

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Valdemir Alves de Oliveira

**AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DOS
EVAPORADORES AUTOMOTIVOS SUBMETIDOS AO
PROCESSO DE REBRASAGEM**

Taubaté – SP

2011

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Valdemir Alves de Oliveira

**AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DOS
EVAPORADORES AUTOMOTIVOS SUBMETIDOS AO
PROCESSO DE REBRASAGEM**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo curso de Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Projetos Mecânicos.

Orientador: Prof. Dr. José Rubens de Camargo.

Taubaté – SP

2011

Valdemir Alves de Oliveira

**AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DOS EVAPORADORES
AUTOMOTIVOS SUBMETIDOS AO PROCESSO DE REBRASAGEM**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Projetos Mecânicos.

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Rubens de Camargo - Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves – Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dra. Cristina de Carvalho Ares Elisei - FATEC Pindamonhangaba - Centro Paula Souza

Assinatura _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Regina e ao meu filho Vinícius que tanta paciência tiveram comigo nesta caminhada rumo ao aprendizado.

À Dona Lourdes, minha mãe, por acreditar e sempre rezar por mim.

Aos meus irmãos e amigos que mesmo distantes torceram por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, que sempre iluminou os meus caminhos e deu-me forças para seguir adiante.

Aos Diretores Fernando de Campos – COO e Max Davis Forte – CEO da **Behr Brasil** por disponibilizarem as amostras e liberarem a execução dos testes e pelo apoio e incentivo ao projeto.

Ao Prof. Dr. José Rubens de Camargo, por todas as orientações, inclusive aos sábados, domingos e feriados, por todos os seus conselhos, pela sua amizade, encorajamento e incentivo e pela sua infinita disposição e bondade.

Aos colegas e professores da UNITAU pela ajuda, orientação e apoio que me deram.

Ao Sr. Eduardo Palma da Instrumental (representante da Buehler) e Regiane Chagas da Behr Brasil pela ajuda e apoio na preparação de todas as amostras.

Aos amigos e colegas da Behr Brasil Ltda. que tanto apoiaram e incentivaram este trabalho.

Sem sonhos, as perdas se tornam insuportáveis, as pedras do caminho se tornam montanhas, os fracassos se transformam em golpes fatais. Mas, se você tiver grandes sonhos... Seus erros produzirão crescimento, seus desafios produzirão oportunidades, seus medos produzirão coragem. Apesar dos nossos defeitos, precisamos enxergar que somos pérolas únicas no teatro da vida e entender que não existem pessoas de sucesso ou fracassadas. O que existe são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles. Por isso, desejo que você **NUNCA DESISTA DE SEUS SONHOS.**

Autor desconhecido

RESUMO

AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DOS EVAPORADORES AUTOMOTIVOS SUBMETIDOS AO PROCESSO DE REBRASAGEM

Esta avaliação buscou validar a técnica de retrabalho utilizada no processo de fabricação de evaporadores automotivos, onde a falha na operação de brasagem e tratamento térmico é um dos principais motivos para o alto índice de sucata. A técnica de retrabalho consiste em refazer a operação de brasagem e tratamento térmico nos evaporadores que apresentaram falhas no teste de estanqueidade. Os evaporadores foram submetidos ao processo de rebrasagem em forno de brasagem *NOCOLOK* e o tratamento superficial em forno de tratamento térmico e avaliados por meio de teste de estanqueidade, utilizando-se gás Hélio (He) à pressão de 16bar e ensaio metalográfico comparativo entre peças produzidas com o ciclo normal de brasagem e tratamento térmico e com o ciclo de rebrasagem, avaliando as modificações nas juntas brasadas. Os resultados obtidos nos 05 experimentos demonstraram que houve modificações significativas nas juntas brasadas após os evaporadores terem sido submetidos ao processo normal de brasagem, seguido de mais 04 ciclos de rebrasagem e tratamento térmico. Portanto, para a fabricação dos evaporadores automotivos fica recomendado a execução de brasagem e no máximo uma rebrasagem, eliminando a possibilidade de execução de novas rebrasagens.

Palavras-chave: Brasagem. retrabalho. estanqueidade. evaporadores. alumínio.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE RELIABILITY OF THE AUTOMOTIVE EVAPORATORS SUBMITTED TO THE REBRAZING PROCESS

This evaluation sought the validation of the rework technique used in automotive evaporators manufacturing, where this failure on brazing operation is a main reason to high level of scrap. The rework technique consists in redoing the brazing operation and thermal treatment on evaporators which fail the leak test. The evaporators were subjected to rebrazing process in NOCOLOK furnace and surface treatment in thermal treatment furnace and evaluated through leak test device, using Helium (He) at 16bar of pressure and metallographic test to compare normally produced parts with rebrazing ones, evaluating the structural changes of the material. The results got from 05 experiments made showed that there were significant changes in the brazing joint, after the evaporators being subjected to the normal brazing process, followed by 04 more rebrazing cycles and thermal treatment. Therefore, for the automotive evaporators manufacturing the brazing execution is recommended and at the most a rebrazing, eliminating the possibility of execution of new rebrazing.

Keywords: Brazing. rework. leak. evaporators. aluminum.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Capilaridade	23
FIGURA 2 -	Exemplo de junta para Brasagem (1) junta sobreposta; (2) junta de topo em ângulo; (3) junta flangeada; (4) junta em T; (5) junta em forma de luva; (6) junta tampão; (7) junta de tubo com chapa	24
FIGURA 3 -	Classificação dos processos de junção	27
FIGURA 4 -	Radiador de automóvel convencional	30
FIGURA 5 -	Funcionamento esquemático de um radiador	31
FIGURA 6 -	Radiador acoplado a um motor de automóvel	32
FIGURA 7 -	Vista seccionada de um motor V-8, mostrando o sistema de arrefecimento	34
FIGURA 8 -	Seção dos canais inclinados das aletas mostrando os dois tipos de fluxo de ar , através do duto e através dos canais inclinados	35
FIGURA 9 -	Fluxograma das etapas do trabalho de brasagem e rebrasagem	38
FIGURA 10 -	Imagem de uma máquina de conformação de aleta	42
FIGURA 11 -	Imagem de uma aleta conformada utilizada em evaporador	42
FIGURA 12 -	Imagem do rolo formador de aleta (peça que sofre setup)	43
FIGURA 13 -	Detalhe do ângulo de janela de uma aleta conformada	44
FIGURA 14 -	Imagem do tubo chato utilizado na fabricação de evaporador	45
FIGURA 15 -	Caixa superior utilizada na fabricação de evaporador	45
FIGURA 16 -	Tubo de sucção (esquerda) e tubo líquido (direita)	46
FIGURA 17 -	Máquina de recravagem de tubo de sucção e tubo líquido	47
FIGURA 18 -	Grelhas com evaporadores para brasagem	48
FIGURA 19 -	Grelhas com evaporadores entrando no termodeseengraxe	49
FIGURA 20 -	Evaporador Automotivo – Amostra da experiência nº 1	50
FIGURA 21 -	Forno de brasagem NOCOLOK	54

FIGURA 22 - Estágios da brasagem no processo NOCOLOK	55
FIGURA 23 - Gráfico de tempo e temperatura de um processo de brasagem NOCOLOK	56
FIGURA 24 - Vista geral do forno de tratamento térmico BehrOxal	57
FIGURA 25 - Vista interna das duchas do forno de tratamento térmico BehrOxal	58
FIGURA 26 - Descrição básica do tratamento térmico BehrOxal	58
FIGURA 27 - Teste de estanqueidade por imersão em tanque com água	60
FIGURA 28 - Gráfico ATEQ	61
FIGURA 29 - Diagrama do teste a seco ATEQ	61
FIGURA 30 - Gráfico do ciclo completo do teste a seco com equipamento ATEQ	62
FIGURA 31 - Equipamento de teste a seco ATEQ	62
FIGURA 32 - Equipamento de teste a seco CINCINNATI	63
FIGURA 33 - Máquina de teste Hélio modelo Seiler	64
FIGURA 34 - Diagrama do teste Hélio	64
FIGURA 35 - (a) amostra 1 ; (b) amostra 2 ; (c) amostra 3 ; (d) amostra 4 ; (e) amostra 5	66
FIGURA 36 - Fotomicrografia do tubo de líquido lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	67
FIGURA 37 - Fotomicrografia do tubo de líquido lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	67
FIGURA 38 - Fotomicrografia do tubo de sucção lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	68
FIGURA 39 - Fotomicrografia do tubo de sucção lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	68
FIGURA 40 - Fotomicrografia do tubo de líquido lado A. Aumento 25X. Sem	69

ataque. Observa-se a região da solda brasada

FIGURA 41 - Fotomicrografia do tubo de líquido lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	69
FIGURA 42 - Fotomicrografia do tubo de sucção lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	70
FIGURA 43 - Fotomicrografia do tubo de sucção lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	70
FIGURA 44 - Fotomicrografia do tubo de líquido lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	71
FIGURA 45 - Fotomicrografia do tubo de líquido lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	71
FIGURA 46 - Fotomicrografia do tubo de sucção lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	72
FIGURA 47 - Fotomicrografia do tubo de sucção lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	72
FIGURA 48 - Fotomicrografia do tubo de líquido lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	73
FIGURA 49 - Fotomicrografia do tubo de líquido lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	73
FIGURA 50 - Fotomicrografia do tubo de sucção lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	74
FIGURA 51 - Fotomicrografia do tubo de sucção lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	74
FIGURA 52 - Fotomicrografia do tubo de líquido lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	75
FIGURA 53 - Fotomicrografia do tubo de líquido lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	75
FIGURA 54 - Fotomicrografia do tubo de sucção lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada	76

FIGURA 55 - Fotomicrografia do tubo de sucção lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada

76

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Composição química do material base da liga de alumínio dos evaporadores (CABECEIRA) – Conforme DIN EN 573-3	39
TABELA 2 -	Composição química da liga de brasagem CLAD dos evaporadores (CABECEIRA) – Conforme DIN EN 573-3	40
TABELA 3 -	Composição química do alumínio utilizado nos tubos de líquido e tubo de sucção dos evaporadores – Conforme DIN EN 573-3	40
TABELA 4 -	Evaporadores brasados em diferentes processos	51
TABELA 5 -	Resultado do teste de estanqueidade nos evaporadores	65

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
DIN EN	<i>Deutsches Institut für Normung Europäische Norm</i>
FDA	<i>Fluido de Arrefecimento</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
PLC	<i>Programmable logical controller</i>
ppm	<i>Partes por milhão</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	Processo por soldagem	18
2.1.1	Processo de fusão	19
2.1.2	Processo de caldeamento	19
2.2	Processo por brasagem	19
2.2.1	Brasagem mole	20
2.2.2	Brasagem	20
2.2.3	Soldabrasagem	22
2.2.4	Capilaridade	22
2.2.5	Fluxo para brasagem	23
2.3	Definições da tecnologia de junção	23
2.4	Procedimentos para brasagem	24
2.5	Colagem	27
2.6	Classificações dos processos de junção	27
2.7	Junção por conformação em chapas, tubos e perfis	28
2.7.1	Dobras	28
2.8	Trocadores de calor	28
2.9	Radiadores de autos	30
2.9.1	Descrição de um radiador	30
2.9.2	Função do reservatório e a tampa pressostática	32
2.9.3	Estado da arte do sistema de arrefecimento automotivo	32
2.9.4	Componentes e funcionamento de um sistema de arrefecimento automotivo	33
3.	PROPOSIÇÃO	36
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	Planejamento experimental	38
4.2	Materiais	40
4.3	Fabricação de evaporadores	42
4.4	Corpos de prova	51
4.5	Técnicas	52
4.5.1	Técnica de brasagem	52

4.5.2	Técnica de tratamento anti-corrosivo	53
4.6	Equipamento e acessórios utilizados	53
4.6.1	Forno de brasagem	53
4.6.2	Forno de tratamento térmico	57
4.7	Teste de estanqueidade	60
4.7.1	Teste de estanqueidade por imersão em tanque com água	60
4.7.2	Teste de estanqueidade a seco ATEQ	61
4.7.3	Teste de estanqueidade a seco CINCINNATI	64
4.7.4	Teste de estanqueidade em câmara de gás Hélio	64
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1	Estanqueidade da experiência 1 à 5	66
5.2	Recebimento das 05 amostras do experimento para análise metalográfica	67
5.3	Análise metalográfica da experiência 1	68
5.4	Análise metalográfica da experiência 2	70
5.5	Análise metalográfica da experiência 3	72
5.6	Análise metalográfica da experiência 4	74
5.7	Análise metalográfica da experiência 5	76
6.	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICE	

1 INTRODUÇÃO

O processo de brasagem de componentes automotivos feito em alumínio em forno com atmosfera controlada por nitrogênio é relativamente novo.

Desenvolvido para gradativamente substituir a tecnologia *Copper Brass* que utiliza-se de processos químicos que podem causar alto impacto ambiental e de matérias primas com elevado custo, como por exemplo pode-se citar: o cobre, o latão e o estanho, além é claro, dos produtos químicos empregados no preparo da superfície do latão para a deposição do estanho e da pintura final do produto.

A tecnologia de brasagem em fornos *NOCOLOK* teve seu início há cerca de 20 anos e gradativamente vem aumentando a produtividade e reduzindo os custos com insumos e com a manufatura. A desvantagem desta técnica é a fragilidade na detecção de problemas oriundos de outros processos, como por exemplo, utilização de óleo lubrificante não térmico, falha no processo de desengraxe e ou falha de montagem, que podem impactar diretamente no processo de brasagem, elevando a geração de sucata.

Este trabalho foi desenvolvido utilizando-se a técnica de brasagem *NOCOLOK*, avaliando-se 05 experiências de brasagem e rebrasagem, assim como os tratamentos térmicos. Após as etapas de processamento, as peças foram analisadas por teste de estanqueidade e análise metalográfica para avaliar a solda brasada. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a confiabilidade dos evaporadores automotivos submetidos ao processo de rebrasagem, entendendo por confiabilidade a não degradação da junta soldada e a isenção de defeitos superficiais após a exposição do produto a vários ciclos de rebrasagem, assegurando o mesmo desempenho em campo do produto fabricado com o ciclo de brasagem normal.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Segundo Andrade (2003), uniões fixas são aquelas que se caracterizam pela impossibilidade de separar as peças previamente unidas sem danificar o conjunto.

Os procedimentos que são mais utilizados e que merecem destaques são:

- Soldagem;
- Brasagem;
- Colagem.

2.1 – Processos por soldagem

A Soldagem consiste na união de dois materiais pela fusão do material na região de contato entre as partes, com ou sem adição de material, isto ocorre mediante o emprego de calor e/ou força, formando assim, uma ligação permanente, a qual não pode ser dissolvida sem haver o comprometimento dos elementos (ANDRADE, 2003). A definição da *American Welding Society – AWS* (Sociedade Americana de Soldagem) nos diz: "Processo de união de materiais usado para obter coalescência (junção de duas ou mais partes) localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição."

Para Andrade (2003), a técnica da moderna soldagem começou a ser moldada a partir da descoberta do arco elétrico, bem como também a sintetização do gás Acetileno no século passado, o que permitiu que se iniciassem alguns processos de fabricação de peças, utilizando estes novos recursos. Com o advento da Primeira Guerra Mundial, a técnica da soldagem começou a ser mais utilizada nos processos de fabricação; a Segunda Guerra Mundial imprimiu grande impulso na tecnologia de soldagem, desenvolvendo novos processos e aperfeiçoando os já existentes. Uma das principais características das uniões soldadas é que quando devidamente projetadas são mais leves que as peças fundidas e que as peças rebitadas de mesma rigidez e resistência. Os principais inconvenientes seriam quanto a dificuldade de se verificar a qualidade da junção soldada. Outro ponto seria quanto a sua execução, esta requer cuidados especiais principalmente com o repuxamento e as tensões de contração.

Há dois processos distintos de soldagem:

- Processo de fusão,
- Processo de caldeamento.

2.1.1 - Processo de fusão

Consiste em aquecer a área a ser soldada com uma fonte concentrada de calor que leva à fusão incipiente do metal, devendo-se adicionar metal de enchimento na junta (ANDRADE, 2003).

2.1.2 - Processo de caldeamento

As peças a serem unidas são aquecidas somente até o estado plástico avançado, ao mesmo tempo em que são forçadas umas contra as outras pela aplicação de pressão externa. Este processo exige metais de boa condutibilidade térmica, para evitar o surgimento de tensões internas (ANDRADE, 2003).

2.2 - Processo por brasagem

Segundo Andrade (2003), o termo brasagem abrange um grupo de processos de união que produz a coalescência dos metais pelo aquecimento a uma temperatura adequada e pelo uso de metal de adição que tem um ponto de fusão abaixo da temperatura “*solidus*” do metal de base. Na brasagem, diferentemente da soldagem, o metal de base nunca é levado à fusão. Se o ponto de fusão do metal de adição é superior a 450°C o processo é dito “brasagem forte” (“*brazing*”) e, em caso contrário, é dito “brasagem fraca” (“*soldering*”).

Na brasagem o metal de adição preenche a junta por ação capilar, assim, para a realização de uma junta brasada com boa qualidade, é necessário que haja um perfeito molhamento das faces a serem unidas pelo metal de adição fundido, para isto, é imprescindível que as superfícies do metal de base estejam completamente isentas de óxidos, graxas, etc. A limpeza normalmente é feita por meios químicos ou mecânicos, durante o aquecimento os metais precisam ser protegidos por um fluxo ou uma atmosfera adequada.

Uma operação parecida e confundida com soldagem é a brasagem, neste caso nota-se que as peças nunca se fundem, ao contrário do primeiro processo. Consiste na união de metais através do aquecimento abaixo da temperatura de fusão dos mesmos, adicionando-se uma liga de solda (metal de adição) no estado líquido, a qual penetra na folga entre as superfícies a serem unidas. Ao se resfriar, a junta formada torna-se rígida e resistente (ANDRADE, 2003).

Ao contrário da soldagem, o material de adição ou de brasagem é diferente e tem um ponto de fusão mais baixo do que o material de base que está sendo soldado. A temperatura de liquefação do material de base não é atingida.

Para Andrade (2003), os materiais de adição da brasagem são sempre constituídos de metais puros ou ligas. As formas comerciais comuns são arames, varetas, chapas, fitas, barras, pós, pastas ou peças conformadas. Para se caracterizar como brasagem, o metal de adição deve sempre ter a temperatura de fusão inferior a do material base, evitando-se assim a diluição do mesmo na junta.

O processo de brasagem é dividido em três tipos:

- Brasagem mole;
- Brasagem (propriamente dita);
- Soldabrasagem.

2.2.1 - Brasagem mole

Também denominada como soldagem branca ou solda fraca. Muito semelhante ao processo de brasagem, diferencia-se pela menor resistência mecânica e pela temperatura de trabalho do metal de adição sempre inferior a 450°C. Normalmente as folgas das juntas para solda branca em geral situam-se entre 0,05 mm e 0,20 mm. Possibilita a obtenção de juntas e obturações lisas e isentas de poros, podendo unir entre si diversos tipos de metais como cobre e suas ligas, ferro, ferro fundido, zinco e aços inoxidáveis.

Utilizada nos casos em que são pequenas as forças agentes nas superfícies unidas e baixas as temperaturas de trabalho. Como exemplos de aplicação de soldagem branca, citam-se: contatos elétricos; radiadores; reservatórios; indústrias ópticas, cirúrgicas, alimentícias e de utensílios domésticos; reconstrução de áreas com defeitos e deformações nas carrocerias de veículos; latas e recipientes que devem ser estanques, mas não estejam sujeitos a elevadas solicitações mecânicas. Os metais de adição possuem grande poder de umectação, e geralmente é produzida à base de estanho (ANDRADE, 2003).

2.2.2 - Brasagem

Também denominada como solda forte. Utiliza metais de adição com intervalo de fusão compreendido entre temperaturas abaixo do ponto de fusão do material base e acima de 450°C. Possibilita a obtenção de juntas lisas e isentas de poros, podendo unir entre si a maioria dos metais ferrosos e não ferrosos, com exceção do magnésio e dos metais com baixa temperatura de fusão, como zinco e etc.

Segundo Andrade (2003), a grande vantagem da brasagem é a possibilidade de união de metais dissimilares, como por exemplo: aços diversos com cobre e suas ligas, bronzes, latões, ferros fundidos e compostos de metal duro.

Como exemplos de aplicação de brasagem, citam-se: tubulações hidráulicas e de equipamentos de refrigeração; uniões de componentes metálicos em geral resistentes a diversos tipos de esforços mecânicos; mecânica de precisão; indústria de eletrodomésticos e materiais elétricos; união de ferramentas de carboneto de tungstênio (metal duro) entre outros, os metais de adição mais comumente utilizados são produzidos a base de cobre e/ou prata.

