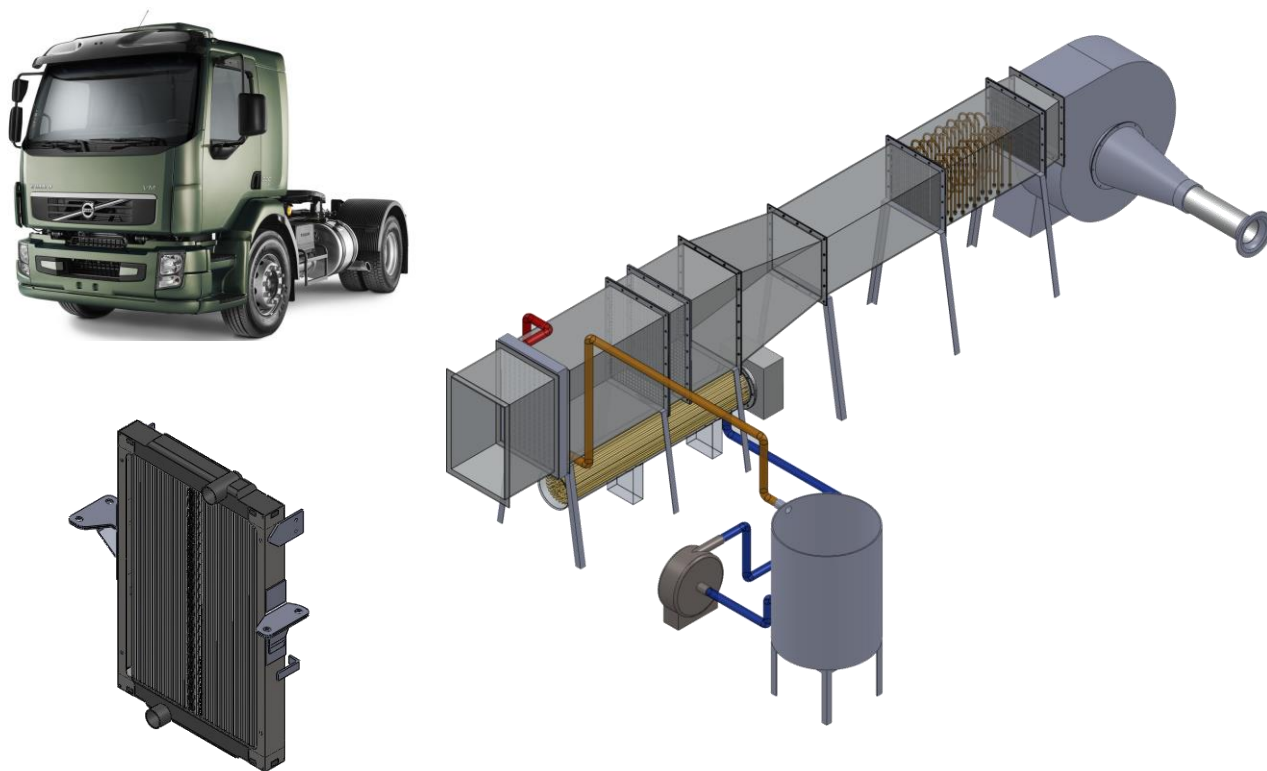


Figura 23: Bancada de testes de radiador de caminhões.

- Um trocador calor com termossifões (torre seca), para promover um pré-resfriamento da água de processo antes que esta atinja a torre de resfriamento convencional (torre úmida), foi projetado, porém este tema de pesquisa foi descontinuado, pois não se recomenda esta solução, uma vez que o equipamento resultante é muito grande.
- Uma bancada para estudo de condensação em superfícies melhoradas e resfriadas, visando à condensação de vapor puro, foi projetada e construída. Protótipos de superfícies de condensação resfriadas foram construídos e testados.
- Uma outra bancada para testes de superfícies e/ou meios porosos capazes de condensar vapor de água misturado ao ar (ar úmido, em condições semelhantes às do ar de saída de uma torre), foi projetada e construída. Protótipos de placas planas e meios porosos foram construídos e testados. A tecnologia envolvendo meios porosos mostrou ser capaz de recuperar até cerca de 30% da água perdida para o ambiente.
- Um protótipo em escala reduzida de uma torre de resfriamento foi projetado e construído. Este protótipo foi caracterizado e empregado para a avaliação do sistema de recuperação desenvolvido, que consiste de meio poroso resfriado por termossifões, os quais empregam ar ambiente como fonte fria. A Fig. 24 ilustra o equipamento proposto e mostra uma foto do protótipo construído.

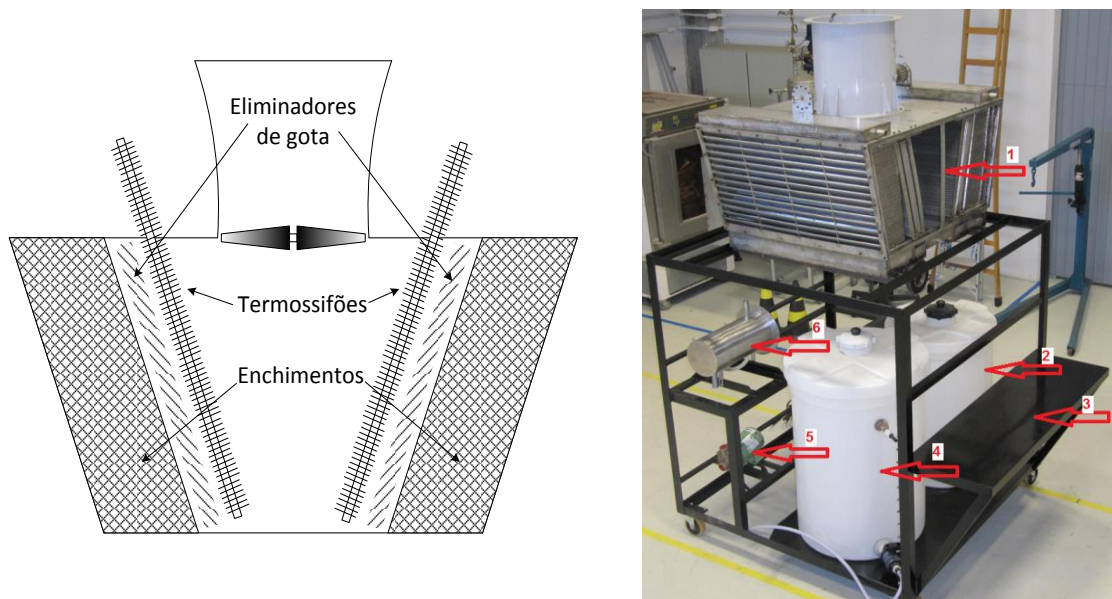


Figura 24: Esquema do equipamento proposto para recuperação de água em torres de resfriamento e fotografia do protótipo desenvolvido.

6 PRINCIPAIS PRODUÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

Com exceção do capítulo de livro, que versa sobre todas as linhas e temas de pesquisa desenvolvidos, as principais produções bibliográficas serão divididas de acordo com as linhas e temas de pesquisa apresentados no capítulo anterior.

6.1 Capítulo de livro

- Mantelli, M.B.H., “Thermosyphon Technology for Industrial Applications”. em “Heat Pipes and Solid Sorption Transformations - Fundamentals and Practical Applications”. 1st ed.: CRC Press, 2013.

6.2 Publicação de artigos em periódicos.

6.2.1 Fornos Industriais assistidos pela tecnologia de termossifões

- NABECHIMA, G. H. ; PROVESI, J. G. ; MANTELLI, M. B. H.; VIEIRA, M. A. ; DE MELLO C. A., DIAS, R. ; AMANTE, E. R.. Effect of the Mild Temperature and Traditional Treatments on Residual Peroxidase Activity, Color, and Chlorophyll Content on Storage of Mate (*Ilex paraguariensis*) Tea. Journal of Food Science, v. 79, p. C163-C168, 2014.
- MILANEZ, F. H. ; MANTELLI, M. B. H. . Thermal Characteristics of a Thermosyphon Heated Enclosure. International Journal of Thermal Sciences, v. 45, p. 504-510, 2006.
- MILANEZ, F. H. ; MANTELLI, M. B. H. . Analytical Model for Thermal Performance Analysis of Enclosure Heated by Aligned Thermosyphons. Journal of Thermophysics and Heat Transfer, v. 20, n.2, p. 267-275, 2006.
- SILVA, A. K. ; MANTELLI, M. B. H. . Thermal Applicability of Two Phase Thermosyphon in Cooking Chambers - Experimental and Theoretical Analysis. Applied Thermal Engineering, Elsevier, v. 24, p. 717-733, 2003.

6.2.2 Trocadores de calor assistidos pela tecnologia de termossifões

- COSTA, C.A.S. ; MANTELLI, M.B.H. ; MILANESE, F.H. ; DA SILVA, A.K. ; RUCKER, C. ; FURLAN, L.T. . Experimental and Numerical Study of an Asphalt Storage Tank in a Reduced Scale. Applied Thermal Engineering, v. 56, p. 101, 2013.
- MANTELLI, M. B. H.; ÂNGELO, W. B. ; BORGES, T. . Performance of naphthalene thermosyphons with non-condensable gases Theoretical study and comparison with data. International Journal of Heat and Mass Transfer, v. 53, p. 3414-3428, 2010.
- MANTELLI, M. B. H.; MILANESE, F. H. . Heat transfer limit due to pressure drop of a two-phase loop thermosyphon. Heat Pipe Science and Technology, An International Journal, v. 1, p. 237-250, 2010.
- CUNHA, A. F V.; MANTELLI, M. B. H. . Analytical and Experimental Analysis of a High Temperature Mercury Thermosyphon. Journal of Heat Transfer, v. 131, p. 092901, 2009.

6.2.3 Trocadores de calor compactos e ultracompactos fabricados por soldagem por difusão

- MANTELLI, M. B. H.; PAIVA, K. V. ; MORTEAN, M. V. V. . Development of diffusion welded compact heat exchanger technology. *Applied Thermal Engineering*, v. 93, p. 995-1005, 2016.
- MORTEAN, M.V.V. ; PAIVA, K.V. ; MANTELLI, M.B.H. . Diffusion bonded cross-flow compact heat exchangers: Theoretical predictions and experiments. *International Journal of Thermal Sciences*, v. 110, p. 285-298, 2016.
- MORTEAN, M. V. V.; BUSCHINELLI, A. J. A. ; PAIVA, K. V. ; MANTELLI, M. B. H.; REMMEL, J.. Soldagem por Difusão de Aços Inoxidáveis para Fabricação de Trocadores de Calor Compactos. *Revista Soldagem e Inspeção*, v. 21, p. 103-114, 2016.

6.2.4 Destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões

Devido a questões de sigilo tendo em vista o pedido de registro de patentes, ainda não pudemos publicar em revistas (há algumas publicações em congressos) os resultados das pesquisas desta linha.

6.2.5 Controle térmico de eletrônicos em veículos espaciais, automotores e aeronaves

6.2.5.1 Tecnologias para controle térmico de componentes eletrônicos.

- ROLDAN V., S. ; VERDIERI, G. G. N. ; FLOREZ MERA, J. P. ; VIEIRA JR., L. E.; MANTELLI, M. B.H. ; KLEIN, A., Development of multilayer porous media using colloidal processing. *Heat Pipe Science and Technology, An International Journal*, v. 6, p. 217-227, 2016.
- FLOREZ, J. P. M. ; MANTELLI, M. B. H. ; NUERNBERG, G. G. V. ; MILANEZ, F. H. . Powder Geometry Based Models for Sintered Media Porosity and Effective Thermal Conductivity. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, v. 1, p. 1-11, 2014.
- MERA, J. P. F. ; Mantelli, Marcia B. H. ; NUERNBERG, G. G. V. . Effective thermal conductivity of sintered porous media: Model and experimental validation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 66, p. 868-878, 2013.
- MANTELLI, M. B. H.; MILANESE, F. H. ; MICHELS, V. . Vapor Chamber Heat Sink with Hollow Fins. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (Impresso)*, v. 34, p. 233-237, 2012.
- MARCHIORI, R. ; BRAGA, W. F. ; MANTELLI, M. B. H. ; LAGO, A.. Analytical solution to predict laser ablation rate in a graphitic target. *Journal of Materials Science*, v. 45, p. 1495-1502, 2010.

6.2.5.2 Veículos espaciais - Microgravidade

- FLOREZ, J. P. M. ; MANTELLI, M. B. H. . Thermal Model for Sintered Cylindrical Evaporators of Loop Heat Pipes. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, v. 32, p. 1-13, 2016.
- PAIVA, K.V. ; MANTELLI, M.B.H. . Wire-plate and sintered hybrid heat pipes: Model and experiments. *International Journal of Thermal Sciences*, v. 93, p. 36-51, 2015.
- PAIVA, K.V. ; MANTELLI, M.B.H. . Theoretical thermal study of wire-plate mini heat pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 83, p. 146-163, 2015.
- PAIVA, K.V. ; MANTELLI, M.B.H. ; SLONGO, L.K. . Experimental testing of mini heat pipes under microgravity conditions aboard a suborbital rocket. *Aerospace Science and Technology*, v. 45, p. 367-375, 2015.
- MANTELLI, M. B. H.; BRAGA, W. F. . Temperature Profiles for Diffusion Problem Precise Solutions Using Heat Balance Integral Method. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer* ^{JCR}, v. 25, p. 443-449, 2011.
- PAIVA, K. V.; MANTELLI, M. B. H.; SLONGO L.K., Analysis of Wire Mini Heat Pipe. *Journal of Heat Transfer*, v. 133, p. 121502, 2011.
- COUTO, P.; MANTELLI, M. B. H.; OCHTERBECK, J. M.. Experimental Analysis of Supercritical Startup of Nitrogen/Stainless Steel Cryogenic Heat Pipes. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, v. 20, n.4, p. 842-849, 2006.
- COUTO, P. ; OCHTERBECK, J. M. ; MANTELLI, M. B. H. . Analysis of Supercritical Startup of Cryogenic Heat Pipes With Parasitic Heat Loads. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, v. 19, n.4, p. 497-508, 2005.
- MILANEZ, F. H. ; MANTELLI, M. B. H. . Theoretical and Experimental Studies of a Bi-Metallic Heat Switch for Space Applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Elsevier, v. 46, p. 4573-4586, 2003.
- LAUNAY, S. ; SARTRE, V. ; MANTELLI, M. B. H. ; PAIVA, K. V. ; LALLEMAND, M. . Investigation of a Wire Plate Micro Heat Pipe Array. *International Journal of Thermal Sciences*, Elsevier, v. 43, p. 499-507, 2003.
- COUTO, P. ; MANTELLI, M. B. H. ; MAROTTA, E. E. ; FULLER, J . Parametric Analysis of Heat Transfer on Multistage Cryogenic Radiator. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, AIAA, v. 16, n.3, p. 313-323, 2002.
- COUTO, P. ; MANTELLI, M. B. H. . Transient Temperature Behavior of Multistage Cryogenic Radiators: Model and Experimental Validation. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, AIAA, v. 14, n.3, p. 313-321, 2000.