O processo de brasagem em alumínio é muito utilizado na produção e manutenção de ar condicionado automotivo, radiadores, evaporadores de refrigeradores e componentes em alumínio de pequena dimensão (KALPAKJIAN; SCHIMD, 2001). As grandes dificuldades na brasagem de alumínio são a proximidade entre as temperaturas de fusão do material base e do metal de solda, e a dificuldade para remoção do óxido de alumínio.

A brasagem pode ser efetuada utilizando-se a liga BT-712 com o SUPER FLUXO® 77, porém é exigida uma limpeza posterior para remoção dos resíduos de fluxo, para evitar corrosão e degradação da junta, além de contaminação dos gases utilizados em sistemas de refrigeração e ar condicionado. Para eliminar o problema de corrosão causada por resíduos de fluxo, contaminação de gases, e também facilitar a brasagem de peças de dimensões reduzidas e paredes de pequena espessura, como os tubos de evaporadores de ar condicionado automotivo, a Brastak desenvolveu o ALUMIFLUX®, é um fio de alumínio com a mesma composição química e características que a liga BT - 712, porém é tubular e possui o fluxo NOCOLOK®* internamente. Este fluxo não é corrosivo e não apresentou desgaste em testes efetuados com gases de refrigeração como o R 134a, eliminando assim a necessidade de limpeza.

Comparação entre soldagem e brasagem, vantagens da brasagem em relação à soldagem:

- Menores: tempo de operação, consumo de energia, modificação da estrutura do metal, tensão de resfriamento e deformação;
- Pequena ou nenhuma necessidade de acabamento posterior;
- Permite a junção de peças de pequenas dimensões e de difícil acesso e penetração;
- Maior facilidade na disjunção quando necessário;
- Possibilidade de união de uma gama diversificada de materiais dissimilares.

2.2.3 - Soldabrasagem

Para Andrade (2003), semelhante ao processo de brasagem diferencia-se devido à folga na junta ser maior que 0,50 mm e/ou possuir chanfro. Pode se afirmar com segurança que a soldabrasagem é um processo intermediário entre soldagem e brasagem, pois reúne características de ambos os processos. Daí o nome “Solda” “Brasagem”.

Diferencia-se do processo de soldagem devido à temperatura de intervalo de fusão do metal de adição ser inferior a menor temperatura de fusão dos materiais base, sendo a estrutura cristalina dos mesmos menos afetada do que no processo de soldagem autógena. Possibilita a união de materiais dissimilares, como por exemplo: aços carbono com cobre e suas ligas, bronzes, latões, ferros fundidos e ligas de níquel.

Como exemplos de aplicação de soldabrasagem, citam-se: reparos em ferro fundido e aços (mesmo temperados); produção de estruturas leves de aço, especialmente de tubos e outros perfis como móveis de aço, suportes para letreiros, carrinhos de mão e etc. Os metais de adição mais utilizados são latão e alpaca, com temperatura de trabalho em torno de 900°C.

2.2.4 – Capilaridade

Para um melhor entendimento dos processos de brasagem, é fundamental entender-se o conceito de capilaridade, mostrado a seguir.

Segundo Bracarense (2000), a capilaridade é um fenômeno que ocorre quando trabalhamos com fluidos em tubos muito estreitos.

A Figura 1 mostra o fenômeno da capilaridade. Introduce-se um tubo fino e outro estreito em recipientes contendo o mesmo fluido. Os dois fluidos foram aspirados, quando cessou a aspiração o fluido do tubo fino não retrocedeu ao nível normal como no tubo largo, justamente devido ao efeito da capilaridade. Para Bracarense (2000), a experiência explica a ascensão dos líquidos (fluidos) através de corpos porosos como: algodão, papel seco, etc., cujas numerosas e estreitas concavidades comunicantes entre si, formam um conjunto de tubos capilares; explica-nos também, como ocorre à ligação por difusão nos metais, obedecendo ao mesmo princípio.

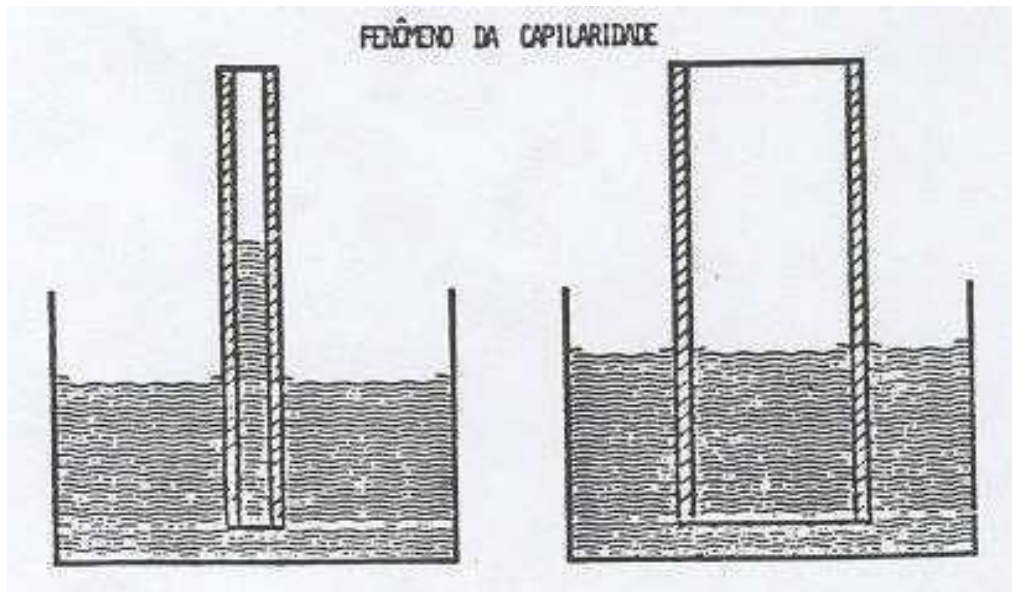


Figura 1 – Capilaridade (Bracarense, 2000).

2.2.5 - Fluxo para Brasagem

A escolha do fluxo para a brasagem comum ou com prata não é sempre fácil, e será sempre aconselhável seguir indicações dos fornecedores de metais de adição. O fluxo é dispensável para os metais de adição de alto teor de fósforo empregados sobre cobre. O emprego de um fluxo é recomendado para a maioria dos casos, no entanto, operando-se em atmosfera inerte ou redutora ele não é tão necessário, ao menos que se esteja utilizando ligas com alto teor de zinco (BRACARENSE, 2000).

2.3 - Definições da tecnologia de junção

Segundo Kalpakjian e Schimid (2001), a junção é a ligação permanente ou uma colocação em contato de duas ou mais peças com uma determinada forma geométrica ou até mesmo de peças com material sem forma definida. Em um processo no qual a composição local é alterada e misturada como um todo.

Bracarense (2000), analisou que a concepção das juntas para brasagem, para elas ficarem realmente resistentes, as juntas brasadas devem ser concebidas especialmente em função do método de brasagem e do metal de adição adotados. A Figura 2 mostra alguns exemplos de juntas brasadas.

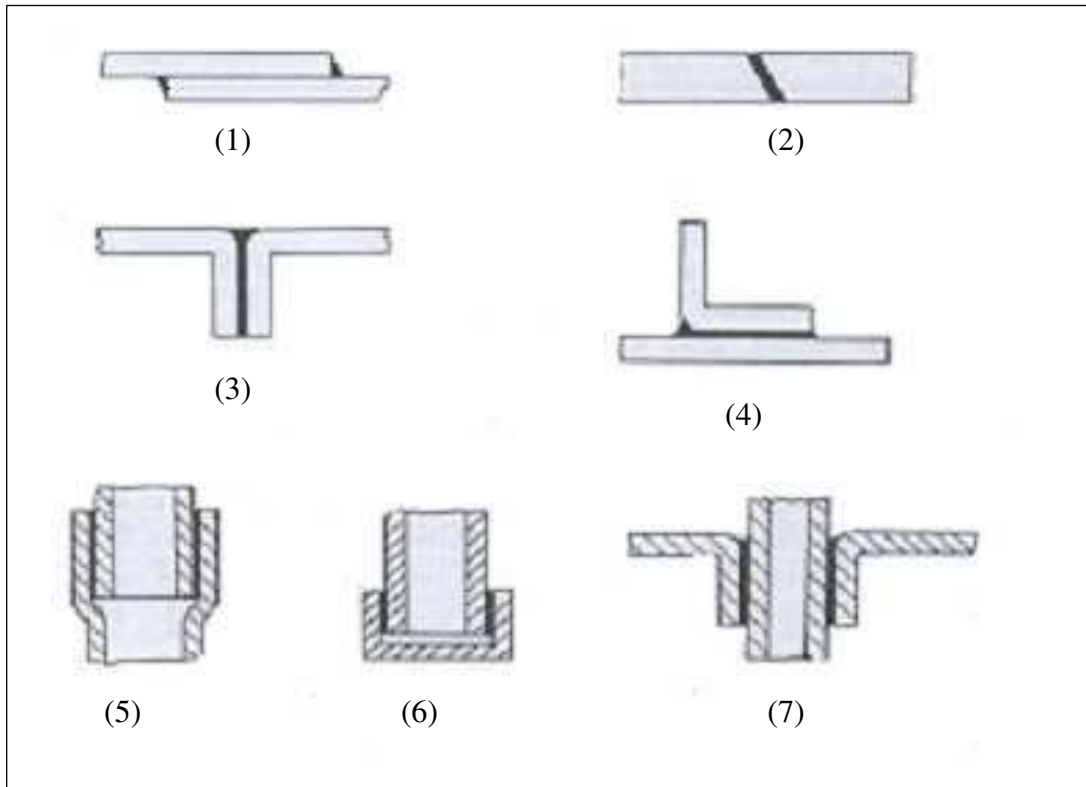


Figura 2 - Exemplo de juntas para brasagem. (1) junta sobreposta; (2) junta de topo em ângulo; (3) junta flangeada; (4) junta em T; (5) junta em forma de luva; (6) junta tampão; (7) junta de tubo com chapa (BRACARENSE, 2000).

O metal de adição opera bem por atração capilar, mas é necessário reforçar este efeito com o peso. Quando brasam-se corpos cruzados é necessário prever orifícios para a saída do ar preso entre as faces.

2.4 – Procedimentos para brasagem

Para Bracarense (2000), os procedimentos para executar-se uma brasagem de forma adequada podem ser divididos em seis etapas:

(1ª.) Estabelecimento da folga entre as peças: Como a penetração se dá por capilaridade, é importante manter a folga, dentro de limites determinados, entre as peças a serem unidas; se a folga for maior ou menor que aquela estabelecida por esses limites, poderá não ocorrer à penetração completa do metal de adição, prejudicando a resistência da junta brasada. Os limites são determinados em função dos metais de adição e de base e geralmente ficam entre 0,02 e 0,08mm. O acabamento superficial das peças deve apresentar uma rugosidade tal que permita, pela criação de canais de alimentação de metal, a penetração do metal de adição. Este

tipo de acabamento, não muito liso ou polido, pode ser obtido na usinagem comum, no lixamento e nos processos de conformação de produtos semimanufaturados. Deve-se levar em conta que a folga é alterada pela dilatação térmica e este fator deve ser considerado principalmente quando são brasadas peças de metais dissimilares, os quais possuem coeficientes diferentes de dilatação térmica. Para se calcular esta dilatação, deve-se levar em conta as dimensões e a forma das peças na região da junta aquecida, além dos coeficientes de dilatação dos metais de base.

(2ª.) Limpeza das peças: As superfícies das peças a serem brasadas devem estar isentas de óleos, graxas, óxidos, resíduos de tintas e outras sujeiras, uma vez que o metal de adição só conseguirá se espalhar pelas peças, ou “molhá-las” se elas estiverem limpas. Estas sujeiras impedem o contato do metal de adição com o metal de base e, em alguns casos, decompõe-se com o aquecimento, gerando dificuldades adicionais para a realização deste contato. Primeiramente, aplica-se solventes orgânicos, vapor desengraxante ou soluções alcalinas para promover o “desengorduramento” da superfície. A retirada de óxidos e carepas é feita mecanicamente, através de lixamento, ou quimicamente, através de aplicação de soluções ácidas compatíveis com o metal de base. Após tratamento químico as peças devem ser lavadas e secadas para evitar a corrosão.

(3ª.) Fluxagem das peças: É feita logo após a etapa de limpeza. Os fluxos são agentes químicos que removem os resíduos de óxidos deixados pelo processo de limpeza e, principalmente, os óxidos formados durante o aquecimento necessário à brasagem. Além disso, eles criam uma atmosfera protetora na região da junção, evitando a presença do oxigênio da atmosfera ambiente. Os fluxos podem ser aplicados em formas de pastas, pincelando-se nas superfícies das peças ou na forma líquida, através de imersão das peças. A natureza dos fluxos é determinada em função da temperatura, dos tipos de óxidos formados no metal de base, dos tempos de aquecimento e principalmente do tipo de metal de base a ser brasado.

(4ª.) Montagem das peças: As peças devem ser justapostas de forma a manter a folga estabelecida durante todo o ciclo de aquecimento, penetração e solidificação do metal de adição. Sempre que possível, deve-se utilizar o próprio peso das peças para mantê-las fixas nas posições corretas. Quando isto não é possível, deve-se utilizar ferramentas e dispositivos

de fixação, que devem ser feitos de materiais de baixa condutibilidade térmica, tais como os materiais cerâmicos.

(5ª.) Brasagem das peças: Deve-se, primeiramente, aquecer as peças na região a ser brasada, utilizando-se um maçarico a chama de gás. No caso de peças pequenas, o aquecimento pode ser feito em toda a peça. Este aquecimento deve ser uniforme em ambas as peças, exceto no caso em que forem de materiais diferentes. Neste caso, deve-se compensar a diferença de condutibilidade térmica com maior tempo de aquecimento na peça de maior condutibilidade; da mesma forma deve-se proceder para peças de tamanhos diferentes, aquecendo por mais tempo a peça de maior massa. O aspecto do fluxo indica que se atingiu a temperatura correta para a aplicação do metal de adição; um aparecimento de estrias indica um superaquecimento. O metal de adição é aplicado em forma de arame ou vareta, diretamente na junta; quando ela entra em contato com as superfícies aquecidas das peças, flui imediatamente, preenchendo a região entre elas. Os metais de adição podem se apresentar também na forma de plaquetas, folhas, pós, pastas e grânulos; eles devem ser pré-colocados ou aplicados antes do aquecimento.

(6ª.) Limpeza da junta brasada: Inicialmente, os resíduos de fluxo são retirados em água aquecida (pelo menos a 50°C), por escovamento ou por outros métodos, de acordo com a natureza do fluxo e com a velocidade de produção. Nos casos do fluxo ter uma elevada aderência na junta, devido ao superaquecimento na brasagem ou ao uso de excesso de fluxo, deve-se empregar para a limpeza uma solução ácida, como 25% de ácido clorídrico em água, a 60-70°C. A peça aquecida pela brasagem pode ser imersa diretamente na água ou em soluções ácidas; neste último meio, o operador deve tomar cuidados especiais com os respingos. Após a remoção dos fluxos, deve-se retirar os óxidos por imersão em soluções de ácido sulfúrico ou clorídrico, com composições dependentes do metal de base. A lavagem e secagem das peças, após a limpeza com soluções ácidas, é necessária para evitar a corrosão; com a mesma finalidade deve-se aplicar um óleo protetor se a peça brasada for ser armazenada antes da sua aplicação.

2.5 - Colagem

É um processo de união inter-metálica que consiste em unir partes metálicas ou não, através da adição de uma substância com grande poder adesivo. Pouco utilizado na união de elementos metálicos porem muito utilizado outros materiais: madeira, plástico, cerâmica, vidro, papel, tecidos entre outros. Consiste na deposição de certa quantidade de cola ou resina em uma ou ambas as superfícies de união. Estas devem estar previamente limpas. Após um determinado período há a cura da resina e com isso ocorre a união das partes.

2.6 - Classificações dos processos de junção

Na Figura 3, pode-se verificar que através de uma multiplicidade de materiais completamente distintos e suas possíveis combinações, tais como metais, plásticos, madeira, têxteis ou papel, que podem ser empregados como peças a serem submetidas a um processo de junção, que pode ser tanto direto, p. ex.: através de soldagem e brasagem, quanto sob a ação de elementos de adicionais de fixação e junção, como; parafusos, rebites e anéis de cravação (BATALHA, 2003).

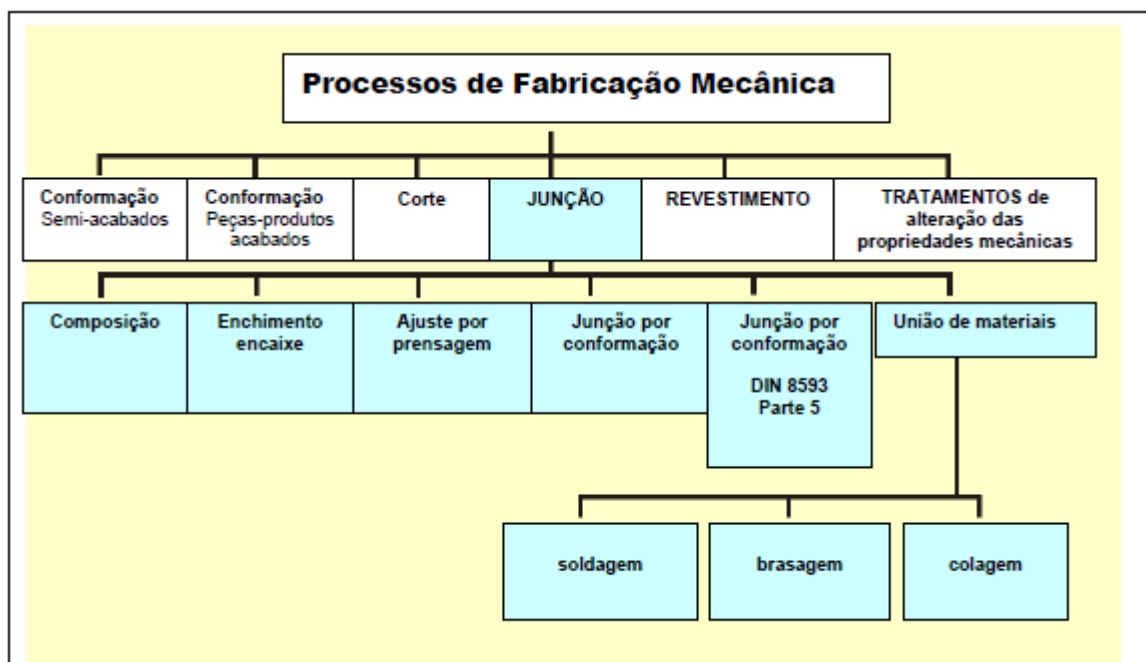


Figura 3 - Classificação dos processos de junção (BATALHA, 2003)

Existem diferenciações nos processos de junção conforme o tipo de união:

- Ligação por aplicação de força (Atrito, força normal);
- Ligação por meio de forma (ex.: prisioneiro, cavilha, pino);
- Ligação por meio material (aderência, ligação química).

2.7 - Junção por conformação em chapas, tubos e perfis

2.7.1 – Dobras

Por dobras compreende-se o flexionamento, cravamento e compressão para união de chapas nas suas extremidades. O processo de junção de chapas por dobramento é usado preferencialmente na junção de chapas metálicas. Por este processo se fixa uma peça a uma segunda após o dobramento.

Para tanto as peças a serem unidas devem apresentar uma boa qualidade de acabamento de suas arestas, produzidas, por exemplo, por estampo. A seguir são ambas as peças cravadas uma na outra e finalmente a região de cravação é dobrada. Neste caso, pode surgir um movimento relativo das peças que estão sendo unidas, que facilitará a cravação das peças.