- MANTELLI, M. B. H.; BAZZO, E. . Solar Absorber Plates: Design and Application to Microgravity Capillary - Pumped - Loop Experiments. Journal of Spacecraft and Rockets, AIAA, v. 37, n.1, p. 100-107, 2000.

6.2.5.3 Aeronaves

- TECCHIO, C. ; PAIVA, K.V. ; OLIVEIRA, J.L.G. ; MANTELLI, M.B.H. ; GANDOLFI, R. ; RIBEIRO, L.G.S. . Passive cooling concept for onboard heat sources in aircrafts. Experimental Thermal and Fluid Science, v. 82, p. 402-413, 2017.
- OLIVEIRA, J.L.G. ; TECCHIO, C. ; PAIVA, K.V. ; MANTELLI, M.B.H. ; GANDOLFI, R. ; RIBEIRO, L.G.S. . In-flight testing of loop thermosyphons for aircraft cooling. Applied Thermal Engineering ^{JCR}, v. 98, p. 144-156, 2016.
- OLIVEIRA, J. L.G. ; TECCHIO, C. ; PAIVA, K.V. ; MANTELLI, M.B.H. ; GANDOLFI, R. ; RIBEIRO, L.G.S. . Passive aircraft cooling systems for variable thermal conditions. Applied Thermal Engineering, v. 79, p. 88-97, 2015.

6.2.6 Veículos automotores

Devido a questões de sigilo exigidos pela empresa Volvo, ainda não pudemos publicar em revistas (há algumas publicações em congressos) os resultados das pesquisas desta linha.

6.2.7 Equipamentos para recuperação de água em torre de resfriamento industriais

- MANTELLI, M. B. H. Development of porous media thermosyphon technology for vapor recovering in cross-current cooling towers. Applied Thermal Engineering, v. 108, p. 398-413, 2016.
- POZZOBON, J. C. ; MANTELLI, M. B. H. ; DA SILVA, A. K.; Experimental study of unstructured porous media inserts for water recovery in a reduced scale, crossflow cooling tower. Applied Thermal Engineering, v. 96, p. 632-639, 2016.
- COSTA, C.A.S. ; MIRANDA, V. ; MANTELLI, M.B.H. ; DA SILVA, A.K. ; MODENESI, C.R. ; FURLAN, L.T. . Experimental study of flexible, unstructured metal foams as condensation structures. Experimental Thermal and Fluid Science, v. 1, p. 01, 2014.
- CZUBINSKI, F. F. ; MANTELLI, M. B.H. ; PASSOS, J. C. . Condensation on downward-facing surfaces subjected to upstream flow of air vapor mixture. Experimental Thermal and Fluid Science, v. 47, p. 90-97, 2013.

6.2.8 Outros

6.2.8.1 Resistência térmica de contatos

Nesta seção, estão relacionados os artigos publicados relativos ao meu trabalho de tese de mestrado e doutorado. No momento, a área em que realizei minha tese, “Resistência Térmica de Contatos”, se encontra relativamente desativada (embora um dos mestrados que orientei em 2015, realizado no contexto do projeto com a Embraer, envolvia o estudo de resistência térmica de contatos cônicos, aplicados a interface entre termossifões em circuito e condensadores de tubos de calor e/ou termossifões).

- MANTELLI, M. B. H.; MILANEZ, F. H. ; PEREIRA, E. N. ; FLETCHER, L. S. Statistical Model for Pressure Distribution of Bolted Joints. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, v. 24, p. 432-437, 2010.
- MILANEZ, F. H. ; YOVANOVICH, M. M. ; MANTELLI, M. B. H. . Thermal Contact Conductance at Low Contact Pressures. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, Danvers, v. 18, n.1, p. 37-44, 2004.
- MANTELLI, M. B. H.; YOVANOVICH, M M . Parametric Heat Transfer Study of Bolted Joints. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, AIAA, v. 12, n.3, p. 382-390, 1998.
- MANTELLI, M. B. H.; YOVANOVICH, M M . Compact Analytical Model for Overall Thermal Resistance of Bolted Joints. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 41, p. 1255-1266, 1998.
- MANTELLI, M. B. H.; YOVANOVICH, M M . Experimental Determination of the Overall Thermal Resistance of Bolted Joints. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, AIAA, v. 10, n.1, p. 177-179, 1996.

6.2.8.2 Demais trabalhos

Trabalhos em parceiras com outros grupos de pesquisa.

- ERNST, M. A. B. ; BALESTIERI, J. A. P. ; LANDA, H. G. ; MANTELLI, M. B. H. . Line/Pack Management For Producing Electric Power On Peak Periods. *Applied Thermal Engineering*, v. 31, p. 42-49, 2010.
- MANTELLI, M. B. H.. Medidas Experimentais de Emissividade Efetiva de Superisolantes Multicamadas Construídos com Materiais Nacionais. *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo*, v. 9, n.1, p. 38-41, 1989.

7 PATENTES REGISTRADAS

- MANTELLI, M. B. H.; LANDA, H. G. ; SILVA, A. K. . **EQUIPAMENTO E MÉTODO PARA CONVERSÃO DE FORNOS ELÉTRICOS PARA GÁS NATURAL OU GLP - 2005**, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI04004957, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 11/02/2004;

Depósito PCT: 11/02/2004; Concessão: 27/09/2005. Instituição(ões) financiadora(s): CENPES/Petrobras.

- MANTELLI, M. B. H.; MILANEZ, F. H. . **DIODO TÉRMICO PASSIVO - 2009**, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI9903684, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 25/08/1999; Concessão: 14/07/2009.
- MANTELLI, M. B. H.. **MINI TUBOS DE CALOR HIBRIDOS. 2011**, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI017110000960, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 14/07/2011; Depósito PCT: 14/07/2011; Concessão: 15/07/2011. Instituição financiadora: Universidade Federal de Santa Catarina.
- MANTELLI, M. B. H.; REZENDE, A. L. . **APERFEIÇOAMENTO INTRODUZIDO EM FORNO DE LASTRO NÃO CONVECTIVO COM SISTEMA DE AQUECIMENTO UTILIZANDO TERMOSSIFÕES – 2012**, Nº Patente: MU8902505-9. 2012, Brasil, Número do registro: PI00022120736860, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Depósito: 17/11/2009; Depósito PCT: 17/11/2009; Concessão: 04/05/2012.
- MANTELLI, MARCIA B. H. FURLAN, L. T. ; MODENESI, C. R. . **TORRE DE RESFRIAMENTO. 2014**, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020140272763, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 31/10/2014.
- OLIVEIRA, L. C. M. ; SANTOS, M. C. ; MACHADO, R. A. F. ; MANTELLI, M. B. H. ; MARANGONI, C. ; MILANEZ, K. W. ; MENEGUELO, A. P. . **EQUIPAMENTO E PROCESSO DE DESTILAÇÃO COM CONTROLE DE ENERGIA PELA DEMANDA. 2014**, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020140297, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 28/11/2014.
- SANTOS, M. C.; MANTELLI, M. B. H. ; PAIVA, K. V. ; MORTEAN, M. V. V. . **PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE UM NÚCLEO DE UM TROCADOR DE CALOR. 2014**, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR2014000408, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 14/11/2014.
- MANTELLI, M. B. H.; FURLAN, L.T. ; MODENESI, C.R. . **TORRE DE RESFRIAMENTO. 2014**, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020140272763, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 31/10/2014.
- PAIVA, K. V. ; MANTELLI, M.B.H. ; GANDOLFI, R. ; RIBEIRO, L.G.S. ; OLIVEIRA, J.L.G. . **PASSIVE AIRCRAFT COOLING SYSTEMS AND METHODS. 2014**, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PCT14/322,133, Instituição de registro: United States Patent and Trademark Office. Depósito: 02/07/2014

8 ORIENTAÇÕES DEFENDIDAS

Os orientações defendidas serão divididas de acordo com as linhas e temas de pesquisa apresentados anteriormente.

8.1 Fornos Industriais assistidos pela tecnologia de termossifões

8.1.1 Mestrado

- Luis Hernan Rodriguez Cisterna. Análise de um secador de ervas medicinais assistido por termossifões. 2014.
- Bianca Sens dos Santos. Estudos de Processos Termo-Químicos de Cocção de Pizza em Fornos Assistidos por Termossifões. 2009.
- Rafael Eduardo da Cruz. Desenvolvimento de Metodologia para Determinação das Parcelas Radiativa e Convectiva em Queimadores de Gás de Médio Porte. 2006.
- Alexandre Kupka da Silva. Fornos de Cocção Assistidos por Termossifões de Dupla Fase. 2001.

8.2 Trocadores de calor assistidos pela tecnologia de termossifões

8.2.1 Mestrado

- Tiago Walter Uhlmann. Termossifões de sódio aplicados em um coletor solar parabólico com motor Stirling. 2016.
- Andrés Paul Sarmiento Cajamarca. Análise teórica de trocadores de calor casco - casco termossifões. 2016.
- Camilo Augusto dos Santos. Estudo numérico experimental do comportamento térmico de tanques de asfalto aquecidos por tecnologia de termossifões. 2008.
- Alexandre Silveira de Oliveira. Controle Térmico de Placas de Refrigeração Usando Princípio Peltier, Visando Maior Eficiência Energética. 2007.
- Wagner Barbosa Angelo. Sistemas de Aquecimento de Gás Natural para Estações de Compressão e Entrega. 2007.
- André Roberto Nisgoski. Análise de Um Circuito de Termossifão Bifásico. 2002.

8.2.2 Doutorado

- André Felipe Vieira da Cunha. Desenvolvimento de Modelos Matemáticos para Termossifões com Metal Líquido e Comparação com Dados Experimentais. 2008.

8.3 Trocadores de calor compactos e ultracompactos fabricados por soldagem por difusão

8.3.1 Mestrado

- Marcus Vinicius Volponi Mortean. Desenvolvimento de tecnologias de recheio para trocadores de calor compactos soldados por difusão. 2014

8.4 *Destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões*

8.4.1 Mestrado

- Estevan Grosch Tavares. Determinação do Perfil de Temperatura de uma Unidade de Destilação Pelicular Assistida por uma Câmara de Vapor. 2008.

8.5 *Controle térmico de eletrônicos em veículos espaciais, automotores e aeronaves*

8.5.1 Tecnologias para controle térmico de componentes eletrônicos.

8.5.1.1 *Mestrado*

- Juan Pablo Florez Mera. Análise da Transferência de Calor em meios de porosidade variável para tubos de calor. 2011.
- Vanessa Michels. Desenvolvimento de Aletas para Dissipadores Térmicos do Tipo Câmara de Vapor. 2007.
- Gustavo George Verdieri Nuernberg. Estudo de fluidos de trabalho para termossifões que operam em níveis intermediários de temperatura. 2007.
- Paulo Couto. Projeto e Desenvolvimento de Radiadores Criogênicos Passivos para Aplicações Espaciais. 1999.
- Fernando Henrique Milanez. Desenvolvimento de um Diodo Térmico para Aplicações Espaciais. 1999.

8.5.1.2 *Doutorado*

- Gustavo George Verdieri Nuernberg. Desenvolvimento de Estrutura Bi-Porosa para Utilização em Loop Heat Pipes. 2016. (Co-orientação).

8.5.2 Veículos espaciais - Microgravidade

8.5.2.1 *Mestrado*

- Kleber Vieira de Paiva. Comportamento Térmico em Gravidade e Microgravidade em Mini Turbos de Calor do Tipo Fios-Placas. 2007.
- Walber Ferreira Braga. Modelo de Analogia Elétrica para Problemas de Ablação Unidimensional. 2002.

8.5.2.2 *Doutorado*

- Walber Ferreira Braga. Nova abordagem do método do balanço integral: aplicação a problemas inversos de condução de calor. 2012.
- Kleber Vieira de Paiva. Desenvolvimento de novas tecnologias para mini tubos de calor: análise teórica e experimental. 2011.

8.5.3 Aeronaves

8.5.3.1 Mestrado

- Tiago Ramos de Alvarenga. Interface para transferência de calor entre trocador de calor passivo e termossifão em circuito para aplicações em aeronaves. 2016.

8.6 Veículos automotores

8.6.1 Mestrado

- Nelson Yurako London Pabon. Projeto e fabricação de um túnel de vento para caracterização térmica de radiadores de caminhões. 2014.

8.7 Equipamentos para recuperação de água em torre de resfriamento industriais

8.7.1 Mestrado

- João Carlos Pozzobon. Recuperação de água em torres de resfriamento por meio de estruturas de condensação porosas. 2015.
- Fernando de Freitas Czubinski.. Condensação em Superfícies expostas a fluxo de vapor de água ascendente na presença de gases não condensáveis.. 2011.
- Silvia Viana Teles. Estudo de um Sistema de Condensação Utilizando Tubos de Calor em Torres de Resfriamento. 2010.

8.8 Outros

8.8.1 Resistência térmica de contatos

8.8.1.1 Mestrado

- Eliete Nascimento Pereira. Influência da Distribuição da Pressão de Contato na Condutância Térmica de Juntas Aparafusadas. 2008.

8.8.1.2 Doutorado

- Fernando Henrique Milanese. *Condutância Térmica de Contato a Baixas Pressões de Interface*. 2003.