2.8 – Trocadores de calor

Os trocadores de calor são equipamentos que facilitam a transferência de calor entre dois ou mais fluidos em temperaturas diferentes. Foram desenvolvidos muitos tipos de trocadores de calor para emprego em diversos níveis de complicação tecnológica e de porte, como usinas elétricas a vapor, usinas de processamento químico, aquecimento e condicionamento de ar em edifícios, refrigeradores domésticos, radiadores de automóveis, radiadores de veículos espaciais, etc. Nos tipos comuns, como os trocadores de calor casco tubo e radiadores de automóveis, a transferência de calor processa-se principalmente por condução e convecção, de um fluido quente para um fluido frio, separado por uma parede metálica. Nas caldeiras e nos condensadores, a transferência de calor por ebulição e por condensação é de primordial importância. Em certos tipos de trocadores de calor, como as torres de resfriamento, o fluxo quente (por exemplo, a água) é resfriado por mistura direta

com o fluido frio (por exemplo, o ar); isto é, a água nebulizada, ou que cai em uma corrente induzida de ar, é resfriada por convecção e por vaporização. Nos radiadores para aplicações espaciais, o calor residual do fluido refrigerante é transportado por convecção e condução para a superfície de uma aleta e daí, por radiação térmica, para o espaço (vácuo).

Os trocadores de calor são construídos por tipos, tamanhos, configurações e disposições de escoamento que uma classificação, mesmo arbitrária, é necessária para o seu estudo, Bergles e Joshi (1983), classificam os trocadores de calor de acordo com:

- O processo de transferência de calor,
- A compacticidade,
- O tipo de construção,
- A disposição das correntes, e
- O mecanismo da transferência de calor.

O radiador se classifica no processo de compacticidade, um tema bastante arbitrário. A razão entre a área da superfície de transferência de calor, num dos lados do trocador de calor, e o volume pode ser empregada como medida da compacticidade do trocador de calor. Um trocador de calor com densidade de área superficial, em um dos lados, maior do que cerca de $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$, é classificado, arbitrariamente, como trocador de calor compacto, independentemente de seu projeto estrutural. Por exemplo, os radiadores de automóvel, com uma densidade de área superficial da ordem de $1.100 \text{ m}^2/\text{m}^3$, e os trocadores de calor de cerâmica vítrea, de certos motores de turbina de gás, que têm uma densidade de área superficial na ordem de $6.600 \text{ m}^2/\text{m}^3$, são trocadores de calor compactos.

O incentivo para utilizar-se trocadores de calor compactos está no fato que um alto valor da compacticidade reduz o volume do trocador de calor para um desempenho especificado.

Quando os trocadores de calor destinam-se a automóveis, motores marítimos, aviões ou veículos aeroespaciais, sistemas criogênicos, aparelhos de refrigeração ou de condicionamento de ar, o peso e o volume – portanto, a compacticidade – é importante.

Para aumentar a eficiência ou a compacticidade dos trocadores de calor, emprega-se aletas, num trocador de calor a gás para líquido, por exemplo, o coeficiente de transferência de calor do lado do gás é uma ordem de grandeza mais baixa do que o do lado do líquido, por

isso, usa-se aletas no lado do gás para ter-se um projeto equilibrado; a superfície de transferência de calor do lado do gás torna-se muito mais compacta. A Figura 4 mostra um radiador de automóvel típico.



Figura 4 – Radiador de automóvel convencional (OZISIK, 1990)

2.9 – Radiadores de autos

2.9.1 - Descrição de um radiador

No radiador temos tipos de circulação, como o horizontal ou “*cross-flow*”, e são fabricados com tecnologias avançadas como:

Tecnologias de fabricação

- Cobre/Latão (soldado);
- Alumínio Brasado (soldado);
- Alumínio Mecânico (Expandido).

Tubos:

- Tubos redondos, ovais ou chatos;
- Tubos de alumínio soldado.

O radiador destina-se a dissipar o calor da água quente que circula no sistema de arrefecimento. É composto por dois depósitos de água: um superior e outro inferior, entre os

quais existe um corpo central – a colméia -, normalmente constituído por tubos metálicos de paredes delgadas, como observado na Figura 5.

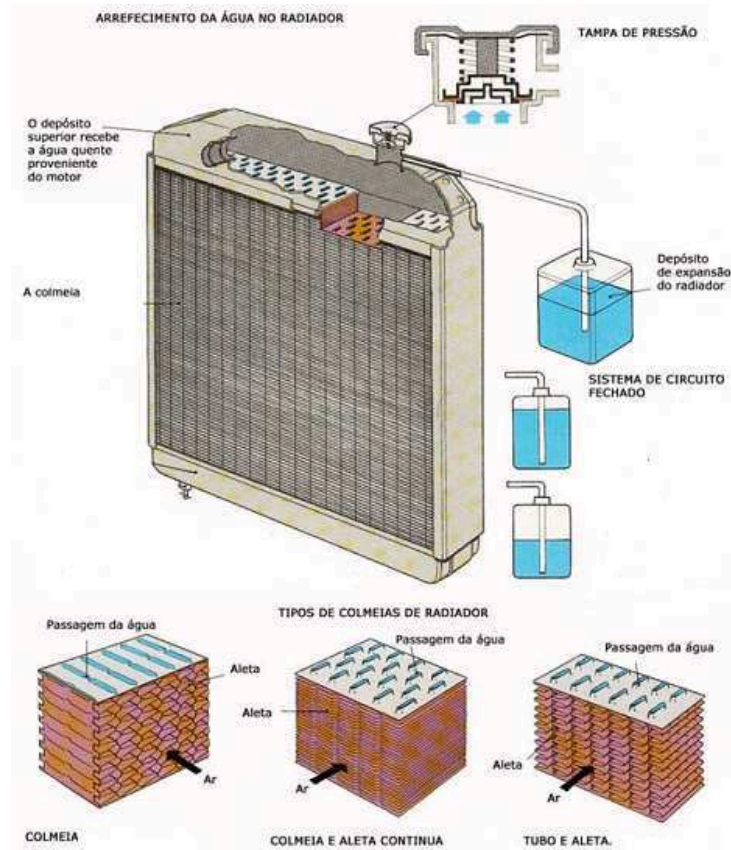


Figura 5 – Funcionamento esquemático de um radiador (Sistemas automotivos, 2011).

A água quente entra no depósito superior, vinda da camisa de água, através do termostato e desce pelo interior da colméia, dissipando o calor. Os tubos têm aletas que proporcionam uma maior área de contato com o ar de resfriamento. Sendo assim a água arrefecida passa para o depósito inferior e retorna ao motor através da bomba de água. Em grande número de radiadores existe um espaço entre a superfície da água e a parte de cima e interior do depósito superior, a fim de permitir a expansão da água. (Sistemas automotivos, 2011).

Qualquer água (ou vapor) em excesso escorre para o solo pelo tubo-ladrão do radiador. Em alguns radiadores atuais, o tubo-ladrão conduz a água para um depósito de expansão suplementar, separado do radiador. Quando a água arrefece, regressa ao depósito superior do radiador. Este dispositivo é designado por um sistema de circuito fechado.

Na Figura 6, tem-se o radiador acoplado ao motor, assim observa-se por onde a água percorre o motor, e explica a colocação do radiador na parte frontal do motor, sendo decorrente da necessidade da entrada de ar.

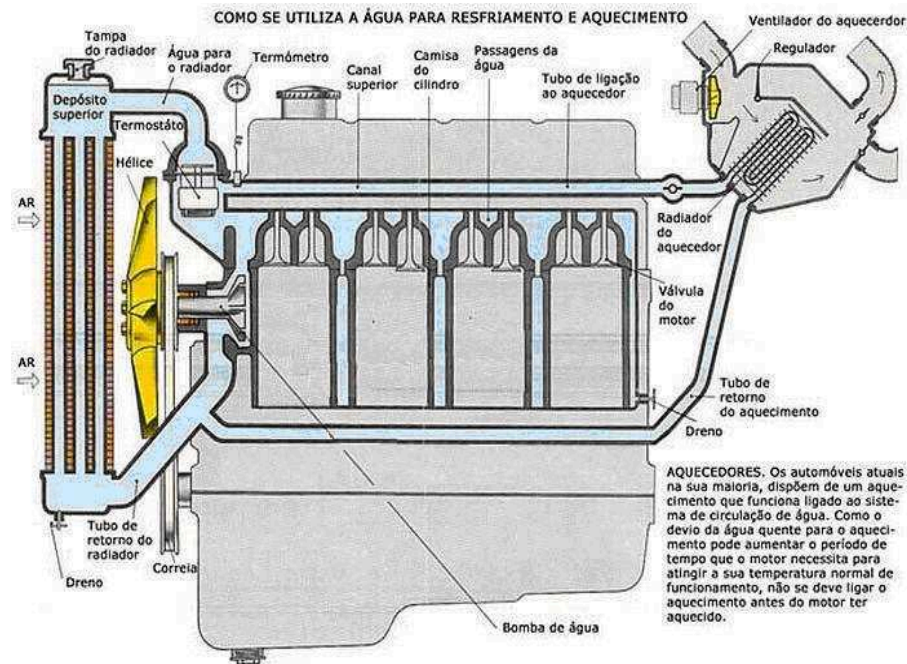


Figura 6 – Radiador acoplado a um motor de automóvel (Sistemas automotivos, 2011)

2.9.2 - Função do reservatório e a tampa pressostática

Absorver a variação de volume do líquido de refrigeração, causada pela variação da temperatura, contendo o líquido de refrigeração (capacidade de 7 a 10% do volume total do circuito), permiti a purga (eliminação) de gás do circuito (respiro), também pressuriza o circuito, graças à tampa pressostática, para elevar a temperatura de ebulição do fluido (faixa entre 0,5 e 2,5 bar abs.) (Sistemas automotivos, 2011).

2.9.3 - Estado da arte do sistema de arrefecimento automotivo

A quantidade de calor que provém do processo da combustão, e que não foi aproveitado para a geração de potência, é rejeitada, primordialmente e em regime permanente, para os gases de exaustão, para o sistema de arrefecimento e para o óleo lubrificante (CROUSE; ANGLIN, 1976).

Em condições não controladas de temperatura das partes metálicas do motor, elas podem sofrer sérios danos, fazendo-se imprescindível a previsão de um apropriado resfriamento das mesmas (CROUSE; ANGLIN, 1976).

Segundo Bohacz (2006), há basicamente três razões que justificam a existência de um sistema de arrefecimento no motor:

1. Promover uma elevada eficiência volumétrica minimizando o fluxo de calor da estrutura do motor para o ar de ingresso.
2. Prevenir a detonação devido a elevadas temperaturas na câmara de combustão.
3. Evitar falhas mecânicas nos materiais devido às elevadas cargas térmicas que provêm de gradientes térmicos excessivos.

2.9.4 - Componentes e funcionamento de um sistema de arrefecimento automotivo

Existem dois tipos de sistemas de arrefecimento automotivo: sistemas de arrefecimento por água e por ar. Os sistemas que fazem uso da água podem ser abertos ou fechados, sendo estes últimos os que correspondem ao presente estudo.

O sistema de arrefecimento automotivo a água é formado pelos seguintes componentes principais:

1. Passagens de fluido no bloco de cilindros ou jaqueta do motor.
2. Radiador.
3. Bomba do líquido de arrefecimento.
4. Termostato.

O funcionamento do sistema de arrefecimento pode ser descrito da seguinte maneira:

1. O FDA (Fluido de Arrefecimento) é bombeado desde a parte inferior do radiador e forçado a circular ao redor das paredes e do cabeçote.
2. Depois de trocar calor com o bloco de cilindros, o FDA circula através da mangueira superior do radiador e chega até o tanque superior.
3. O FDA é resfriado pelo ar que atravessa a colméia do radiador e desce até a mangueira inferior do radiador.
4. Finalmente, o FDA a baixa temperatura circula da mangueira inferior à bomba para começar um novo ciclo.

A Figura 7, mostra um esquema do circuito do sistema de arrefecimento automotivo com as partes mencionadas.

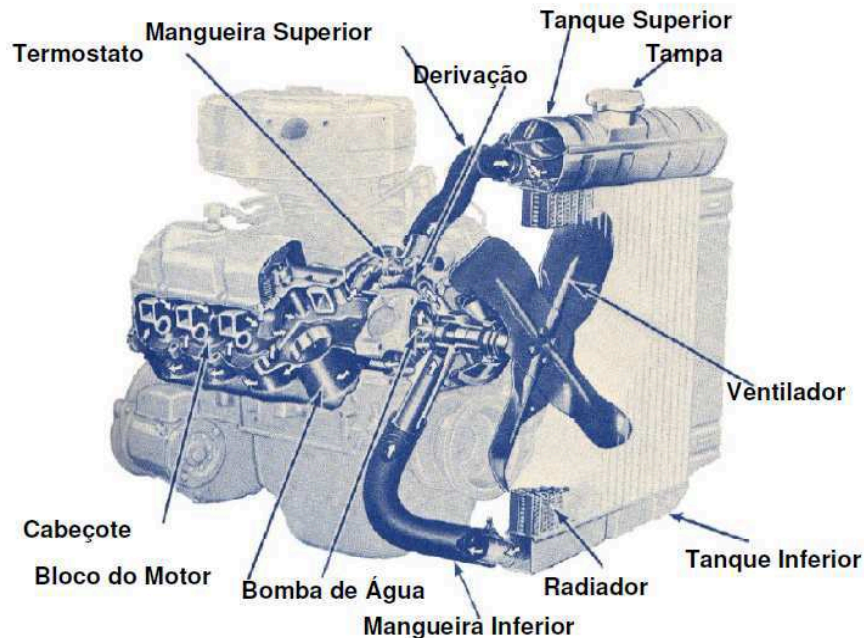


Figura 7 - Vista seccionada de um motor V-8, mostrando o sistema de arrefecimento (CROUSE; ANGLIN, 1976).

Quando o FDA é água, a faixa de temperatura usual está entre 75 °C e 90 °C, com o objetivo de evitar a vaporização do fluido. Com o uso de misturas água – etileno glicol essa faixa de temperaturas pode facilmente superar os 100 °C. Para sistemas pressurizados estes valores sobem.

A transferência de calor por convecção acontece entre um sólido e um líquido escoando sobre a superfície. Este tipo de transferência de calor, no sistema de arrefecimento, ocorre entre o fluido de arrefecimento, o gás da combustão (no lado da câmara de combustão) ou o ar (no lado do radiador), e as superfícies sólidas do motor.

Segundo Cowell et al. (1995), os canais inclinados (persianas) nas aletas apresentam as vantagens de incrementar a transferência de calor na superfície das aletas sem aumentar significativamente perda de carga. A Figura 8, mostra um esquema dos canais inclinados.

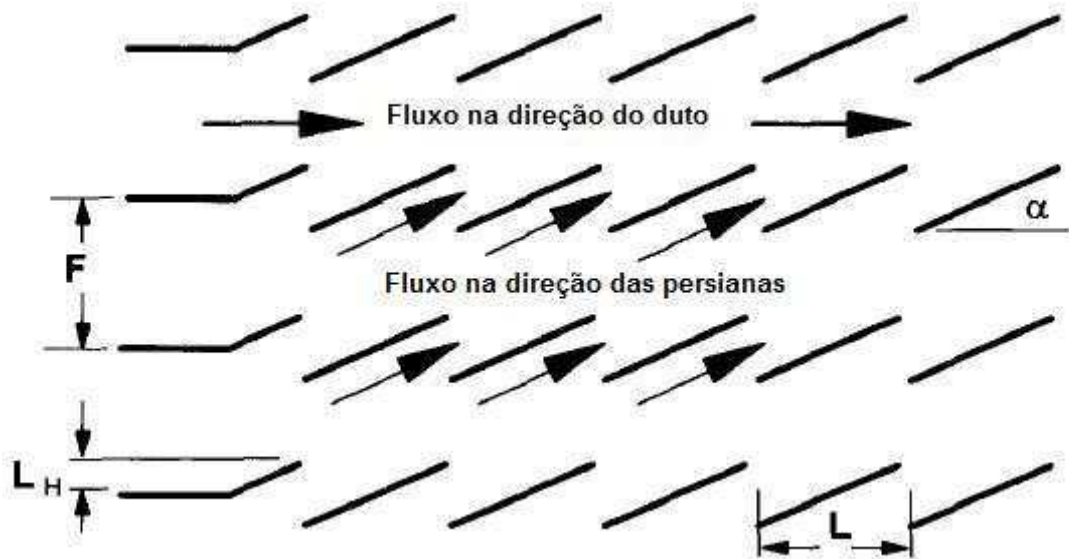


Figura 8 - Seção dos canais inclinados das aletas mostrando os dois tipos de fluxos do ar, através do duto e através dos canais inclinados (COWELL et al., 1995).

3 PROPOSIÇÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a confiabilidade dos evaporadores automotivos submetidos ao processo de rebrasagem.

Foram executados 5 experiências de brasagem e rebrasagem, assim como tratamento anticorrosivo.

Os parâmetros analisados foram:

- Ciclos de brasagem e rebrasagem;
- Teste de estanqueidade e
- Análise metalográfica.

Para poder definir e garantir a especificação das brasagens e rebrasagens foram utilizadas normas internas, assim como realizado um levantamento bibliográfico das principais especificações utilizadas. As normas consultadas foram:

- a) NOC 3 -001 – Processo de brasagem Nocolok – Fev/2008
- b) VN V AR.01087 – Chrome-free spray passivation in accordance with the Behroxal process – Feb/2006.
- c) EEL -027 – Instrução de trabalho teste de estanqueidade –Set/2011

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Planejamento experimental

Para entendimento da execução da avaliação da confiabilidade dos evaporadores automotivos submetidos ao processo de brasagem e rebrasagem, foi detalhado cada fase dos experimentos, como segue:

- a) O experimento n°1 seguirá o fluxo de processo descrito na Figura 9.
- b) O experimento n°2 seguirá o mesmo fluxo do experimento n°1, porém, após ser aprovado no teste de estanqueidade pela 1ª vez, voltará para a etapa de brasagem e seguirá o fluxo do processo até o final.
- c) O experimento n°3 seguirá o mesmo fluxo do experimento n°2, porém, após ser aprovado no teste de estanqueidade pela 2ª vez, voltará para a etapa de brasagem e seguirá o fluxo do processo até o final.
- d) O experimento n°4 seguirá o mesmo fluxo do experimento n°3, porém, após ser aprovado no teste de estanqueidade pela 3ª vez, voltará para a etapa de brasagem e seguirá o fluxo do processo até o final.
- e) O experimento n°5 seguirá o mesmo fluxo do experimento n°4, porém, após ser aprovado no teste de estanqueidade pela 4ª vez, voltará para a etapa de brasagem e seguirá o fluxo do processo até o final.

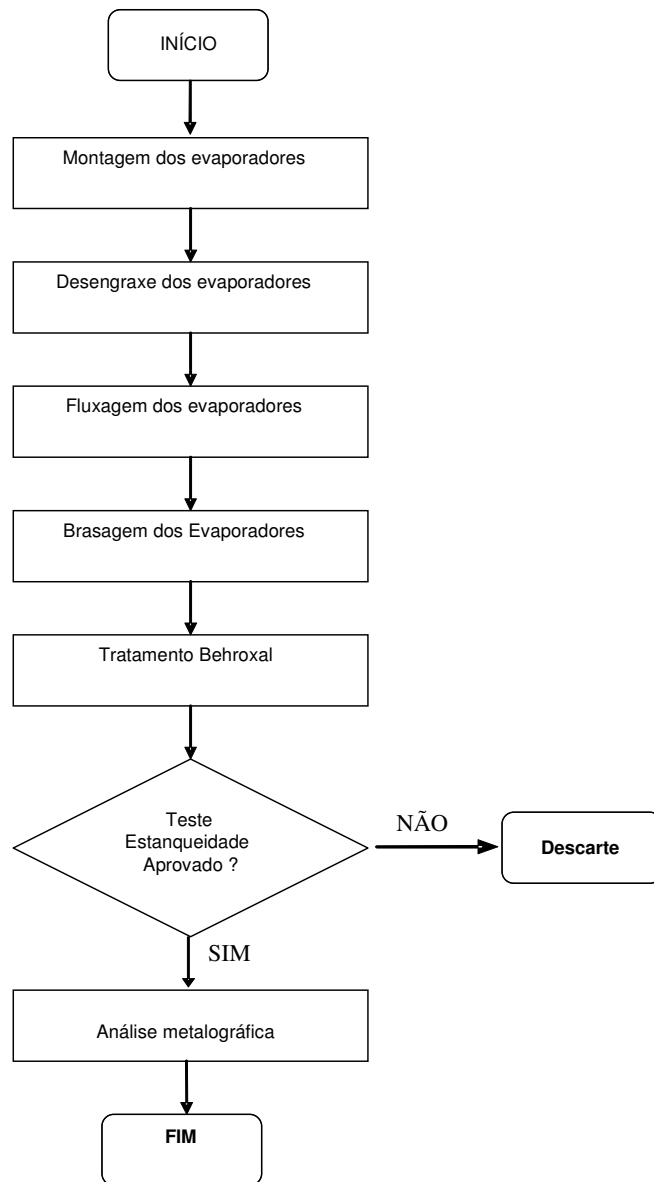


Figura 9 – Fluxograma das etapas do trabalho de brasagem e rebrasagem

4.2 Materiais

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram utilizados evaporadores fabricados na Behr Brasil Ltda, pelo processo de brasagem *NOCOLOK*, componentes utilizados em veículos automotivos.