8.9 *Alunos de Iniciação Científica*

Ao longo destes anos de pesquisa, supervisionei trabalhos de iniciação científica com os alunos relacionados abaixo:

- Diogo Machado Moraes Caldas.
- Mauricio Guimaraes Reynaldo.
- Cassiano Tecchio.
- Luiz Domingos
- Joel Moreira Machado.
- Leandro Podda.
- Clayton Muller.
- João Pedro Santos Mendes.
- Yago Andrey Braun
- Pedro Henriques Mantelli.
- Felipe de Souza França.
- Leonardo Scaburi Reinol.
- Tiago Rodrigo de Lima Fernandes.
- Leonardo Scaburi Reinol..
- Tiago Walter Uhlmann.
- Amanda Luiza Buerger
- Vitor Miranda
- Marcus Vinicius dos Santos.
- Isabela Omelczuk.
- Gabriel Pereira Nery.
- Julia Maria Bork.
- Fernando Caser Silva.
- Leonardo Kessler Slongo.
- Sílvio José Montibeller Burg.
- Julia Fransozi Carneiro.
- Daniel Besen de Aguiar.
- Thiago Peterson Moojen.
- Yuri Castilho Caldeira Brant.
- Daniel Godinho.
- Diogo Felipe Isoppo.
- Gustavo Presser Cañas
- Flávio Reis.
- Carlos Alexandre Pereira Patusco.
- Robson Thiago Zanadrea.
- Luis Gustavo Persson.
- Kleber Frestas Maximiliano da Cunha.
- Rafael Zimmermann.
- Michel Ribas Lobato.

- Leonardo Kessler Longo.
- Thiago de Campos Dias Monteiro.
- Guilherme Kratka Lins da Rocha.
- Lucas Mello de Campos Arruda.
- Rovadir Baungartner
- Kleber Vieira de Paiva.
- André Álvaro Lopes.
- Jeferson Luiz Ferreira.
- Frederic Piovezan.
- Clenilson Jordão Gonçalves.
- Jones Ricardo Mueller.
- Ricardo A Penteadó.

9 RECURSOS DE CONTRATOS MAIS RECENTES

Somente os recursos de projetos mais recentes serão relacionados, pois não teria sentido relacionar todos os recursos sem atualizar valores tendo em vista a inflação brasileira.

- 2014 – Atual - Estudo do Desempenho Térmico de Tubos de Calor Pulsante em Microgravidade – TCP - R\$: 374.900,00
- 2012 – Atual - Desenvolvimento de meios porosos com distribuição bimodal de tamanho de poros para aplicação em tubos de calor em circuito – UNIVERSAL - R\$: 100.000,00
- 2013 – Atual - Desenvolvimento de tubos de calor para dissipação térmica em aeronaves – EMBRAER - R\$: 1.114.845,87
- 2012 – Atual - Desenvolvimento de tecnologias para trocadores de calor – TTTER- R\$: 1.934.289,47
- 2012 – Atual - Desenvolvimento de tecnologia de destilação em película – DESTUBCAL II- R\$: 3.375.195,80
- 2014 – 2015 - Clearnegy: Projeto, fabricação e testes de tubos de calor de alta temperatura - R\$: 178.527,60
- 2012 – 2015 - Desenvolvimento de Trocadores de Calor Compactos – Trocadif - R\$: 6.507.768,75
- 2012 – 2014 Desenvolvimento de Equipamentos para Secagem Controlada de Ervas Medicinais – Baldo. - R\$: 70.000,00
- 2012 – 2014 Desenvolvimento de Tecnologias de Tubos de Calor Afins para Aplicação em Radiadores de caminhões– VOLVO - R\$: 70.000,00

- 2008 – 2013 Desenvolvimento de Processos e Equipamentos para Conservação de Recursos Hídricos em Refinarias – HIDRITER - R\$: 1.720.299,68
- 2011 – 2012 – Desenvolvimento de fornos de cocção de biscoito utilizando a tecnologia de Tubos de Calor – Bister - R\$: 602.910,30

10 OBJETIVOS, METODOLOGIA E RESULTADOS ESPERADOS PARA FUTURO PRÓXIMO

Neste capítulo serão apresentados os objetivos a serem alcançados no futuro próximo, dentro de cada linha de pesquisa desenvolvida, as quais são divididas em temas a serem desenvolvidos, visando dar continuidade aos trabalhos que vem sendo executados no Labtucal, sob a minha supervisão, ao longo das últimas décadas. Todas as linhas e temas aqui apresentados tem grande potencial de gerar publicações de qualidade, mantendo-se o ritmo de publicações que o Labtucal vem apresentando na última década, quando o grupo de pesquisas já havia atingido a sua maturidade.

10.1 Fornos Industriais assistidos pela tecnologia de termossifões

O Brasil é um país de forte vocação agrícola, sendo, por muito tempo, considerado como o celeiro do mundo. Porém, o Brasil tem dificuldades de exportar alimentos manipulados (e, portanto, com maior valor agregado) devido a problemas de qualidade dos produtos. Podem-se citar, como exemplo, os processos de secagem de grãos, frutas e leguminosas que, normalmente envolvem o contato direto do alimento a ser seco com gases provenientes da combustão de lenha, tornando-os inadequados para exportação. Como já observado, os fornos desenvolvidos para cocção de pães assistidos pela tecnologia de termossifões, permitem a cocção em um ambiente livre de contaminantes, de temperatura e umidade bem distribuídas e controladas, que permitem uma economia de energia de até 50% quando comparados a fornos convencionais. Estes fornos (esteiras ou bateladas) podem ser facilmente adaptados para serem empregados na secagem de outros produtos, como erva mate, ervas medicinais, maçãs, tomates, legumes (abobrinha, cenoura, berinjela, etc), tubérculos (mandioca, batata, beterraba, etc). Porém é imprescindível que se conheça bem o processo de secagem a ser empregado em cada produto para se poder desenvolver um secador adequado. Uma das ideias que estão sendo exploradas é a instalação de secadores em containers (de fácil transporte por caminhões) de forma que cooperativas agrícolas poderiam adquirir secadores móveis, que poderiam atender, a domicílio, as necessidades dos cooperados. Assim, nesta linha de fornos industriais, propõe-se a seguinte metodologia de trabalho:

- Levantamento das necessidades de secagem de produtos agrícolas junto ao produtor e escolha dos produtos a serem secos.
- Estudo do processo ideal de secagem, utilizando os conhecimentos prévios e os equipamentos disponíveis no Labtucal.
- Projeto do secador assistido por termossifões a ser empregado na secagem dos produtos agrícolas.

- Fabricação de equipamentos e, caso haja algum produtor envolvido, entrega do equipamento (que pode estar instalado em um container).