A composição química para a cabeceira é mostrada na Tabela 1 e Tabela 2 e a composição química para os tubos de sucção e tubo de líquido, é apresentada na Tabela 3.

O material para confecção da aleta e tubos chatos foram omitidos, a pedido da direção da empresa, por tratar-se de segredo industrial.

Tabela 1 – Composição química do material base da liga de alumínio dos evaporadores. (CABECEIRA) – Conforme DIN EN 573-3

Características	Especificação
% Si	máx. 0,60
% Fe	máx. 0,70
% Cu	0,05 - 0,20
% Mn	1,0 – 1,50
% Mg	máx. 0,05
% Cr	máx. 0,05
% Zn	máx. 0,10
% Ti	máx. 0,05
% Al	Restante

Tabela 2 – Composição química da liga de brasagem CLAD dos evaporadores (CABECEIRA) - DIN EN 573-3

Características	Especificação
% Si	6,80 – 8,20
% Fe	máx. 0,80
% Cu	máx. 0,25
% Zn	máx. 0,20
% Mn	máx.0,10
% Al	Restante

Tabela 3 – Composição química do alumínio utilizado nos tubos de líquido e de sucção dos evaporadores - DIN EN 573-3

Características	Especificação
% Si	máx. 0,5
% Fe	máx. 0,7
% Cu	máx. 0,1
% Mn	0,9 - 1,5
% Mg	máx. 0,3
% Cr	máx. 0,1
% Zn	Máx. 0,2
%Al	Restante

4.3 Fabricação de evaporadores de alumínio

Os componentes que integram um evaporador automotivo fabricado em alumínio são as aletas, os tubos chatos, a caixa superior e inferior e os tubos de sucção e tubo de líquido. Estes componentes são fabricados em sua maioria com a liga de alumínio EN AW 3003.

A característica mecânica e a composição química definida para este produto permitem uma boa condição de brasagem e lhe conferem alto desempenho em campo. A caixa superior e inferior possui uma camada de *clad* correspondente a 8% da sua espessura, esta camada rica em silício, reduz o ponto de fusão da liga e facilita a operação de brasagem do produto.

O tubo chato possui tratamento superficial denominado “*Silflux*”. Este tratamento consiste em aplicar uma camada superficial em torno de 8 microns/m² sobre a superfície do tubo chato, o que possibilita a junção da aleta sobre sua superfície na operação de brasagem.

A junção dos tubos de sucção e tubo líquido às caixas superior e inferior também se utiliza da operação de brasagem.

Todos os componentes são fornecidos por parceiros comerciais nacionais e internacionais e atendem as especificações pré-definidas no projeto. Todos os componentes são submetidos ao regime de inspeção de recebimento de acordo com sua característica e criticidade. Os tubos chatos são avaliados por meio de análise química laboratorial e a largura, comprimento e espessura são avaliados pelo inspetor de recebimento com auxílio de paquímetro e micrômetro.

O processo de fabricação de evaporador inicia com a fabricação de aletas. A aleta é fabricada em uma máquina especialmente construída com orientação técnica do grupo Behr, conforme mostra a Figura 10, responsável pela conformação da fita de alumínio com largura, espessura e composição química definida de acordo com a necessidade de cada projeto.

A conformação da aleta é feita por meio de rolos conformadores formados por um conjunto de discos de corte com ângulos específicos responsáveis por conformar as janelas que direcionam o fluxo de ar. Os rolos compactadores e freios são responsáveis por definir a altura e o número de convoluções das aletas e o característico formato de sanfona, conforme mostra a Figura 11.



Figura 10 – Imagem de uma máquina de conformação de aleta



Figura 11 – Imagem de uma aleta conformada utilizada em evaporador

O operador é responsável por executar a operação de *setup* da ferramenta de conformação da aleta, conforme mostra a Figura 12. O *setup* só é dado por finalizado após o operador medir o ângulo de janela, a altura da aleta, o comprimento e o número de convoluções da aleta.

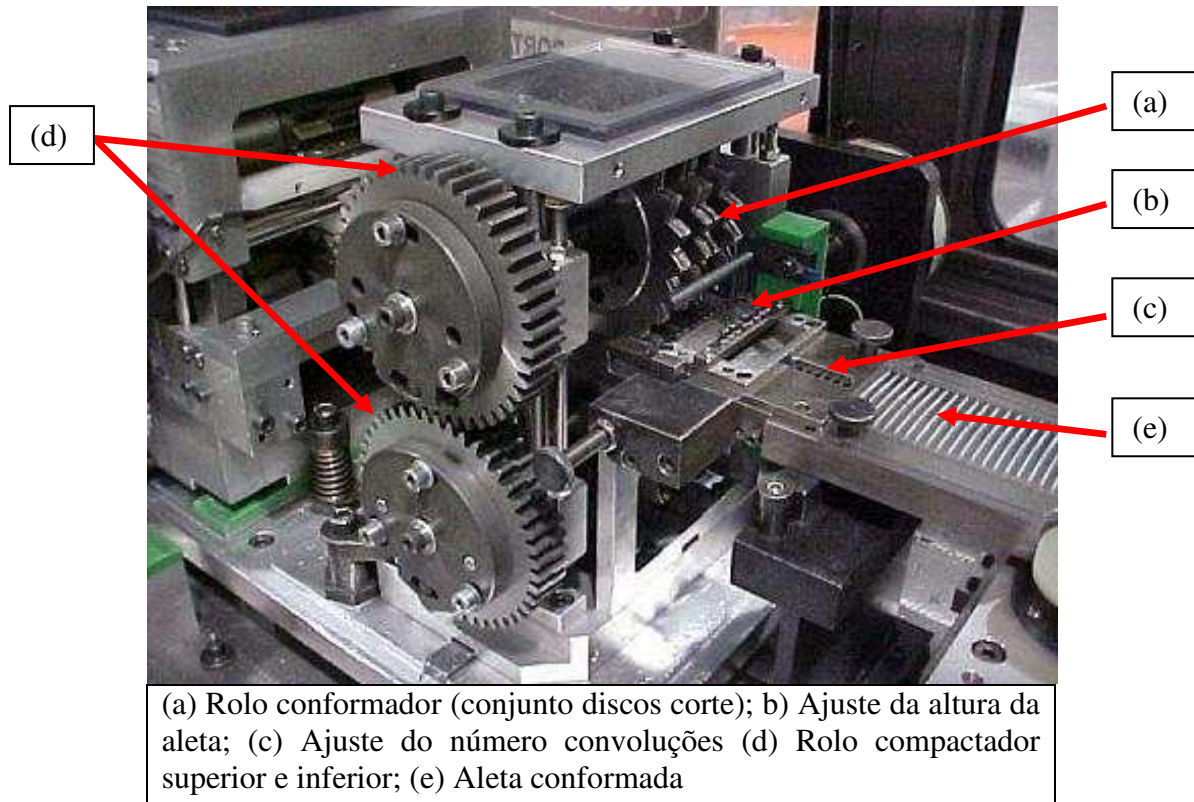


Figura 12 – Imagem do rolo formador de aleta (peça que sofre *setup*).

O processo de inspeção da aleta garante a prevenção de vários problemas no processo de brasagem. Por exemplo, a variação da altura da aleta pode contribuir para o surgimento de alguns dos maiores rejeitos enfrentado no processo de brasagem dos evaporadores, denominado de aleta caída e aleta curta. A medição da altura da aleta é realizada com o auxílio de um relógio comparador digital com capacidade de 0-20 mm e resolução de 0,001mm.

A frequência usual para verificação das condições dimensionais da aleta é a cada hora e seu resultado inserido em carta de controle de variáveis X-Barra. Os sinais estatísticos coletados na carta de controle orientam as ações de ajuste da máquina.

A inspeção do número de convoluções das aletas é realizada com o auxílio de uma escala graduada. O correto número de convoluções garante a eficiência da troca térmica uniforme em toda a extensão do evaporador.

A inspeção do ângulo de janela é realizada com auxílio do equipamento *JODON*. Este equipamento foi desenvolvido especialmente para realizar o controle de qualidade das aletas utilizadas em todos os produtos destinados ao arrefecimento e troca térmica. O princípio de funcionamento deste equipamento é projetar luz através das aletas com o auxílio de dispositivos que fixam a aleta e a luz que ultrapassa a aleta é captada por um detector e transformada em porcentagem de transmissão. A inspeção do ângulo de janela garante a eficiência na troca térmica do evaporador, pois o ângulo de janela dentro das especificações de projeto direciona de maneira eficaz o fluxo de ar para os tubos do evaporador, aumentando a sua eficiência da troca térmica, a Figura 13 mostra a localização dos ângulos das janelas na aleta.



Figura 13 – Detalhe do ângulo de janela de uma aleta conformada

Os tubos chatos, mostrados na Figura 14, exigem cuidado especial no manuseio e processo de montagem dos evaporadores. Qualquer impacto sobre sua superfície pode gerar problemas futuros no processo de aprovação do teste de estanqueidade.

As caixas inferior e superior, mostrados na Figura 15, utilizada em evaporador são fornecidas por parceiros comerciais europeus que detêm contrato de exclusividade de fornecimento. O material da caixa é o alumínio com *clad* e após estampadas medem cerca de 0,5 mm de espessura de parede e possuem geometria definida em projeto e são fornecidas com uma fina camada de fluxo *NOCOLOK*, material indispensável para a brasagem dos evaporadores.

O processo de estampagem dos orifícios denominados *slots* é a característica de controle mais importante no processo de fabricação, pois o *slot* serve de convite para o correto encaixe dos tubos chatos, e assim garantir uma correta montagem do conjunto tubo - aleta.



Figura 14 – Imagem do tubo chato utilizado na fabricação de evaporadores



Figura 15 – Caixa superior utilizada na fabricação de evaporadores

Os tubos de sucção e tubo de líquido, conforme mostra a Figura 16, são fabricados por empresas nacionais e o material utilizado é alumínio. Os tubos de sucção e de líquidos são produzidos pelo processo de conformação à frio, utilizando-se de gabarito com as formas geométricas definidas para o projeto. O processo de desengraxe dos tubos após o processo de conformação dentro da geometria exigida pode interferir diretamente no processo de brasagem, pois o óleo empregado para a conformação dos tubos normalmente utilizados é de origem integral ou mineral e não são removidos pelo processo de termodesengraxe dos fornos *NOCOLOK*, podendo causar sérios problemas de contaminação da atmosfera do forno, o que inviabiliza a brasagem de alumínio, portanto faz-se necessárias exigências técnicas de limpeza superficial dos tubos na assinatura do contrato de fornecimento, a fim de assegurar futuros problemas de brasagem por contaminação da atmosfera do forno.



Figura 16 - Tubo de sucção (esquerda) e tubo de líquido (direita)

A máquina de montagem de evaporadores é automática e agrupa várias funções desde a fabricação de aletas que após conformação das janelas e convoluções são encaminhadas por um canal de alimentação para o estágio de montagem onde recebe os tubos chatos, que são distribuídos no estágio de montagem em sincronismo com a liberação de cada aleta.

Estes tubos são alimentados manualmente pelo operador, nos gabinetes em forma de carrossel localizados na parte superior da máquina de montagem. Após completar a quantidade de tubo e aleta especificado no programa da máquina, o conjunto é deslocado para o estágio de recravagem onde é introduzida a caixa superior e inferior.

A operação de recrave da caixa superior e inferior no conjunto, tubo e aleta, garantem a fixação do bloco para suportar a próxima etapa do processo.

A máquina de recravagem de tubo de líquido e de sucção é responsável pelo cravamento dos tubos no bloco do evaporador. Esta fase do processo garante a fixação dos tubos de líquido e de sucção na caixa superior do bloco do evaporador para suportar o processo de brasagem.

A máquina de recravagem é totalmente manual, conforme mostra a Figura 17, com objetivo de reduzir os custos de investimento. Este processo depende muito da sensibilidade do operador da máquina e, portanto um fator potencial para problemas futuros de brasagem.



Figura 17 – Máquina de recravagem de tubo de sucção e tubo de líquido

O dispositivo auxiliar de brasagem é utilizado após a montagem final dos evaporadores, com o objetivo de manter as dimensões definidas no projeto e assegurar a fixação do produto durante o processo de brasagem.

Estes dispositivos são confeccionados em aço inox 304 e recebem tratamento superficial à base de nitretos, que formam uma camada nitretada de cerca de 20 microns. A camada nitretada no dispositivo confere maior resistência superficial ao aço inox e reduz a aderência do alumínio ao dispositivo durante o processo de brasagem. Estes dispositivos têm controle rigoroso de calibração e jateamento depois de passar por 03 ciclos de brasagem nos fornos *NOCOLOK*.

Finalizado a operação de recravagem do tubo líquido e de sucção no bloco do evaporador, o operador coloca o grampo de fixação no bloco e encaixa o conjunto no dispositivo de brasagem, conforme mostra a Figura 18, que tem capacidade para acomodar até 09 evaporadores, e devido ao seu peso, o mesmo precisa ser deslocado para a esteira do termodesengraxe por 02 operadores.

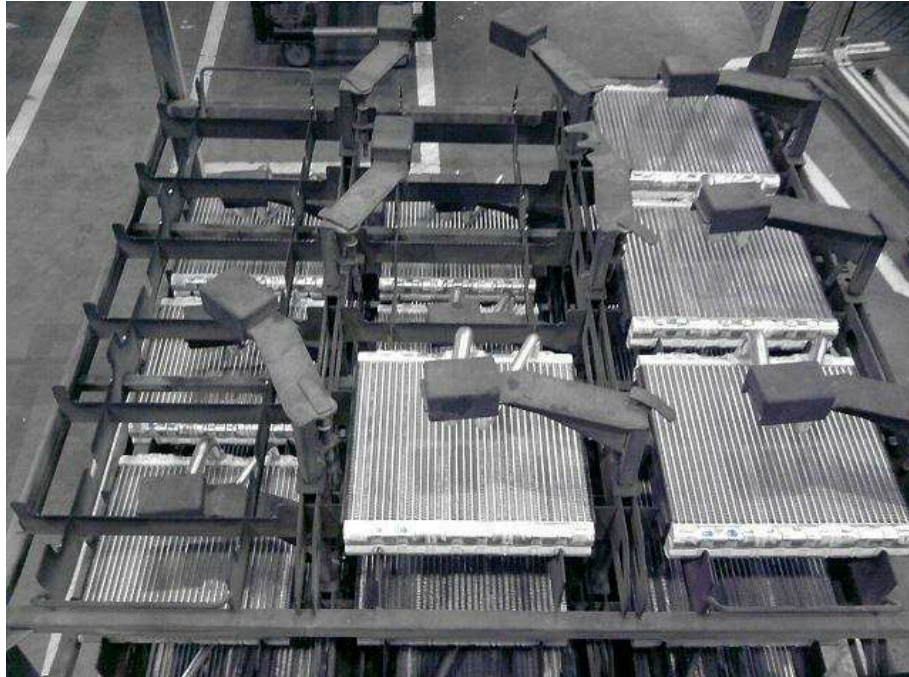


Figura 18 – Grelhas com evaporadores para brasagem

O óleo utilizado para a conformação dos componentes que integram o evaporador é um termo-óleo que contém em sua composição química cerca de 60% de álcool e 40% de hidrocarbonetos. Este teor de álcool na composição química do óleo possibilita a utilização do termodesengraxe. O termodesengraxe é acoplado embaixo da esteira do forno de brasagem.

A estação de termodesengraxe, conforme mostra a Figura 19, é constituída por 04 ventiladores de alta capacidade, 04 resistências, um trocador de calor, um precipitador eletrostático, um exaustor e uma caixa direcionadora de fluxo de ar.



Figura 19 - Grelhas com evaporadores entrando no termodesengraxe

O processo é bem simples, os ventiladores sopram o ar com vazão em torno de $4.000\text{m}^3/\text{h}$ para os dutos da caixa direcionadora de fluxo de ar onde estão instaladas as resistências elétricas. O ar passa pelas resistências elétricas onde é aquecido a uma temperatura de 200°C . Os termopares e sensores de fluxo instalados no sistema garantem a temperatura e o fluxo de ar adequado ao processo. O ar aquecido é direcionado para a parte debaixo da esteira onde está o dispositivo auxiliar de brasagem com os evaporadores. A troca térmica do ar quente com os evaporadores permite a evaporação do termo-óleo. O óleo evaporado segue por tubulação específica e é direcionado para o trocador de calor que tem a função de condensar o termo-óleo e enviá-lo para um tambor de óleo reciclado. Antes do descarte, o ar passa pelo filtro eletrostático que garantirá a sua pureza dentro dos limites legais estabelecidos pelos Órgãos Ambientais.

4.4 Corpos de prova

Neste trabalho, foram executadas 05 experiências na fabricação de evaporadores sendo distribuídas em 5 diferentes processos, onde cada amostra recebeu um número sequencial, conforme apresentado na Tabela 4.

Os evaporadores mencionados são referentes à *Al/Clad*, ou seja, duas ligas de alumínio com diferenças significativas na concentração de silício, o que lhe confere menor ponto de fusão, facilitando a junção entre as partes. Na Figura 20, pode-se ver o evaporador após a execução da experiência n°1.



Figura 20 – Evaporador Automotivo- amostra da experiência n° 1

Tabela 4 – Evaporadores brasados em diferentes processos

Experiência	Ciclo
Evaporador n°1	1 brasagem e 1 tratamento anti-corrosivo.
Evaporador n°2	1 brasagem e 1 tratamento anti-corrosivo. 1 rebrasagem e 1 retratamento anti-corrosivo
Evaporador n°3	1 brasagem e 1 tratamento anti-corrosivo. 2 rebrasagem e 2 retratamento anti-corrosivo
Evaporador n°4	1 brasagem e 1 tratamento anti-corrosivo. 3 rebrasagem e 3 retratamento anti-corrosivo
Evaporador n°5	1 brasagem e 1 tratamento anti-corrosivo. 4 rebrasagem e 4 retratamento anti-corrosivo

4.5 - Técnicas

Foram utilizadas as técnicas de brasagem *NOCOLOK* e tratamento anti-corrosivo patenteado pelo grupo Behr na fabricação dos evaporadores.

4.5.1 Técnica de brasagem

A técnica de brasagem foi executada em um forno de brasagem *NOCOLOK* de fabricação americana, acoplado a uma estação de termodesengraxe que tem por finalidade retirar o óleo contido na superfície dos componentes; uma estação de fluxagem para preparar a superfície para a brasagem; uma estação de secagem que retira toda umidade contida nos processos anteriores e as zonas de brasagem. A atmosfera é controlada com injeção de nitrogênio gasoso e o transporte do produto a ser brasado é feito por esteira de brasagem parte integrante do forno.

4.5.2 Técnica de tratamento anti-corrosivo

A técnica de tratamento anti-corrosivo foi executada em um forno adaptado com os seguintes estágios: câmara de aquecimento, câmara spray, câmara de secagem e câmara de resfriamento. Este tratamento tem por finalidade proteger a superfície do evaporador contra qualquer resíduo durante o uso no veículo automotivo. Este processo foi desenvolvido para substituir o tratamento anti-corrosivo à base de cromatos tradicionalmente utilizado para esta finalidade, porém muito mais agressivo ao operador e ao Meio Ambiente. A pressão das leis ambientais forçaram as grandes empresas a investirem em tecnologia mais limpa de tratamento superficial e após vários estudos, o grupo Behr finalizou o desenvolvimento do processo BehrOxal[®] que hoje é aplicado em todas as suas subsidiárias que produzem evaporadores automotivos. Este novo processo foi patenteado pelo grupo Behr em 2006.

4.6 Equipamentos e acessórios utilizados

4.6.1 Forno de brasagem

A Figura 21, mostra a vista geral do forno de brasagem *NOCOLOK* instalado na empresa BEHR Brasil Ltda. Este forno longitudinal e horizontal dispõe de um sistema controlado por *PLC* para monitorar as temperaturas de brasagem, a velocidade da esteira e a condição da atmosfera de brasagem em todos os estágios do processamento.

A velocidade da esteira é constante, ou seja, uma vez regulada a velocidade ideal de brasagem, esta é fixada e só voltará a sofrer alterações se houver alguma mudança significativa no processo, como por exemplo, um aumento de massa da carga a ser brasada ou um novo produto que ainda deverá ser estudado seu comportamento. A velocidade média de uma esteira de brasagem gira em torno de 800 mm/min.