10.2 Trocadores de calor assistidos pela tecnologia de termossifões

O projeto TTTER, que se encontra em sua fase final, permitiu ao Labtucal visitar diversas refinarias da Petrobrás, para um levantamento das possibilidades de aplicação da tecnologia em diversas unidades. Dentro deste projeto, pôde-se completar bancada universal de testes (BANCUN) com a instalação de mais um circuito por onde escoar líquido aquecido e pressurizado. A BANCUN até então era capaz de testar apenas trocadores de calor envolvendo dois fluxos de gases. No momento, trocadores de calor assistidos por termossifões, que promovem a troca de calor entre fluxos de gás e de líquido e entre dois fluxos de líquido, estão sendo testados. Óleo térmico está sendo empregado como o fluido quente que circula no circuito pressurizado; porém, no futuro próximo pretende-se empregar petróleo, testando e qualificando os trocadores de calor com termossifões para uso em sistemas de resfriamento de petróleo. Este tema de pesquisa certamente gerará artigos, mas pode também gerar patentes. Neste tema, pretende-se adotar a seguinte metodologia de pesquisa:

- Ajustes finais na bancada e realização de testes.
- Levantamento de dados de processos onde os trocadores de calor por termossifões possam ser aplicados.
- Desenvolvimento de tecnologias de trocadores de calor do tipo líquido-líquido.
 - Desenvolvimento de trocadores de calor com líquidos pressurizados – projeto de carcaças e acoplamentos mecânicos.
- Desenvolvimento de tecnologias de trocadores de calor do tipo gás-líquido.
 - Desenvolvimento de trocadores de calor com gases pressurizados – projeto de carcaças e acoplamentos mecânicos.
- Construção de protótipos.
- Testes de equipamentos.

Ainda nesta linha de pesquisa, estão sendo estudadas, no Labtucal, tecnologias de trocadores de calor de alta temperatura, como os utilizados em reatores nucleares e em equipamentos de geração remota de energia elétrica, que utilizam energia solar de concentradores e/ou queimadores de biogás (como os comercializados pela empresa Cleanergy). Nos termossifões destes trocadores, emprega-se sódio como fluido de trabalho. Mais especificamente, pretende-se desenvolver termossifões de sódio em formato de árvore para aplicações em fornos de alta temperatura e/ou coletores solares de células fotovoltaicas. Modelos matemáticos estão sendo desenvolvidos e comparados positivamente com dados experimentais. Este tema de pesquisa certamente gerará artigos, mas pode também gerar patentes. Neste tema, pretende-se adotar a seguinte metodologia de pesquisa:

- Pesquisa bibliográfica e levantamento do estado da arte em projeto, fabricação e testes de termossifões de alta temperatura, com metal líquido como fluido de trabalho.

- Desenvolvimento de processos de fabricação de termossifões de sódio e desenvolvimento de bancadas de carregamento.
- Projeto de termossifões em árvore e/ou outras configurações (em circuito por exemplo).
- Fabricação de protótipos de termossifões em alta temperatura.
- Desenvolvimento de bancada de testes de termossifões de sódio da geometria escolhida anteriormente (geometria reta, curvas, inclinadas, em árvore, etc).
- Desenvolvimento de protótipos de fornos de alta temperatura e realização de testes térmicos, utilizando bancadas e equipamentos disponíveis no Labtucal.

10.3 Trocadores de calor compactos e ultracompactos fabricados por soldagem por difusão

O Labtucal conta hoje com uma infraestrutura de testes única no mundo no que tange à pesquisas envolvendo soldagem por difusão, pois conta com um forno de grande porte (adquirido de uma empresa alemã, capaz de atingir temperaturas de até 1700° C e pressões de até 250 toneladas, em atmosfera controlada, com um volume útil de soldagem de 60x60x80 cm³). Alie-se a isto a máquina de corte de chapas com jatos de água e tem-se infinitas possibilidades de desenvolvimento de processos e equipamentos, tais como recheios de trocadores de calor. Estes equipamentos são caros e complexos, sendo que seu uso demanda intensivo treinamento da equipe. Parcerias com Laboratórios de Materiais (Labmat) e Laboratório de Soldagem (Labsolda) estão sendo firmadas, envolvendo alunos de pós-graduação. Esta linha de pesquisa pode gerar patentes. Neste contexto propõe-se o seguinte plano de trabalho:

- Reuniões de “brainstorming” com grupos de pesquisa do Labmat e Labsolda
- Definição de temas de pesquisa
- Definição de equipe e proposta de plano de trabalho
- Desenvolvimento das atividades propostas.

O conjunto de equipamentos supracitados permite a fabricação de canais fechados tridimensionais, de forma a ser possível a fabricação de trocadores de calor ultracompactos, cujos campo de aplicações é vasto, envolvendo a indústria do petróleo, a indústria alimentícia, etc. Também podem ser aplicados em evaporadores de termossifões em circuito, que podem, por exemplo, ser aplicados em veículos (aeronaves, automóveis, caminhões, etc.). Estes trocadores ultracompactos serão projetados, construídos e testados usando bancadas já disponíveis no Laboratório. Este tema de pesquisa pode gerar patentes. Para este tema de pesquisa, pretende-se adotar a seguinte metodologia de trabalho:

- Pesquisa bibliográfica a respeito de trocadores de calor ultracompactos e procedimentos de fabricação.
- Escolha da geometria a ser testada.
- Fabricação e teste de protótipo

- Desenvolvimento de modelos matemáticos
- Desenvolvimento de simulações numéricas dos comportamentos termo-hidráulicos dos equipamentos desenvolvidos.
- Acoplamento do trocador em um termossifão em circuito.
- Testes do termossifão em circuito.

Pretende-se, também fabricar protótipos de trocadores compactos empregando-se processo patenteado pela equipe. Estes trocadores estão sendo desenvolvidos principalmente para serem empregados em plataformas de petróleo do pré-sal. Até recentemente havia apenas um fornecedor destes equipamentos no mercado mundial, que determinava o preço destes equipamentos. A Petrobrás pretende se tornar mais independente desta empresa, e para isto investe no desenvolvimento de processos nacionais de fabricação destes dispositivos, de forma que, além de conseguir praticar preços mais interessantes para a empresa, poder exercer maior controle sobre a geometria dos trocadores. Desta forma, diferentes geometrias de trocadores estão sendo considerados e os respectivos processos de soldagem estão sendo desenvolvidos. Modelos matemáticos que permitam a otimização do projeto do trocador de calor também estão sendo desenvolvidos. Este tema de pesquisa pode gerar patentes. Para este tema de pesquisa sugere-se a seguinte metodologia de trabalho:

- Levantamento de dados de operação dos equipamentos em plataformas de petróleo ou outras aplicações na Petrobrás.
- Escolhas das geometrias.
- Desenvolvimento de processos de fabricação de trocadores de calor por soldagem por difusão.
- Fabricação de protótipos empregando a patente já registrada.
- Testes térmicos em bancadas de testes disponíveis no Labtucal.

10.4 Destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões

A segunda fase deste projeto, desenvolvido em parceria com o LCP da Eng. Química, já se encontra na fase final. O estado da arte do projeto de destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões demonstra que estes equipamentos são capazes de destilar com eficiência térmica e química misturas de água e álcool e de fluidos orgânicos, empregando-se um tubo de destilação. Serão necessários mais testes para verificar o desempenho deste equipamento com diversos tubos de destilação em paralelo (destilador multitubular). Prevê-se a continuidade desta linha de pesquisa para os próximos anos, onde os equipamentos já desenvolvidos serão testados com petróleo. A análise de resultados experimentais permitirá o melhoramento do equipamento proposto. Este tema de pesquisa pode gerar patentes. Pretende-se desenvolver este tema de pesquisa através da seguinte metodologia:

- Montagem final do destilador multitubular.