A atmosfera dentro da mufla do forno de brasagem *NOCOLOK* é controlada por nitrogênio gasoso com uma pureza mínima de 99,999%. A quantidade de nitrogênio injetada no forno deve ser suficiente para manter os níveis de oxigênio nas zonas de brasagem no máximo em 200ppm. Este controle tem muita influência sobre o processo de brasagem, pois quando o fluxo *NOCOLOK* atinge seu ponto de fusão, este inicia a dissolução dos óxidos contidos na superfície do alumínio, porém se a atmosfera na zona de brasagem estiver com os

níveis de oxigênio acima de 200ppm, ocorre a reoxidação da superfície do alumínio e a operação de brasagem das juntas fica comprometida.

Para que haja um menor consumo de nitrogênio, são instaladas nas entradas e saídas da mufla de brasagem do forno *NOCOLOK*, vários jogos de cortinas fabricadas de acordo com a largura e altura da mufla de brasagem. Estas cortinas propiciam uma pequena pressão na parte interna da mufla, devido à injeção contínua de nitrogênio. Esta pequena pressão interna dificulta a entrada de oxigênio e mantém a atmosfera interna da mufla de brasagem dentro das condições ideais de brasagem. Estas cortinas são confeccionadas em aço inox 304 com uma espessura de 0,05mm e necessitam ser trocada todo mês, devido ao atrito sofrido com os dispositivos de brasagem e os próprios produtos, além de impregnação do fluxo *NOCOLOK*.

A temperatura do forno é distribuída por zonas, sendo o primeiro estágio chamado de secagem que normalmente utiliza-se uma temperatura de 250°C, que tem a função de eliminar toda a umidade gerada na fase de fluxagem. A primeira zona do forno é chamada de pré-aquecimento e sua temperatura de trabalho é em torno de 550°C. Esta zona tem a finalidade de pré-aquecer o produto aumentando a velocidade de fabricação.

A segunda zona do forno é chamada de brasagem e sua temperatura sobe para 565°C. Nesta zona, o fluxo *NOCOLOK* contido na superfície da peça atinge sua temperatura de fusão e iniciasse o processo de dissolução dos óxidos contidos na superfície do alumínio, preparando-a para o processo de brasagem. A terceira zona do forno também chamada de brasagem trabalha com temperatura de 577°C. Nesta zona a liga de brasagem conhecida como *clad* atinge sua temperatura de fusão e iniciasse a difusão do silício para o material base.

A quarta zona do forno também chamada de brasagem trabalha com temperatura de 600°C. Nesta zona a liga de brasagem torna-se pastosa, a difusão do silício é completada e o processo de brasagem é finalizado. A Figura 22, demonstra passo a passo os estágios da brasagem.

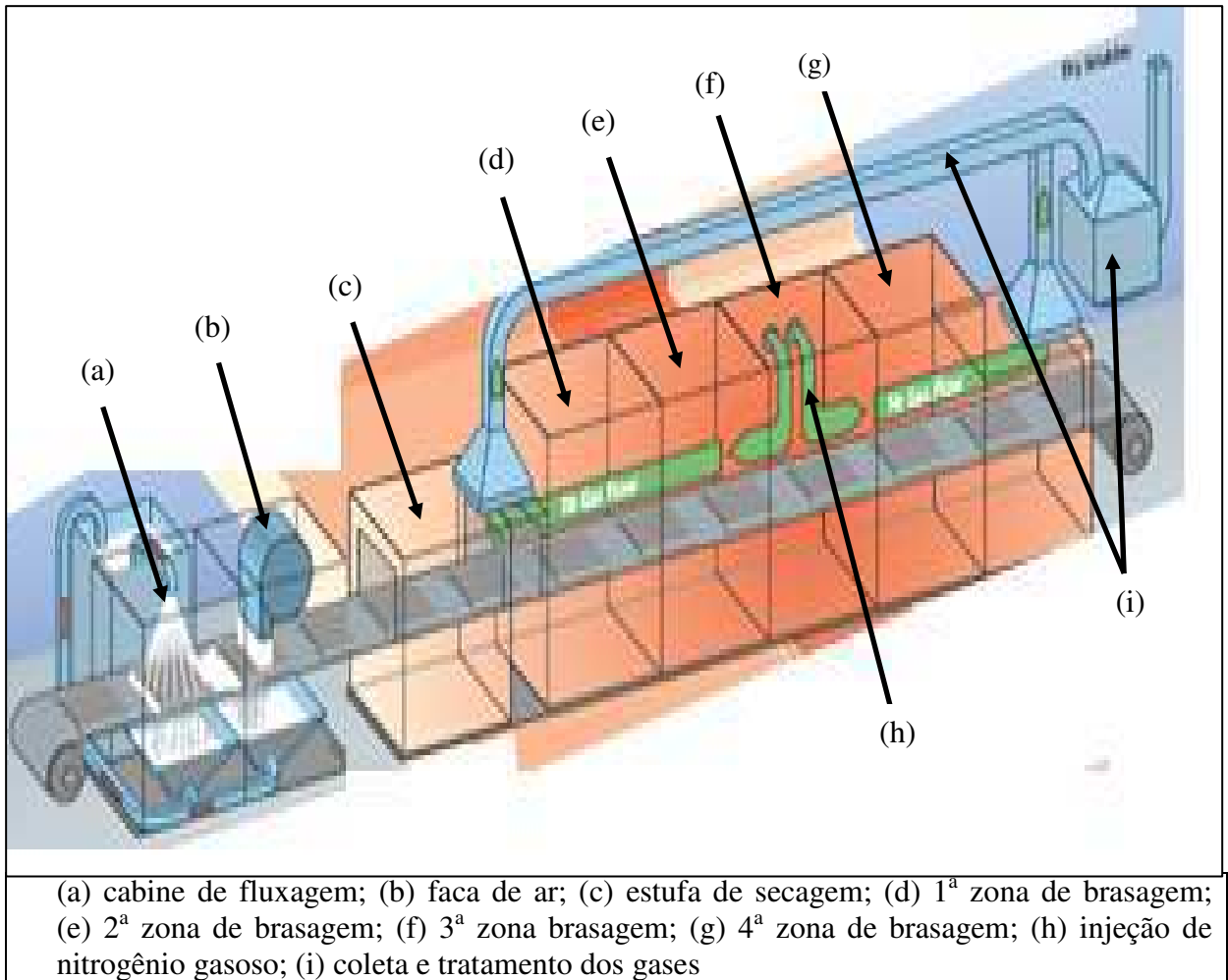


Figura 21 – Forno de brasagem NOCOLOK (Solvay Fluor und Derivate, 1998)

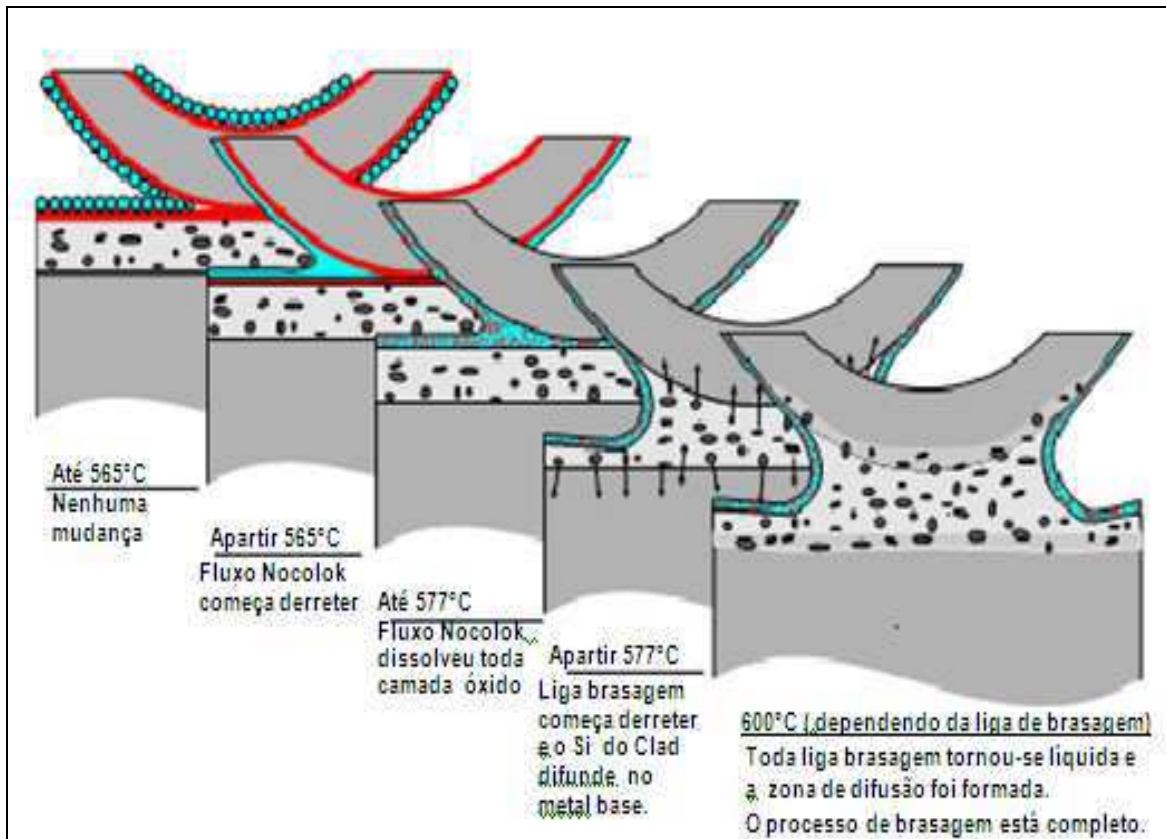


Figura 22 – Estágios da brasagem no processo *NOCOLOK* (VÖLKER, 2010)

Para cada tipo de produto é necessário alterar os tempos adequados para brasagem final, ou seja, tempo ideal de permanência do produto na zona de brasagem com o objetivo de melhorar o desempenho do produto contra o processo de corrosão.

O tempo e a temperatura no processo de brasagem são fundamentais para a qualidade da brasagem. Estes parâmetros são monitorados pelo *PLC* do forno e qualquer irregularidade nos parâmetros definidos para correta brasagem, o *PLC* emite um alerta e o bloqueio da esteira de brasagem é automático. Devido à importância destes parâmetros de processo, uma checagem é realizada semanalmente, utilizando-se um equipamento coletor de dados denominado *DATAPAQ*. Este equipamento é basicamente um coletor de dados de processo e para iniciar a coleta de dados é necessário fixar de 03 a 06 termopares de um metro de comprimento nas aletas do produto e a outra ponta do termopar é conectada ao coletor *DATAPAQ*. Este possui como acessório uma caixa térmica que o mantém em temperatura abaixo de 30°C, mesmo sendo exposto a temperaturas superiores a 600°C. A cada 20 segundos o *DATAPAQ* armazena os dados de tempo e temperatura do processo, conforme mostra a Figura 23.

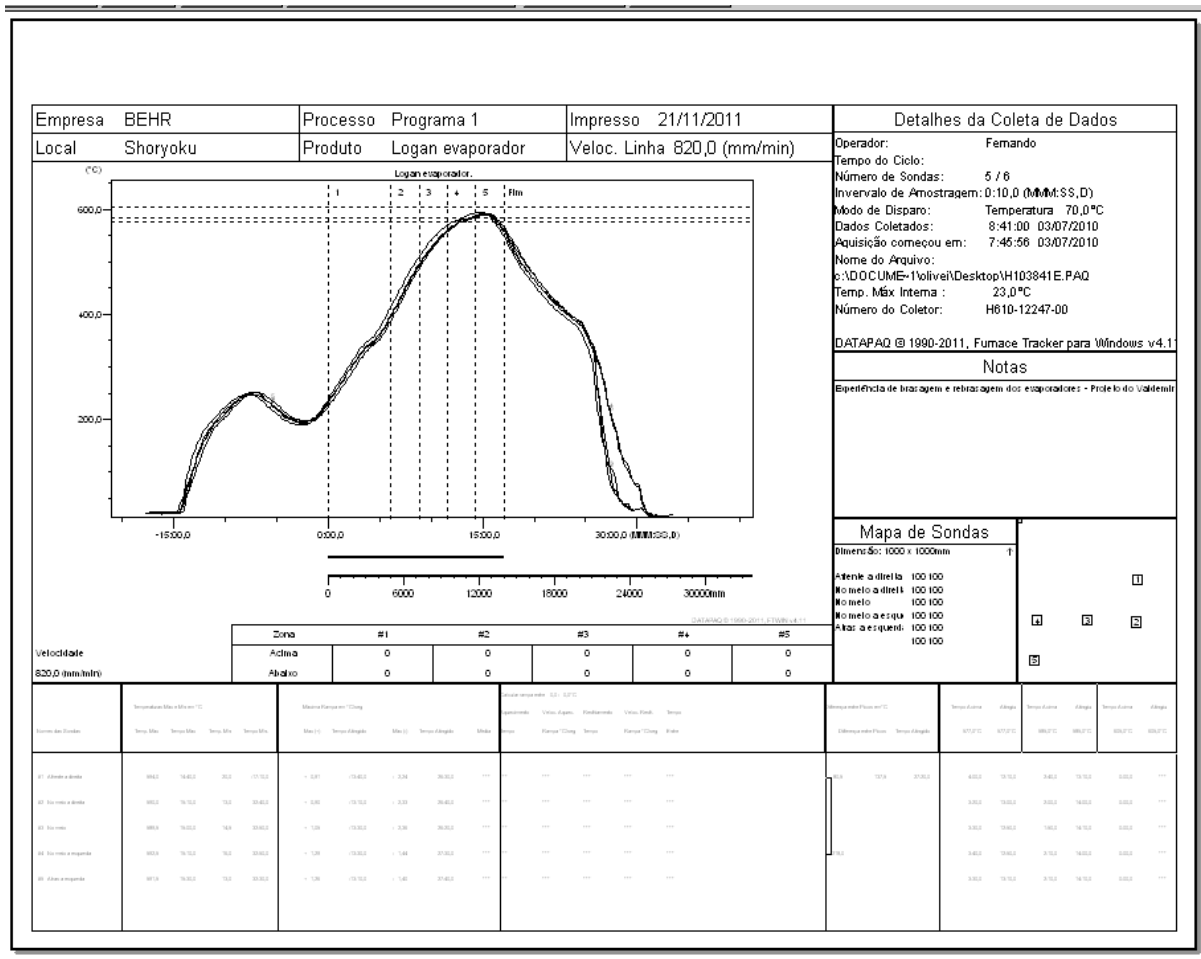


Figura 23 - Gráfico de tempo e temperatura de um processo de brasagem *NOCOLOK* (VÖLKER, 2010).

4.6.2 Forno de Tratamento Térmico

O forno de tratamento térmico BehrOxal® instalado na empresa BEHR Brasil Ltda, conforme mostra a Figura 24, foi especialmente desenvolvido e adaptado para atender às exigências do processo BehrOxal® patenteado pelo grupo BEHR.

Este forno dispõe de um sistema de monitoramento da temperatura e do tempo controlado por PLC, o que lhe confere maior robustez e confiabilidade no controle do processo de tratamento térmico dos evaporadores.



Figura 24 – Vista geral do Forno de Tratamento térmico BehrOxal®

A temperatura do forno é distribuída em 03 estágios, sendo o primeiro estágio chamado de aquecimento onde normalmente utiliza-se temperatura de 450°C, conforme mostra a Figura 26. Este estágio tem a finalidade de pré-aquecer a superfície do evaporador ativando-a para o próximo estágio.

O segundo estágio é composto por uma cabine adaptada com bicos pulverizadores, conforme mostra a Figura 25, e estes são responsáveis pela aplicação de solução química a 100°C, com baixo potencial poluidor, esta solução confere uma fina camada anti-corrosiva na superfície do produto. O terceiro estágio é responsável pela secagem da camada aplicada no estágio anterior e ao mesmo tempo converter a fina camada com aplicação de 450°C. O quarto e último estágio é responsável por resfriar o produto.



Figura 25 – Vista interna das duchas do forno de tratamento térmico BehrOxal®

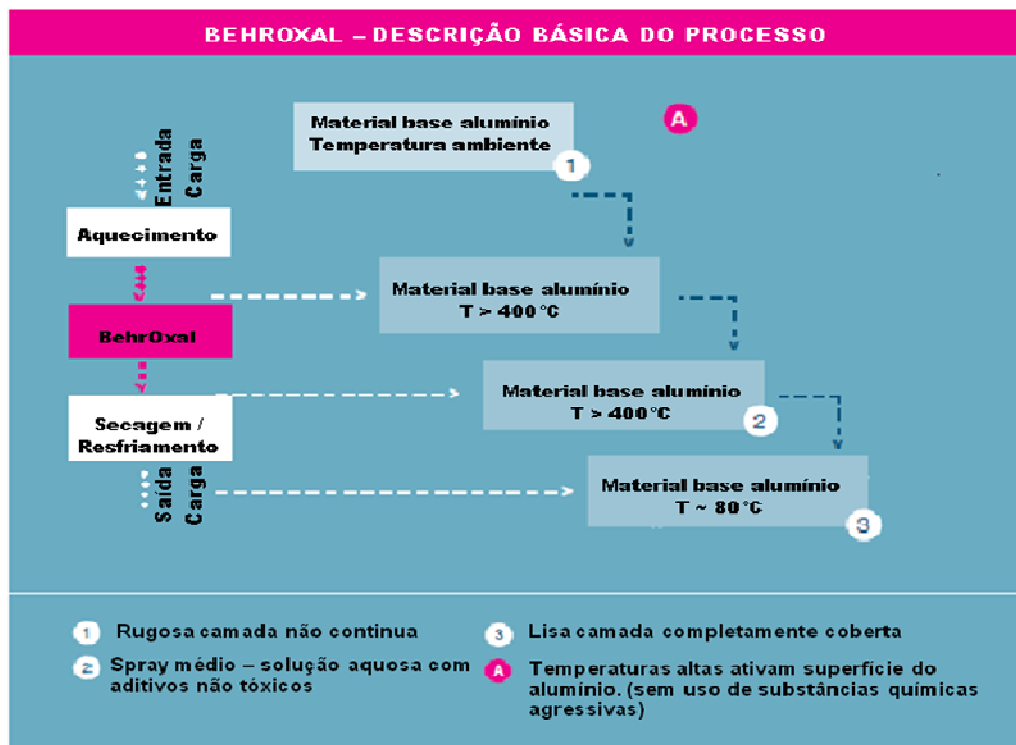


Figura 26 – Descrição básica do tratamento térmico BehrOxal®
(AUTO.WORLD, 2007)

Além do controle por meio do *PLC*, a temperatura e o tempo de processamento aplicado ao produto é monitorado por meio da utilização do *DATAPAQ* e o resultado é cruzado com os parâmetros especificados nos planos de fabricação.

Este tratamento térmico foi desenvolvido para atender às novas exigências ambientais introduzidas na Europa. O método comumente utilizado para conferir proteção à superfície do evaporador era à base de banhos químicos de cromatos. Estes banhos à base de cromatos, além de custosos e agressivos ao meio ambiente expunha os operadores aos riscos de contaminação com metais pesados.

O controle da concentração da solução BehrOxal[®] é realizada uma vez por turno e caso a concentração esteja fora dos limites estabelecidos, o operador deve seguir a recomendação descrita no plano de fabricação.

Além do controle da concentração da solução BehrOxal[®] são realizados em frequência pré estabelecidas, ensaios de corrosão e teste de odor.

4.7 Teste de estanqueidade

O teste de estanqueidade é realizado após o processo de brasagem e tem por objetivo avaliar se o processo de brasagem foi bem sucedido. A escolha do tipo de teste de estanqueidade é feita com base na aplicação do produto e nas exigências e especificações dos clientes bem como o tipo de produto a ser testado. Em geral a escolha pelo tipo de teste de estanqueidade é feita observando-se a pressão a qual o produto será submetido e o tipo de processo subsequente.

4.7.1 Teste de estanqueidade por imersão em tanque com água

Neste processo, o operador veda os bocais de entrada e saída do produto. Uma das vedações possui um dispositivo que permite a passagem de ar comprimido a 2bar de pressão que serve para promover uma pressão positiva no interior do produto a ser testado.

Após a estabilização da pressão interna do produto, este é submergido num tanque com água por um minuto e neste intervalo o operador verifica de forma visual se há aparecimento de bolhas oriundas do interior do produto. Caso não haja o aparecimento de bolhas de ar, o produto está estanque, o operador coloca uma etiqueta com seu registro e o processo de brasagem foi bem sucedido.

Caso o produto apresente bolhas, o operador identifica o local do vazamento e envia o produto para área de retrabalho. Este teste é aplicado normalmente em produtos cuja pressão de trabalho não ultrapasse 2bar.

A escolha deste método de teste deve levar em consideração a possibilidade de o produto poder entrar em contato com água, conforme mostra a Figura 27, pois em algumas aplicações o teste de estanqueidade é a última operação antes da montagem do produto no veículo e neste caso, uma operação de secagem da água de teste deve ser implementada.



Figura 27 – Teste de estanqueidade por imersão em tanque com água (OLIVEIRA, et al., 2010)

4.7.2 Teste de estanqueidade a seco ATEQ

O teste de estanqueidade a seco com equipamento ATEQ é realizado com auxílio de um equipamento que injeta ar comprimido no interior do produto a ser testado e simultaneamente na peça de referência (padrão estanque) e mede a estanqueidade por diferencial de pressão. O princípio da medição é baseado na relação $P1.V1 = P2.V2$ conforme mostra a Figura 28.

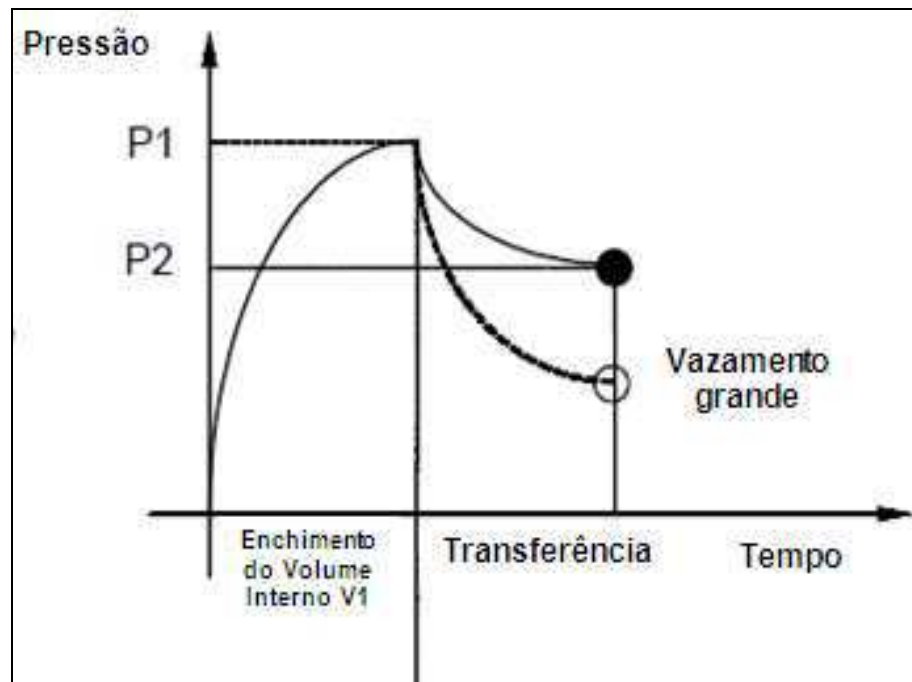


Figura 28 – Gráfico ATEQ (ATEQ, 2011)

O ciclo completo do teste de estanqueidade a seco pode ser observado nas Figuras 29 e 30.

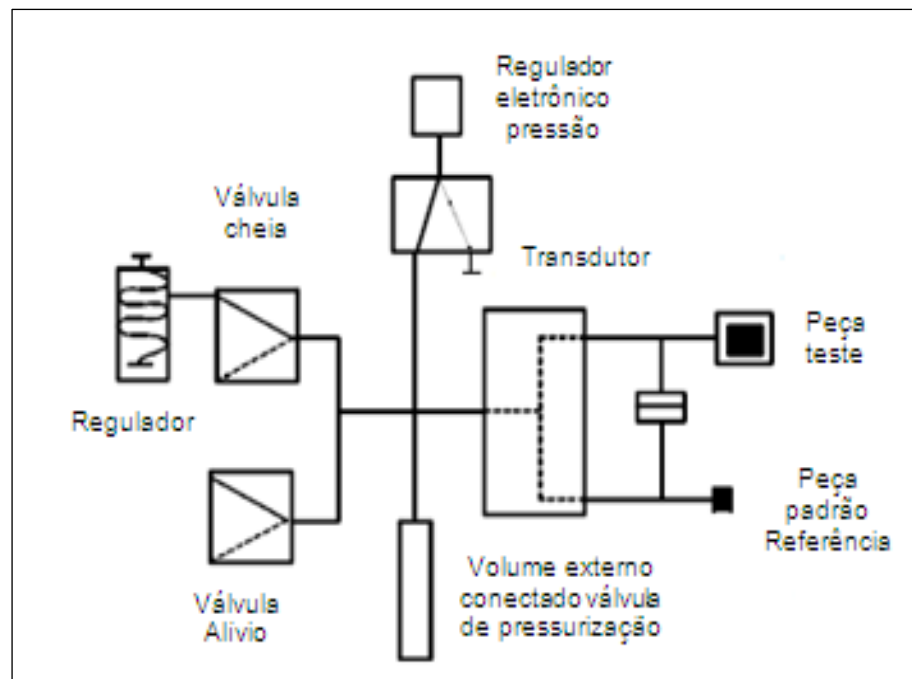


Figura 29 – Diagrama do teste a seco ATEQ (ATEQ, 2011)

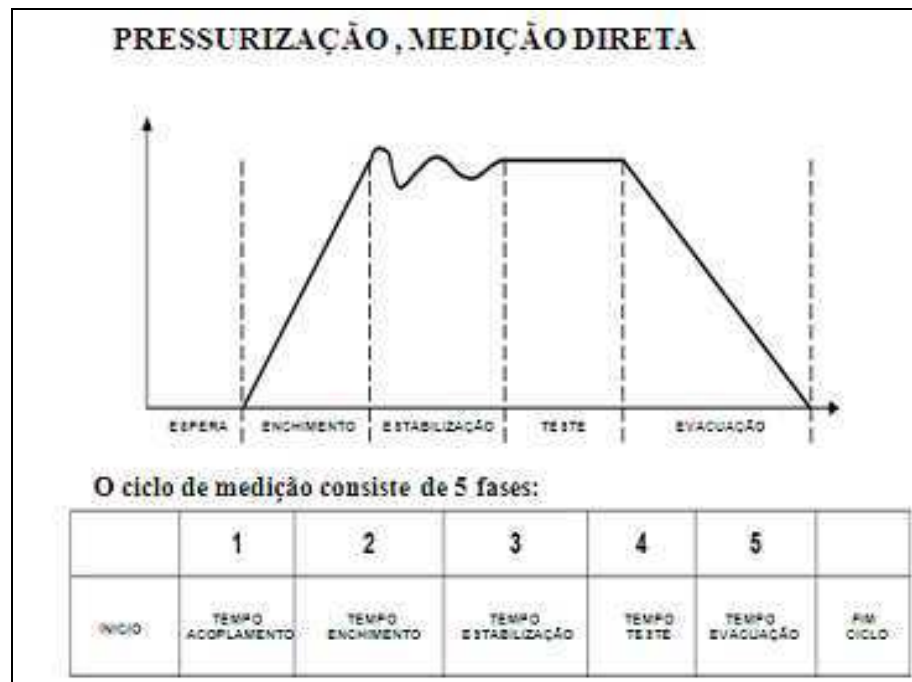


Figura 30 – Gráfico ciclo completo do teste a seco com equipamento ATEQ (ATEQ, 2011)

O fabricante de equipamento de teste de estanqueidade a seco ATEQ, possui vários modelos em seu portfólio. O modelo F-510 é mostrado na Figura 31.



Figura 31 – Equipamento de teste a seco ATEQ (ATEQ, 2011)

4.7.3 Teste de estanqueidade a seco CINCINNATI

O teste de estanqueidade a seco com o equipamento *CINCINNATI*, mostrado na Figura 32, faz a medição do vazamento por meio de um sensor de fluxo de vazão que envia sinal para o transdutor e este converte para quantidade de vazamento da peça em teste.



Figura 32 – Equipamento de teste a seco CINCINNATI (CINCINNATI, 2008)

4.7.4 Teste de estanqueidade em câmara de gás Hélio

O teste de estanqueidade em câmara de gás Hélio, conforme mostra a Figura 33, consiste em fixar a peça a ser testada no dispositivo dentro da câmara de teste, em seguida uma bomba de vácuo faz o vácuo dentro da câmara, na sequência o fornecimento do gás é aberto e este enche a peça com uma pressão em torno de 14 a 17bar. Após o tempo de estabilização, a bomba de vácuo é acionada e caso haja vazamento na peça em teste, moléculas do gás são arrastadas pela bomba de vácuo e ao passar pelo detector, aciona o espectrômetro de massa e este faz a medição da concentração de gás Hélio que vazou do produto. O diagrama da Figura 34 demonstra cada uma das etapas do teste.



Figura 33 - Máquina de teste Hélio modelo Seiler (SEILER, 2011)

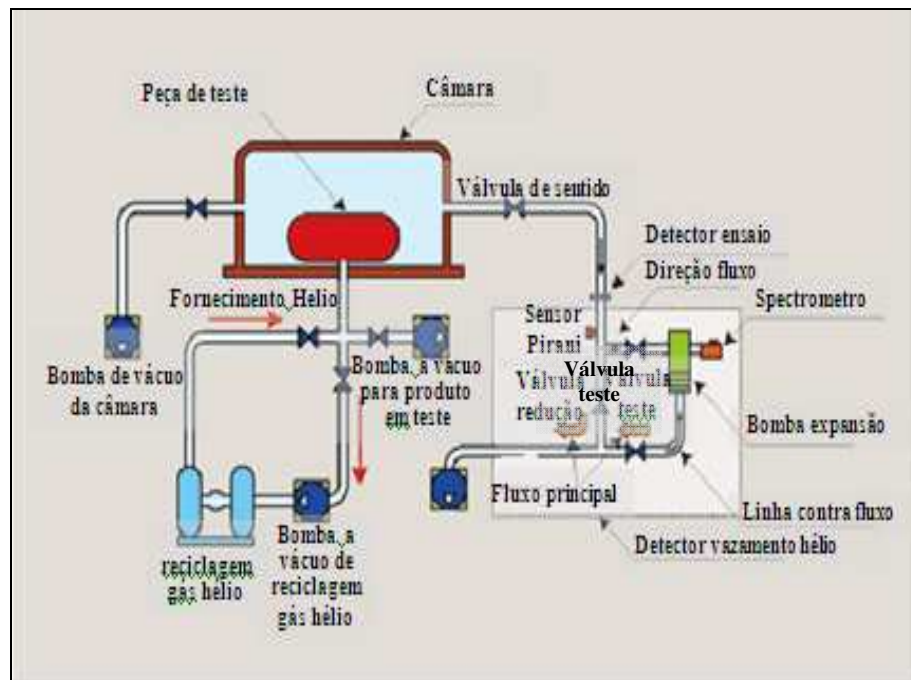


Figura 34 – Diagrama do teste Hélio (YAMAHA, 2011)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes de estanqueidade e os ensaios de metalografia foram realizados nos 05 evaporadores para detectar possíveis vazamentos nas regiões das juntas de brasagem, e o ensaio de metalografia para estudar a microestrutura dos componentes objeto do estudo.

5.1 Estanqueidade da experiência 1 a 5

Todos os 05 experimentos foram aprovados no teste de estanqueidade dos evaporadores automotivos, onde o vazamento máximo permitido é de 1.10^{-5} mbar.l/s, conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultado do teste de estanqueidade nos evaporadores

Amostra	Experimento	Resultado mbar.l/s
Evaporador n°1	1 brasagem e 1 tratamento anti-corrosivo.	$1,9 \times 10^{-9}$
Evaporador n°2	1 brasagem e 1 tratamento anti-corrosivo. 1 rebrasagem e 1 retratamento anti-corrosivo	$2,1 \times 10^{-9}$
Evaporador n°3	1 brasagem e 1 tratamento anti-corrosivo. 2 rebrasagem e 2 retratamento anti-corrosivo	$2,2 \times 10^{-9}$
Evaporador n°4	1 brasagem e 1 tratamento anti-corrosivo. 3 rebrasagem e 3 retratamento anti-corrosivo	$2,3 \times 10^{-9}$
Evaporador n°5	1 brasagem e 1 tratamento anti-corrosivo. 4 rebrasagem e 4 retratamento anti-corrosivo	$2,4 \times 10^{-9}$

A Tabela 5 mostra que os valores obtidos para os 05 experimentos da ordem de 10^{-9} , garantem a qualidade e a confiabilidade dos evaporadores, comparado com o valor especificado 1.10^{-5} . Contudo, é necessário avaliar as condições da junta soldada quanto à degradação sofrida pelo processo de rebrasagem e possíveis deformações superficiais que impactariam no desempenho do produto em campo.

5.2 Recebimento das 05 amostras do experimento para análise metalográfica

As amostras foram retiradas da região de junção de brasagem do tubo de líquido com a cabeceira e do tubo de sucção com a cabeceira e foram identificadas conforme mostrado nas Figuras 35. Essas amostras representam as 05 experiências, garantindo a mesma localização nos 05 evaporadores. A seta indicada na amostra 5, detalha a região de estudo, onde todas as amostras foram cortadas e separadas em dois lados denominados de lado A e lado B.

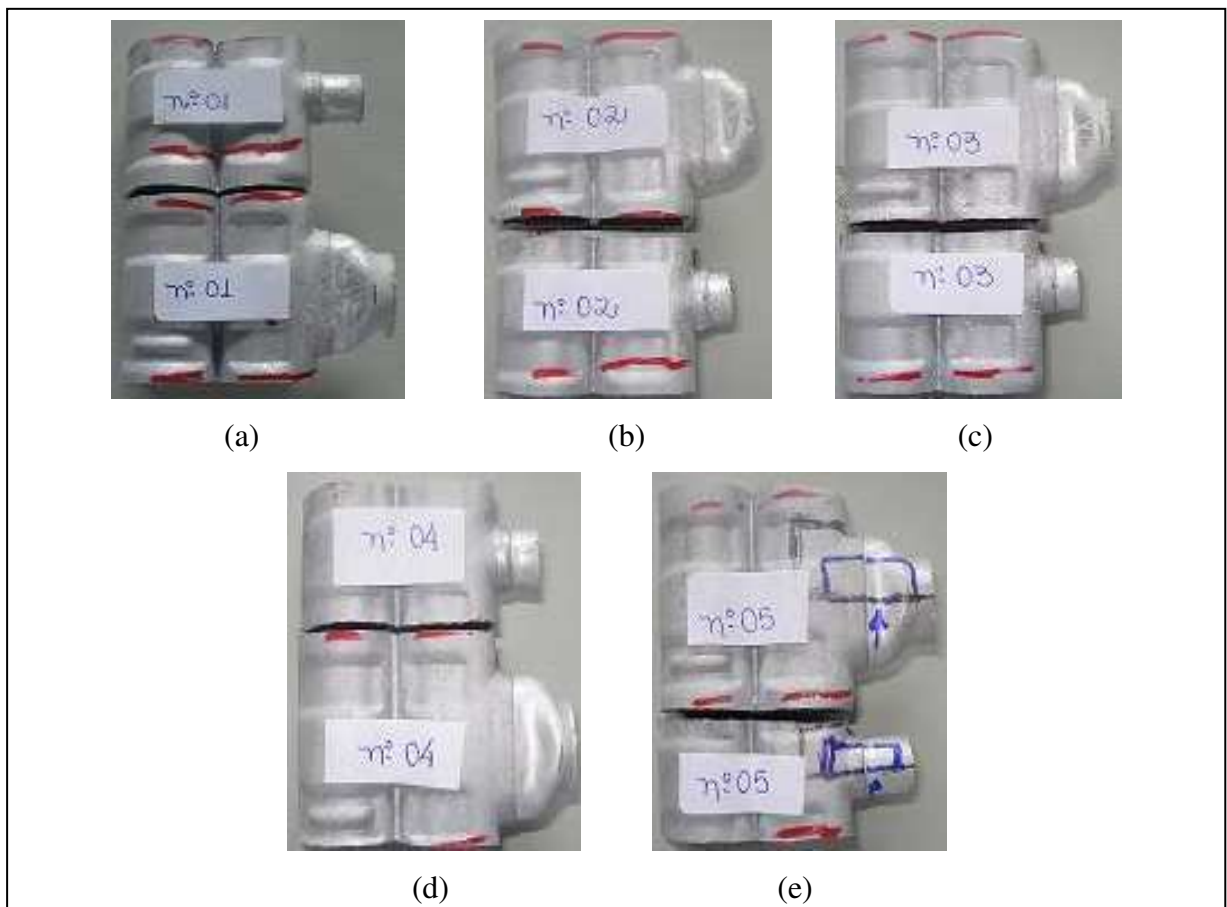


Figura 35 - (a) amostra 1 ; (b) amostra 2 ; (c) amostra 3 ; (d) amostra 4 ; (e) amostra 5

5.3 Análise metalográfica da experiência 1

As Figuras 36 a 39 mostram os resultados das fotomicrografias da experiência 1 com aumento de 25X, onde observa-se a região e o formato da solda brasada.

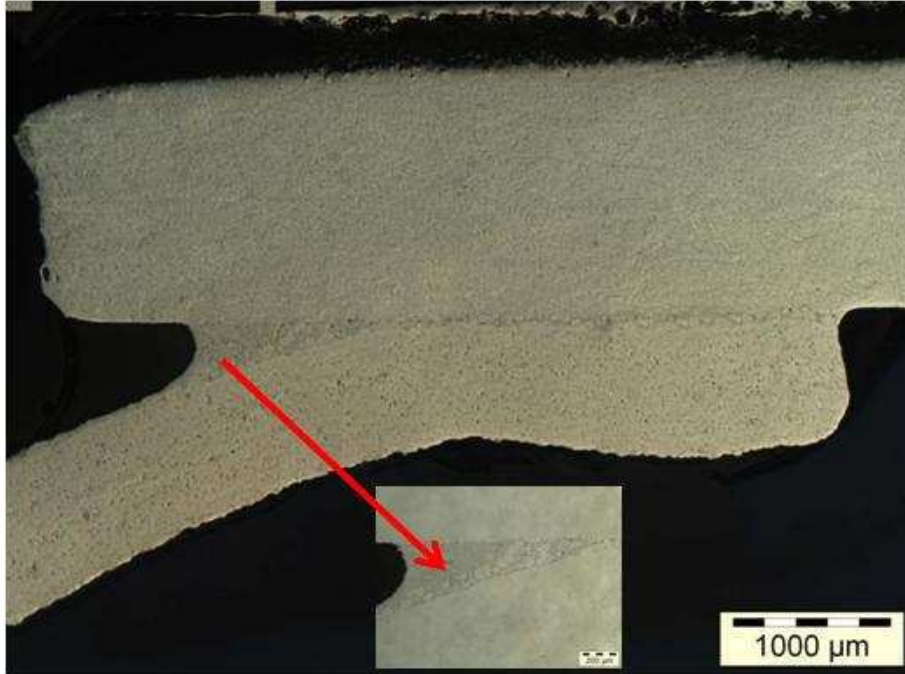


Figura 36 - Fotomicrografia. Tubo de líquido lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada.

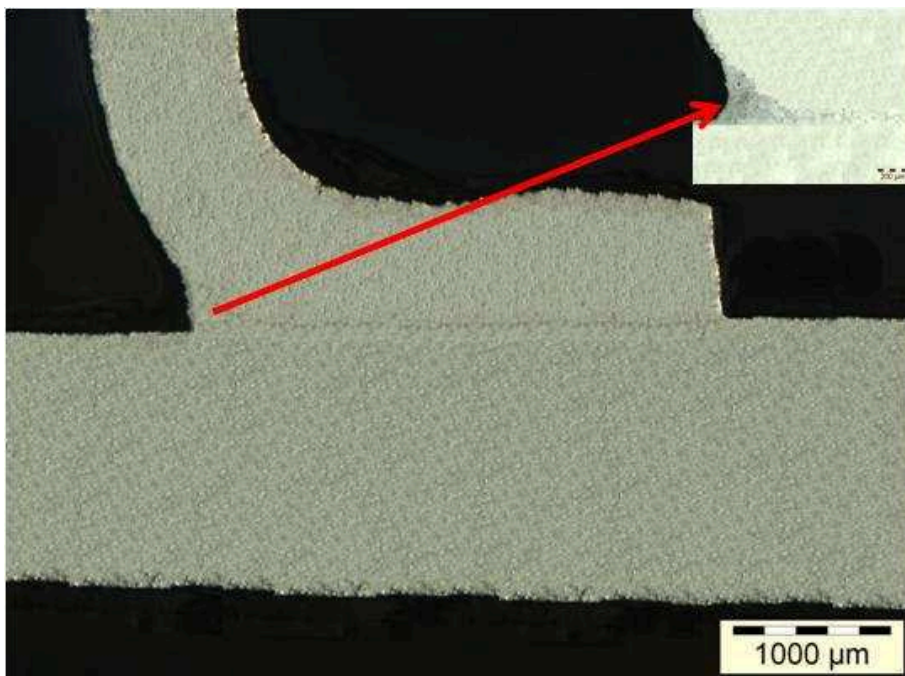


Figura 37 - Fotomicrografia. Tubo de líquido lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada.