- Testes do dispositivo unitubular na destilação de petróleo.
- Testes do dispositivo multitubular em misturas de água e álcool e em misturas de fluidos orgânicos.
- Análise de resultados.
- Proposta de melhorias do equipamento, visando sua aplicação em uma unidade da Petrobrás.

10.5 Controle térmico de eletrônicos em veículos espaciais, automotores e aeronaves

10.5.1 Tecnologias para controle térmico de componentes eletrônicos.

Serão testados vários procedimentos/tecnologias de fabricação de meios porosos especiais, obtidos a partir de pós-metálicos não convencionais. Estes meios porosos serão caracterizados quanto às suas propriedades termofísicas e serão empregados em tubos de calor e em circuitos de tubos de calor (Loop Heat Pipes - LHP). Os dispositivos resultantes serão testados em bancadas experimentais especialmente montadas para este fim (algumas já disponíveis) e serão empregados em LHPs a serem utilizados no controle térmico de equipamentos em satélites e em aviões. Este projeto está sendo desenvolvido em parceria com o Labmat e este tema tem potencial para a geração de patentes. Para o desenvolvimento deste tema de pesquisa propõe-se a seguinte metodologia de trabalho:

- “Brainstorming” com a equipe envolvida no projeto, incluindo o Labmat visando escolha de tecnologias a serem desenvolvidas.
- Aquisição de materiais (pós metálicos, ligantes, solventes, etc)
- Fabricação de protótipos
- Caracterização do material obtido.
- Fabricação de tubos de calor e tecnologias afins empregando-se estes materiais.
- Testes destes dispositivos.
- Análise de resultados.

10.5.2 Veículos espaciais - Microgravidade

O Labtucal vem, há mais de 15 anos, trabalhando no desenvolvimento de diferentes tecnologias de tubos calor, dentre as quais pode-se citar os tubos de calor de pequenas dimensões ranhurados (mini heat pipes). Este trabalho, desenvolvido no contexto de uma dissertação de mestrado, foi contemplado com o Prêmio ABCM de melhor mestrado no Brasil. Mini tubos de calor do tipo sanduíche de placas e fios metálicos e com meios porosos obtidos por sinterização em camadas foram desenvolvidos e testados em laboratório e em ambiente microgravidade. Atualmente, além dos aprimoramentos da tecnologia de minitubos de calor (desenvolvimento de mini tubos de calor híbridos) e de meios porosos especiais (várias camadas), o Labtucal tem concentrado esforços no desenvolvimento de PHP, onde modelos matemáticos estão sendo desenvolvidos e serão

empregados como ferramenta de entendimento dos fenômenos observado e de projeto destes dispositivos. Uma cooperação com grupos internacionais (Itália e Inglaterra) tem impulsionado o desenvolvimento desta tecnologia. Neste contexto, experimentos de PHP para testes em foguetes de sondagem brasileiros, estão sendo desenvolvidos. Os resultados destes testes embasarão o projeto de um experimento para ser testado em plataforma a ser construída pela ESA na ISS. Este tema tem potencial de gerar patentes. A seguinte metodologia é proposta:

- Reuniões bimestrais em fone-conferência envolvendo todos os pesquisadores envolvidos com este tema de pesquisa, incluindo os nacionais e estrangeiros.
- Fabricação e testes em laboratório de protótipos de mini tubos de calor para testes em foguetes de sondagem brasileiros.
- Fabricação e testes em laboratório de protótipos de LHPs para testes em foguetes de sondagem brasileiros.
- Desenvolvimento de experimentos de PHP para testes em foguetes de sondagem brasileiros, em conjunto com a Universidade de Brighton (Inglaterra) e com as universidades Italianas de Pisa e Bergamo.
- Desenvolvimento de experimentos de LHP para testes em foguetes de sondagem brasileiros, pela equipe brasileira.
- Desenvolvimento, em um consórcio envolvendo diversos países e grupos de pesquisa, de experimentos de PHP para testes em uma plataforma a ser construída pela ESA na ISS.

10.5.3 Aeronaves

As duas primeiras fases do desenvolvimento de equipamentos para a transferência de calor, assistidos por termossifões e que empregam o ambiente externo da aeronave em voo ou dutos de ar condicionado como sumidouro de calor foram finalizados, culminando nos testes de protótipos em voo de aeronaves da Embraer. Os equipamentos, que se encontram em estágio de desenvolvimento nível de maturidade seis, estão prontos para serem agora projetados visando a sua fabricação em escala e sua aplicação em aeronaves reais. Como são muitas as possibilidades de aplicação da tecnologia, pretende-se escolher, junto a Embraer, um “case” para desenvolvimento de equipamento específico e assim introduzir a solução para a empresa. Uma terceira fase de projeto está em negociação e deve se iniciar em meados de 2017. Este tema de pesquisa deve gerar patentes envolvendo processos de fabricação dos dispositivos. Sugere-se a seguinte metodologia a ser empregada no presente tema:

- Brainstorming com a Embraer visando a escolha do “case”.
- Desenvolvimento de processos de fabricação do equipamento escolhido
- Fabricação dos dispositivo, para teste do processo de fabricação em si e para posterior testes de performance térmica.
- Testes de performance térmica do dispositivo em laboratório.
- Testes de performance térmica do dispositivo em voo.

- Busca de parceiros na indústria para a fabricação e fornecimento em escala industrial do equipamento a ser empregado nos aviões da Embraer.

10.6 Veículos automotores

Tendo em vista que a adaptação de radiadores convencionais com termossifões não se mostrou ser um caminho a ser seguido (os termossifões que se encaixariam nos radiadores convencionais teriam geometria inapropriada para seu bom funcionamento), novas tecnologias de refrigeração de motores de veículos automotores, mais especificamente de caminhões serão desenvolvidas. Estas envolvem termossifões em circuito e permitem que o calor gerado pelo motor do veículo seja dissipado não somente utilizando a parte frontal do veículo, mas também toda a parte externa da cabine, aumentando em muito a capacidade de arrefecimento, grande gargalo hoje para o desenvolvimento de veículos mais possantes. Os evaporadores dos termossifões serão compactos e fabricados no forno de soldagem por difusão a partir do empilhamento de chapas metálicas usinadas com a máquina de corte com jato de água recém adquirida. A bancada (túnel de vento) disponível será empregada na caracterização destes novos dispositivos, em condições nominais de operação de um caminhão, determinadas pela empresa Volvo. Em paralelo serão realizadas simulações numéricas pra predição do comportamento térmico destes dispositivos em desenvolvimento. Processos de fabricação destes dispositivos também precisam ser desenvolvidos, os quais serão testados a partir de sua aplicação na construção de um protótipo. Este tema de pesquisa pode gerar patentes e a seguinte metodologia é proposta para a sua condução:

- Finalização de testes de termossifões que seriam empregados em radiadores convencionais de caminhões.
- Projeto de termossifões compactos altamente eficientes, com evaporadores produzidos por soldagem por difusão.
- Fabricação e testes de evaporadores compactos.
- Fabricação e testes de termossifões em circuito utilizando a bancada disponível
- Análise de resultados e propostas de melhorias do equipamento.