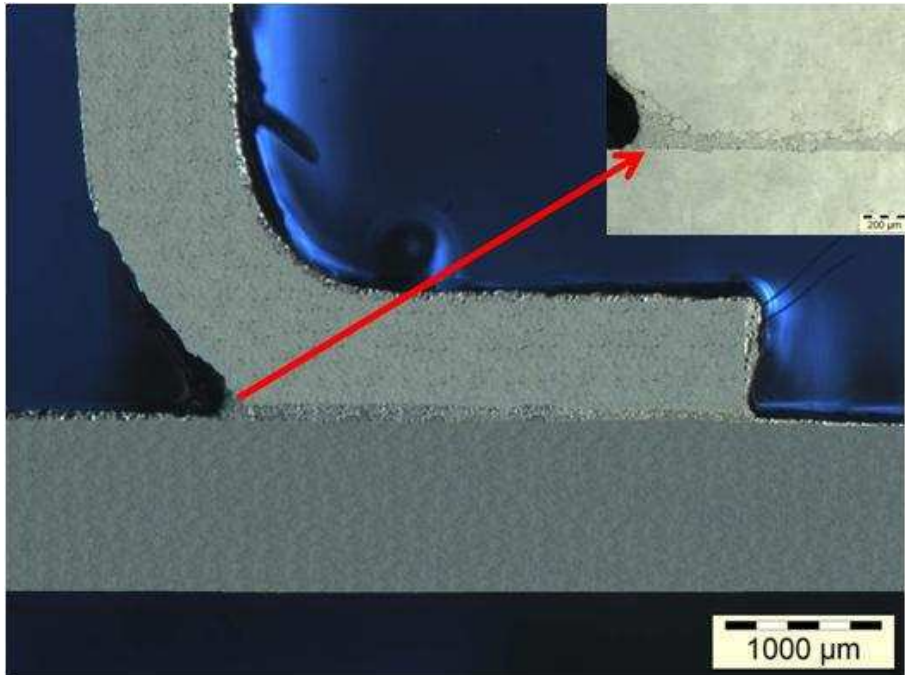


Figura 38 - Fotomicrografia. Tubo de sucção lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada.

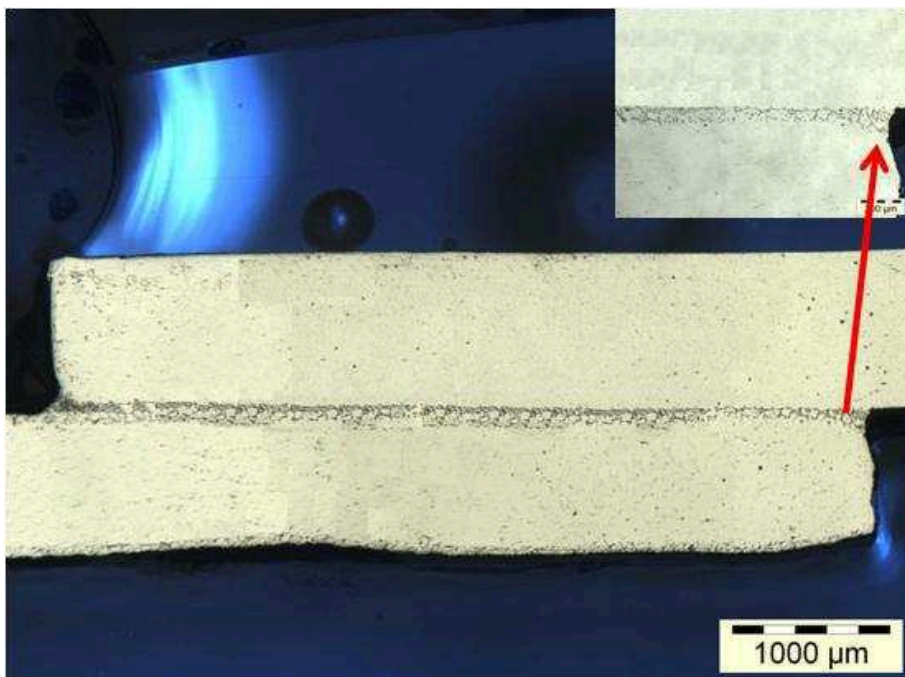


Figura 39 - Fotomicrografia. Tubo de sucção lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada.

Nas Figuras 36 a 39, observa-se que não houve degradação da superfície do metal de base dos tubos de sucção e tubo de líquido com relação à cabeceira no processo de brasagem. A solda brasada passa a ter um papel somente de caldeamento da junta soldada.

5.4 Análise metalográfica da experiência 2

As Figuras 40 a 43 mostram os resultados das fotomicrografias da experiência 2 com aumento de 25X, onde observa-se a região e o formato da solda brasada.

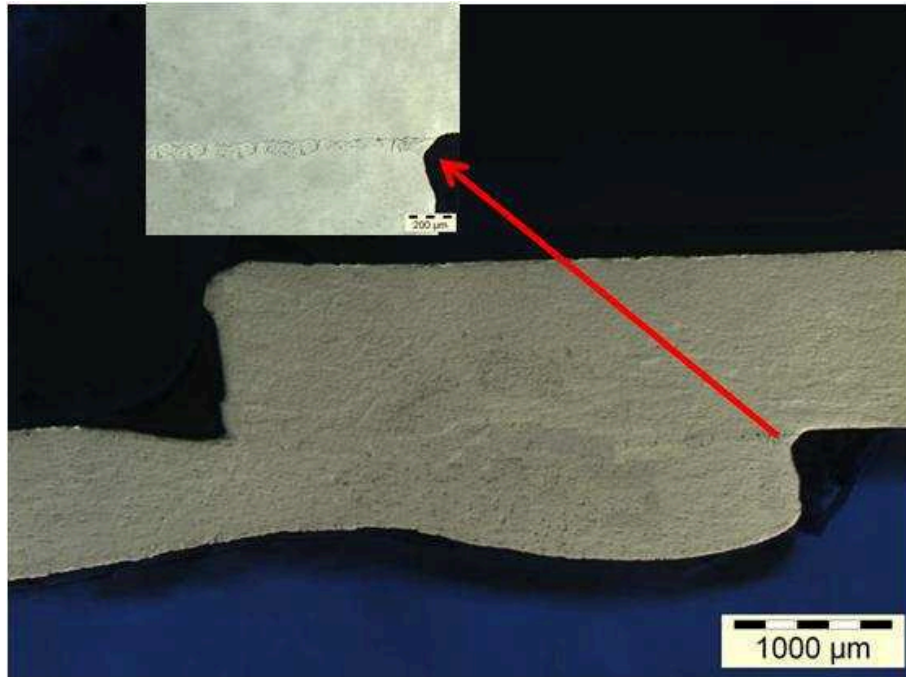


Figura 40 - Fotomicrografia. Tubo de líquido lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada.

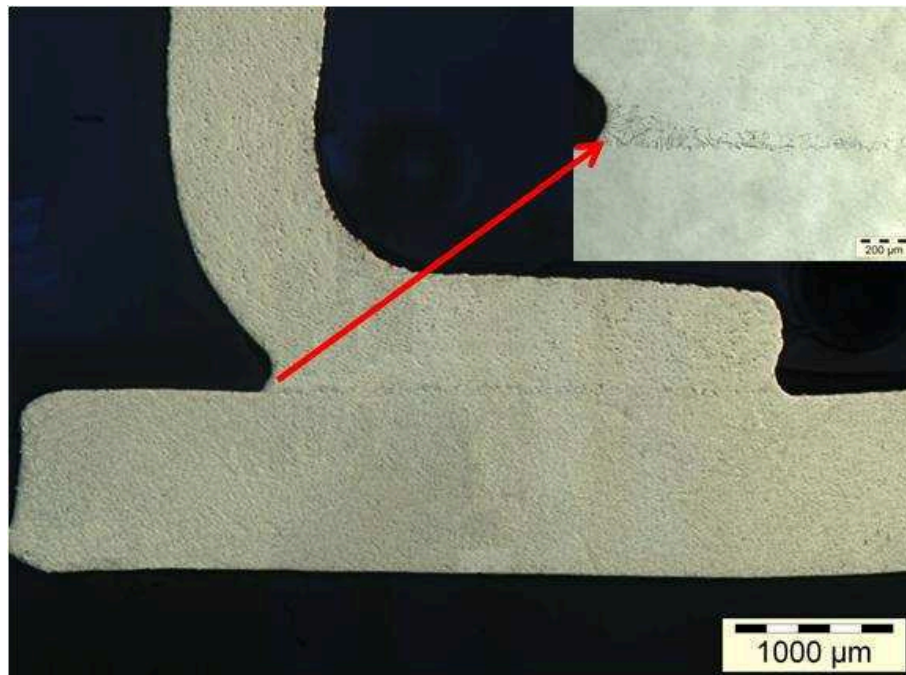


Figura 41 - Fotomicrografia. Tubo de líquido lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada.

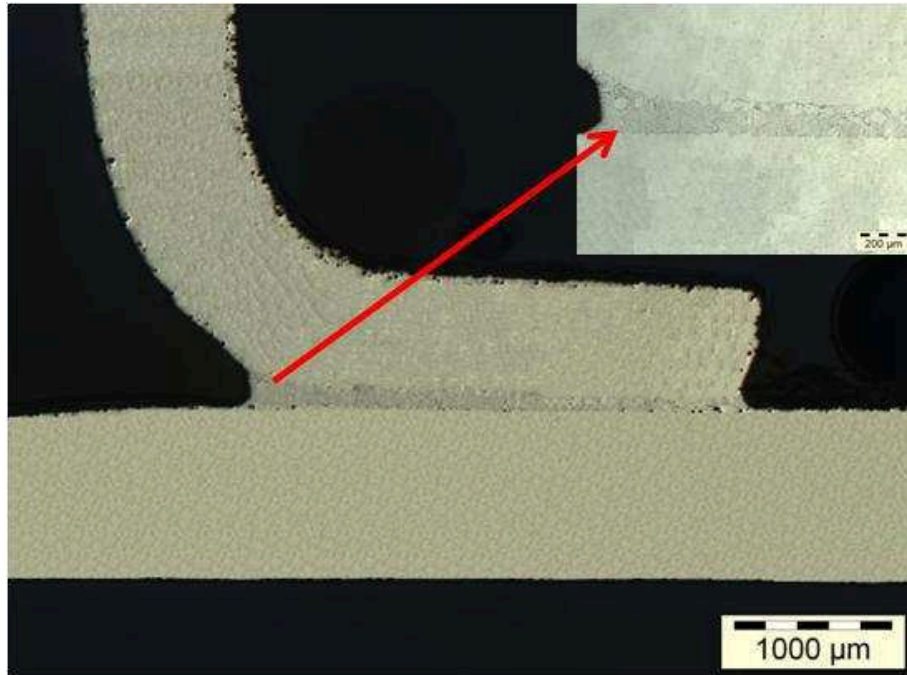


Figura 42 - Fotomicrografia. Tubo de sucção lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada.

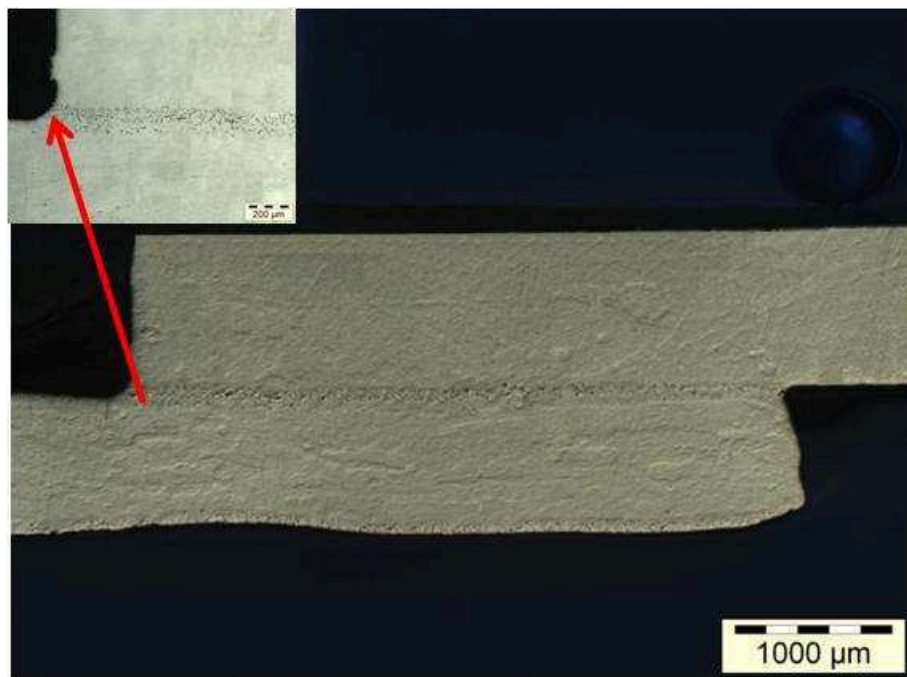


Figura 43 - Fotomicrografia. Tubo de sucção lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada.

Nas Figuras 40 a 43, observa-se que houve o início da degradação da superfície do metal de base dos tubos de sucção e tubo de líquido com relação à cabeceira no processo de rebrasagem e tratamento térmico do evaporador.

5.5 Análise metalográfica da experiência 3

As Figuras 44 a 47 mostram os resultados das fotomicrografias da experiência 3 com aumento de 25X, onde observa-se a região e o formato da solda brasada.

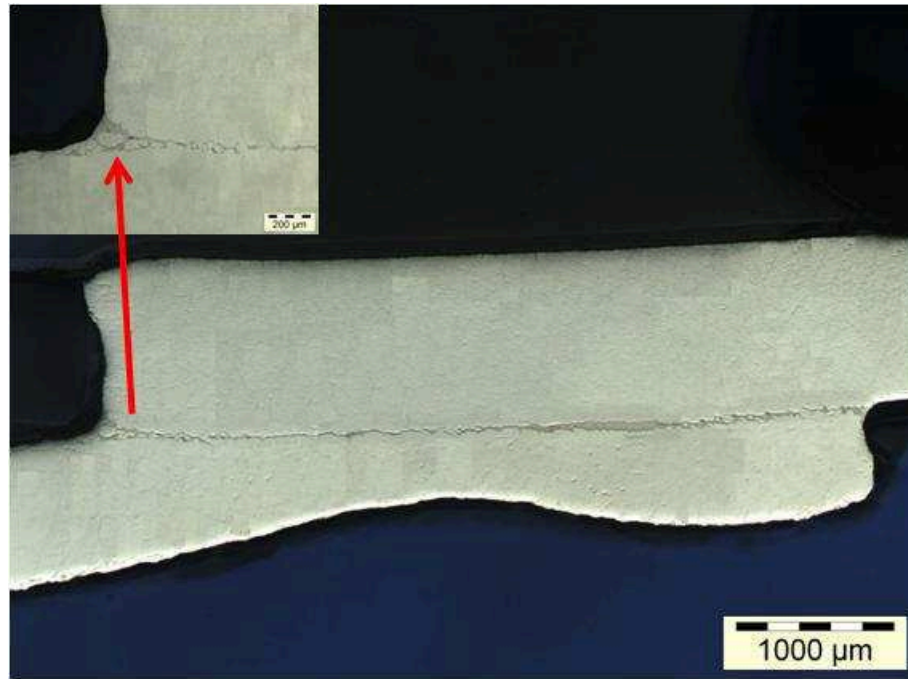


Figura 44 - Fotomicrografia. Tubo de líquido lado A. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada.

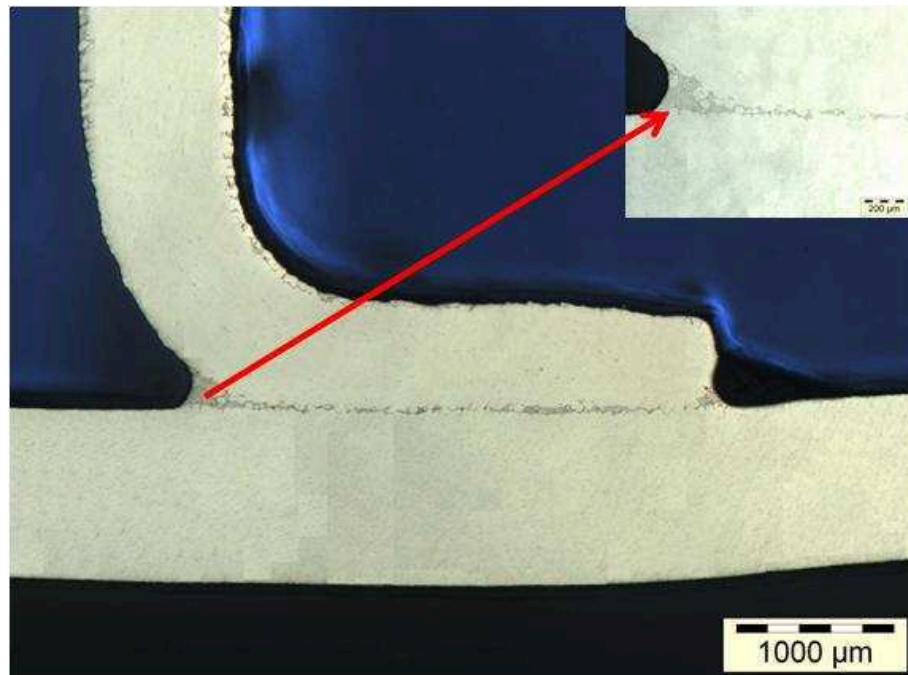


Figura 45 - Fotomicrografia. Tubo de líquido lado B. Aumento 25X. Sem ataque. Observa-se a região da solda brasada.

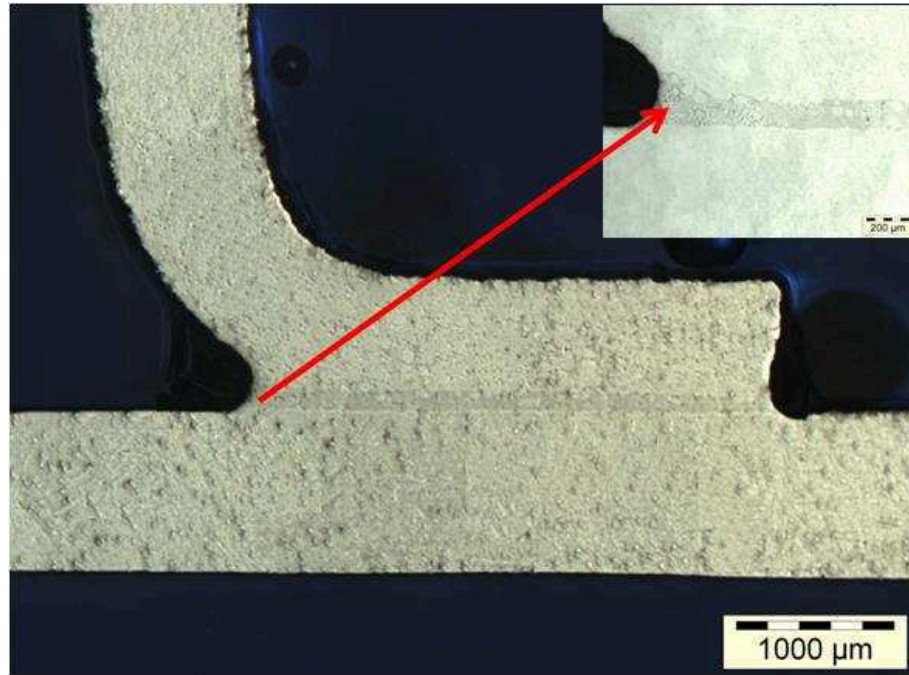


Figura 46 - Fotomicrografia. Tudo de sucção lado A. Aumento 25X. Sem ataque.