10.7 Equipamentos para recuperação de água em torre de resfriamento industriais

Resultados anteriores desta linha de pesquisa permitiram o registro de patente de um condensador de vapor assistido pela tecnologia de termossifões, a serem instalados no interior de torres de resfriamento, visando a condensação de parte do vapor gerado no processo de resfriamento da água industrial de trabalho, normalmente perdido para a atmosfera. Este projeto já está bastante avançado, sendo que os meios porosos metálicos, que são afixados junto aos condensadores dos termossifões, já foram desenvolvidos e testados, apresentando bons resultados. Um protótipo de uma torre de resfriamento em escala reduzida, assistida por um dispositivo de captação de vapor de água com termossifões, foi construído e testado com sucesso, ou seja, a tecnologia demonstrou ser viável. Nesta fase, pretende-se otimizar o equipamento. Protótipos de laboratório dos equipamentos otimizados serão construídos e testados. Um feixe de termossifões será instalado em uma torre de resfriamento real da Petrobrás, provavelmente a torre do CENPES. Novos meios porosos poderão

ser propostos, os quais deverão ter processos de fabricação estabelecidos (a infraestrutura do Labtucal pode ser empregada para este fim) e testados em bancada menor, já utilizada e disponível no laboratório. A seguinte metodologia é proposta para o desenvolvimento deste tema de pesquisa:

- Finalização dos testes, em bancada (torre de resfriamento em escala reduzida), de estrutura composta de termossifões e meio poroso metálico, já proposta e previamente testada.
- Projeto de condensador otimizado, levando em consideração a região interna da torre (evaporadores dos termossifões) e a parte externa (condensadores, sujeitos às condições climáticas de onde a torre será instalada).
- Desenvolvimento de modelagem numérica para análise de condensação em meio poroso resfriado.
- Construção e testes, em bancada da torre de resfriamento em escala reduzida, de protótipos do equipamento otimizado.
- Projeto, com auxílio de ferramentas de modelagem matemática e numérica, de condensadores de vapor a ser instalado em torre de resfriamento real, na Petrobras.
- Testes preliminares dos termossifões a serem empregados neste equipamento, em laboratório.
- Construção e instalação de um condensador, assistido por termossifões, em uma torre de resfriamento real da Petrobrás.
- Execução de testes e análise de resultados.
- Em paralelo pode haver necessidade de testes em bancadas menores já disponíveis, de meios porosos otimizados.

10.8 Outras atividades

Como resultado direto das linhas e temas de pesquisa aqui propostos, pretende-se, nos próximos quatro anos:

- Formar pessoal nos próximos dois anos:
 - 6 defesas de doutorado
 - 8 defesas de mestrado
 - 12 trabalhos de conclusão de curso
- Publicar artigos:
 - Manter o mesmo ritmo dos últimos 3 anos, ou seja, pelos menos 12 artigos em 3 anos, em periódicos indexados Qualis 1A e 1B
- Depositar patentes: 2 a 4 patentes
- Continuar atuando como:

- Editora chefe do periódico: Heat Pipe Science and Technology, an International Journal Beggel House, New York, USA.
- Editora Associada (com remuneração) da AIAA Journal of Thermophysics and Heat Transfer, a partir de janeiro de 2017.
- Membro de Corpo editorial do periódico: Journal of Aerospace, Technology and Management, São José dos Campos, Brasil.
- Revisora de artigos dos periódicos:
 - International Journal of Thermal Sciences
 - Journal of Thermophysics and Heat Transfer
 - International Journal of Heat and Mass Transfer
 - Journal of Heat Transfer
 - Heat Transfer Engineering
 - Applied Thermal Engineering
 - Journal of Aircraft
 - Journal of Aerospace Technology and Management
 - Int. Journal of Microscale and Nanoseale Thermal and Fluid Transport Phenomenon
 - Journal of Electronic Packaging
 - Heat Pipe Science and Technology, An International Journal.
- Membro dos comitês internacionais:
 - Organização das Conferências Internacionais de Tubos de Calor
 - Organização de Simpósios Internacionais de Tubos de Calor
 - Comitê de Termofísica da AIAA - American Institute for Astronautics and Aeronautics.

11 ORIENTAÇÕES EM ANDAMENTO

As orientações em andamento serão relacionadas com as linhas e temas de pesquisa conforme apresentado anteriormente.

11.1 Fornos Industriais assistidos pela tecnologia de termossifões

11.1.1 Mestrado

- Guilherme Paul Jaenisch
- Mauricio Guimarães Reynaldo

11.2 Trocadores de calor assistidos pela tecnologia de termossifões

11.2.1 Mestrado

- Pedro Lando Bellani
- Vitor Rodrigues Miranda

11.3 Trocadores de calor compactos e ultracompactos fabricados por soldagem por difusão

11.3.1 Mestrado

- Grégori Rosinski

11.3.2 Doutorado

- Andrés Paul Sarmiento Cajamarca

11.4 Destiladores de petróleo compactos e termicamente eficientes assistidos por termossifões

11.4.1 Doutorado

- Ana Paula Braga Pires
- Estevan Grosch Tavares

11.5 Controle térmico de eletrônicos em veículos espaciais, automotores e aeronaves

11.5.1 Tecnologias para controle térmico de componentes eletrônicos.

11.5.1.1 Doutorado

- Luis Alonso Betancur Arboleda

11.5.2 Veículos espaciais – Microgravidade

11.5.2.1 Mestrado

- Arthur Ronan Facin

11.5.2.2 Doutorado

- Juan Pablo Mera Florez

11.5.3 Aeronaves

11.5.3.1 Mestrado

- Cassiano Tecchio

11.6 Veículos automotores

11.6.1 Doutorado

- Nelson Yuraco London Pabon

11.7 Equipamentos para recuperação de água em torre de resfriamento industriais

11.7.1 Mestrado

- Felipe Rodrigues de Castro

11.8 Alunos de Iniciação Científica

Os alunos de iniciação científica atualmente atuando no Labtucal estão relacionados abaixo:

- Gabriel Serafin Couto Vieira
- Gonçalo Vitto.
- Gerson Leandro Mota Santos.
- Jânio Grosskopf.
- Luisa Bastos Mateus.
- Maria Clara Kauduinski Cardoso.
- Maria Eduarda Chiamulera.
- Maria Julia Ioshiura.
- Marcos Vicente dos Reis Junior.
- Nayana Catóia Dias Muller.
- Pedro Von Hohendorff Seger.
- Victor Matvienko.

12 CONCLUSÃO

Neste documento apresento um resumo de minha carreira de ensino, pesquisa e extensão, desde a minha graduação em Engenharia Mecânica, visando subsidiar o processo de progressão funcional para o nível de Professor Titular. Mais detalhes podem ser encontrados nas minhas publicações e no meu Currículo Vitae apresentado na Plataforma LATTES.

Florianópolis, 15 de dezembro de 2016.

Profa. Marcia B. H. Mantelli
Departamento de Engenharia Mecânica - EMC
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.