Observa-se a região da solda brasada

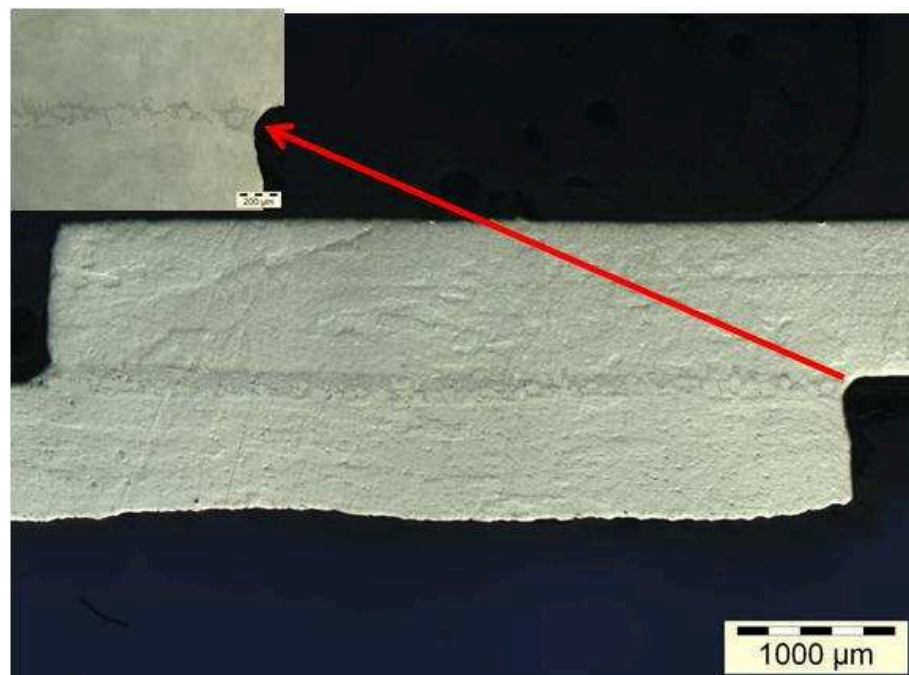


Figura 47 - Fotomicrografia. Tubo de sucção lado B. Aumento 25X. Sem ataque.

Observa-se a região da solda brasada

Nas Figuras 44 a 47, observa-se que houve uma maior degradação da superfície do metal de base dos tubos de sucção e tubo de líquido com relação à cabeceira no processo de rebrasagem e tratamento térmico do evaporador. Nota-se que houve uma redução na espessura da junta rebrasada do tubo de líquido com relação à cabeceira.

5.6 Análise metalográfica da experiência 4

As Figuras 48 a 51 mostram os resultados das fotomicrografias da experiência 4 com aumento de 25X, onde observa-se a região e o formato da solda brasada.

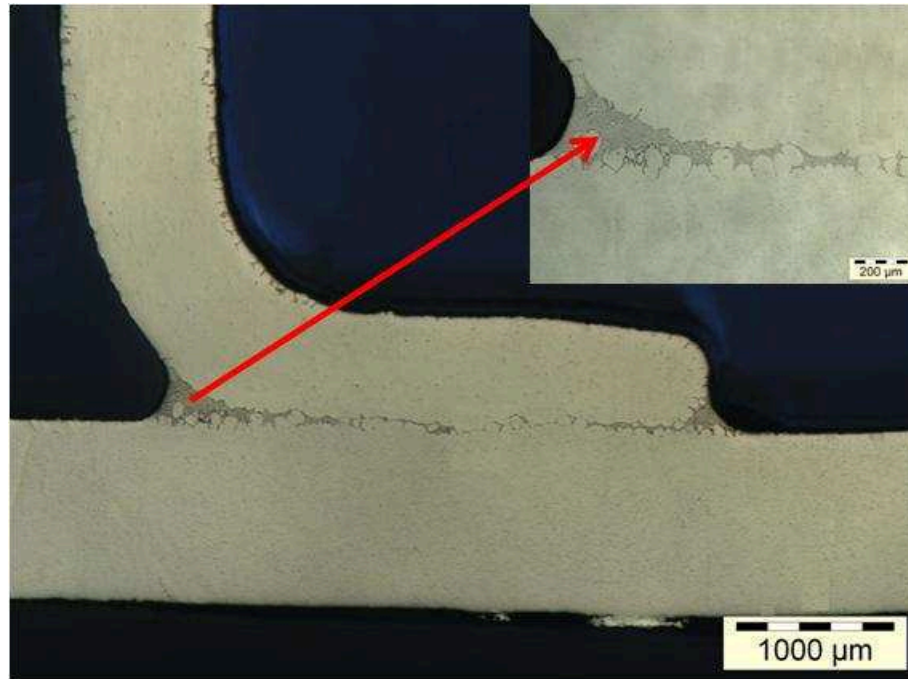


Figura 48 - Fotomicrografia. Tubo de líquido lado A. Aumento 25X. Sem ataque.

Observa-se a região da solda brasada

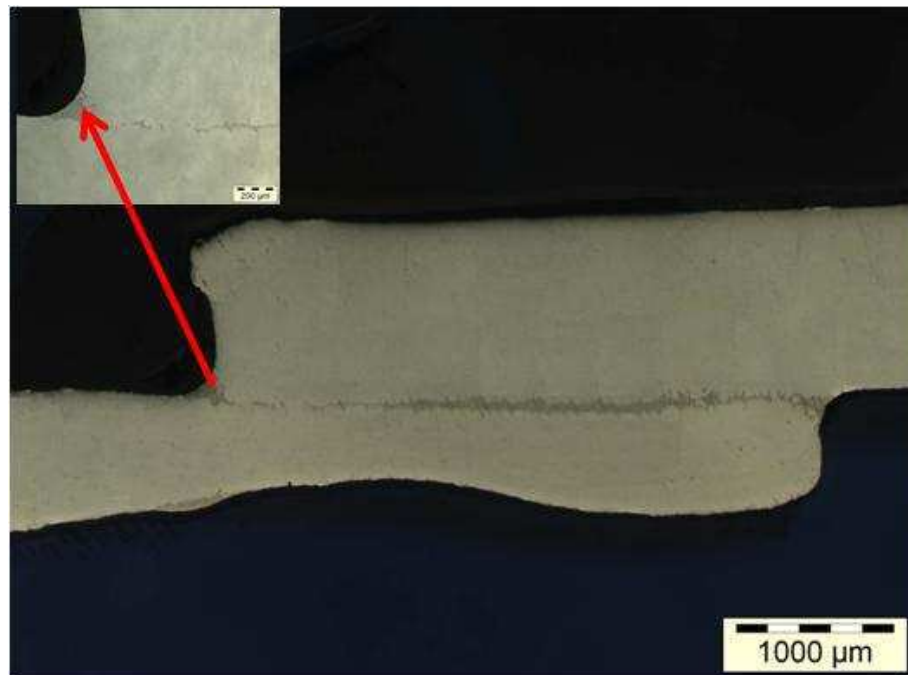


Figura 49 - Fotomicrografia. Tubo de líquido lado B. Aumento 25X. Sem ataque.

Observa-se a região da solda brasada

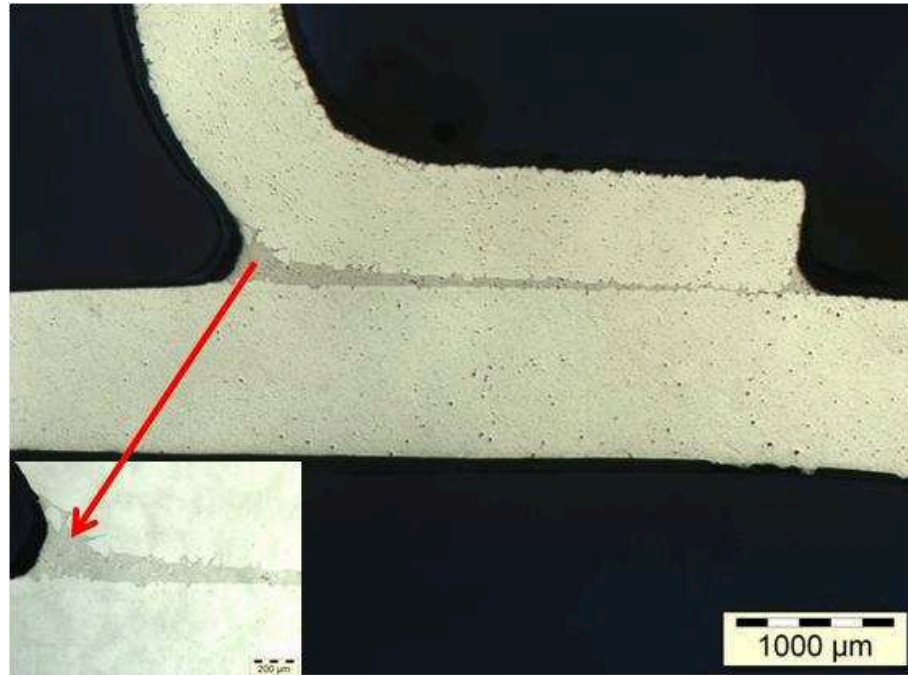


Figura 50 - Fotomicrografia. Tubo de sucção lado A. Aumento 25X. Sem ataque.

Observa-se a região da solda brasada

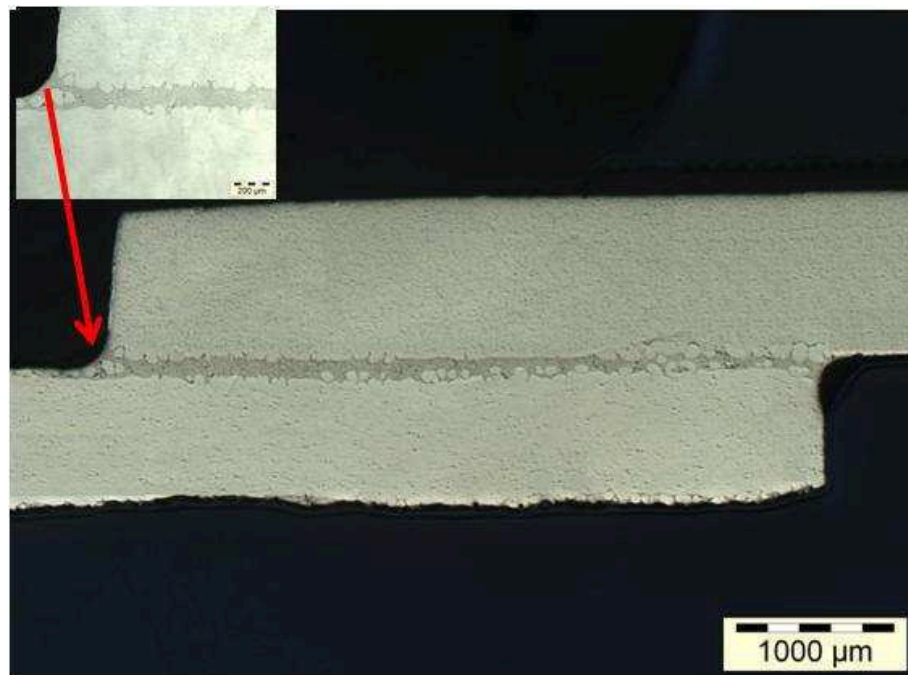


Figura 51 - Fotomicrografia. Tubo de sucção lado B. Aumento 25X. Sem ataque.

Observa-se a região da solda brasada

Nas Figuras 48 a 51, observa-se que houve uma acentuada degradação da superfície do metal de base dos tubos de sucção e tubo de líquido com relação à cabeceira no processo de rebrasagem e tratamento térmico do evaporador. Nota-se que houve uma redução na espessura da junta rebrasada do tubo de líquido com relação à cabeceira.

5.7 Análise metalográfica da experiência 5

As Figuras 52 a 55 mostram os resultados das fotomicrografias da experiência 5 com aumento de 25X, onde observa-se a região e o formato da solda brasada.

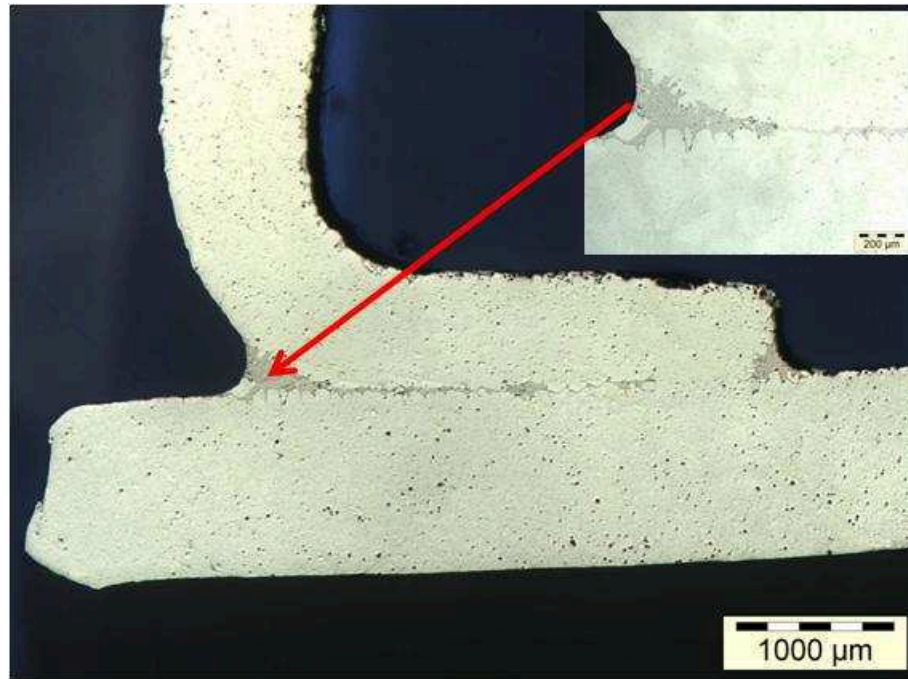


Figura 52 - Fotomicrografia. Tubo de líquido lado A. Aumento 25X. Sem ataque.

Observa-se a região da solda brasada

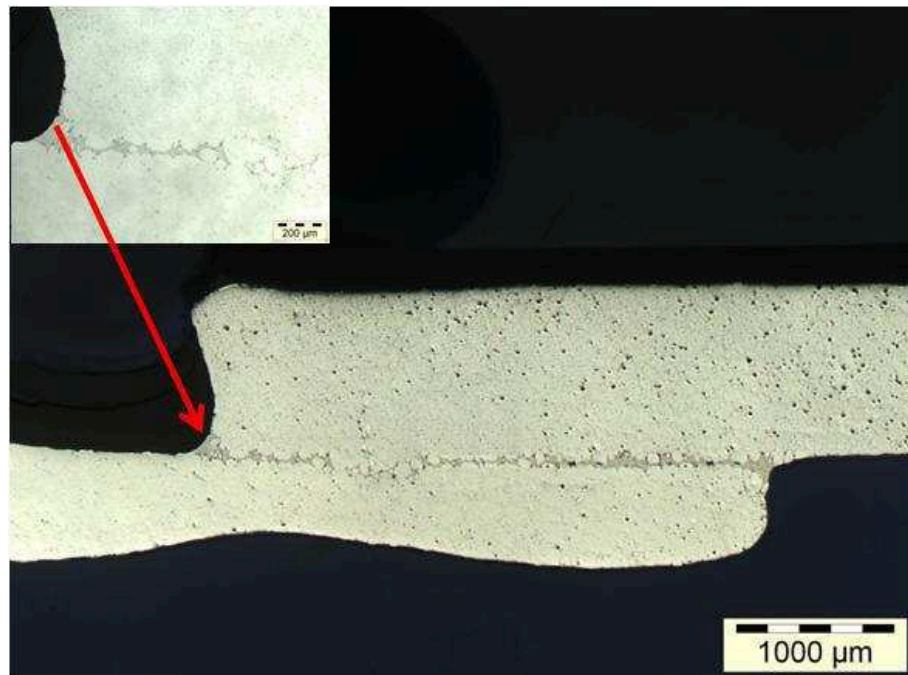


Figura 53 - Fotomicrografia. Tubo de líquido lado B. Aumento 25X. Sem ataque.

Observa-se a região da solda brasada

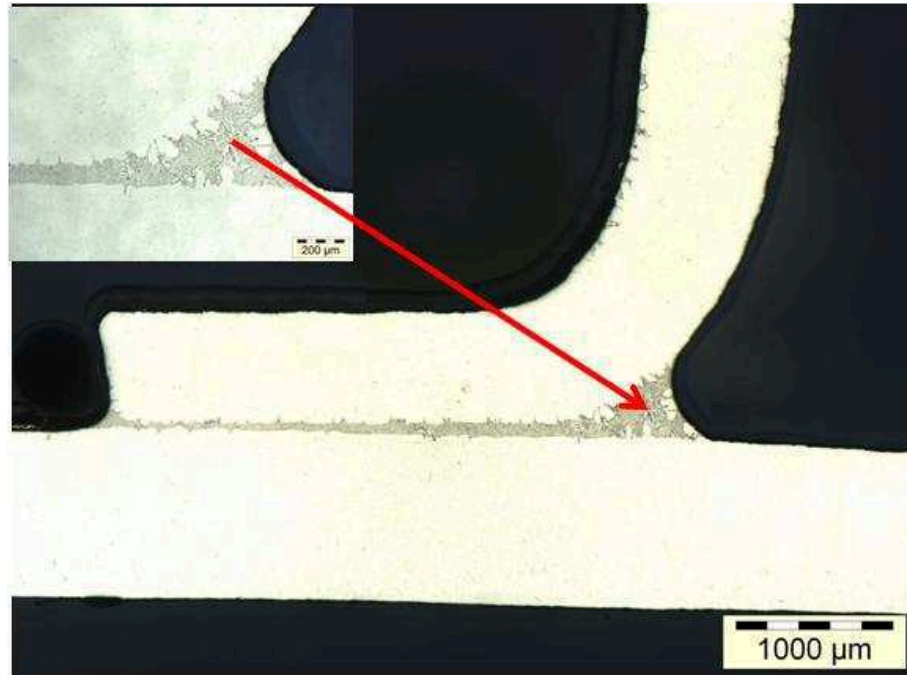


Figura 54 - Fotomicrografia. Tubo de sucção lado A. Aumento 25X. Sem ataque.

Observa-se a região da solda brasada

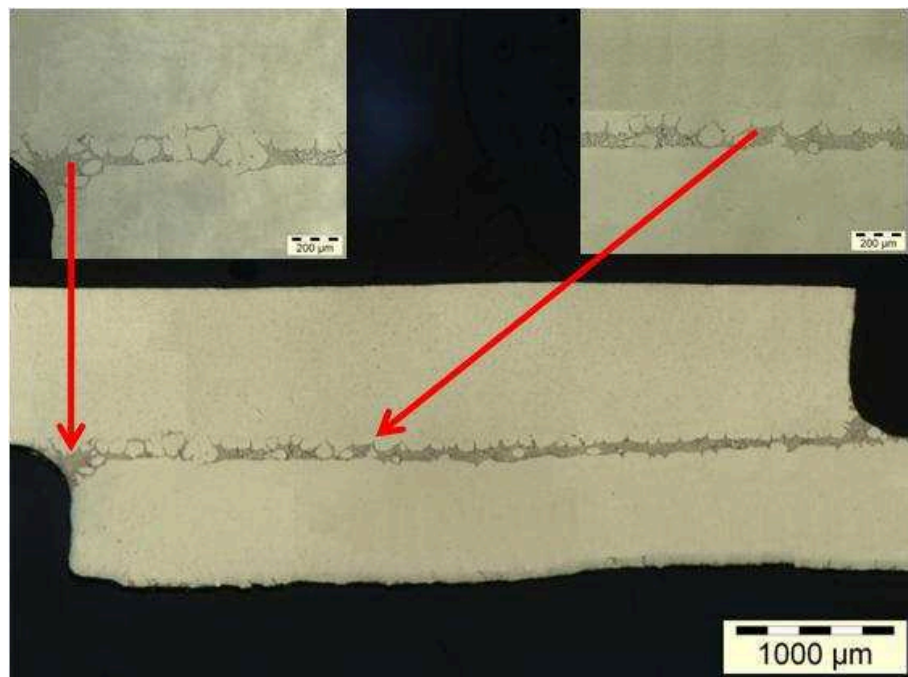


Figura 55 - Fotomicrografia. Tubo de sucção lado B. Aumento 25X. Sem ataque.

Observa-se a região da solda brasada

Nas Figuras 52 a 55, observa-se que houve uma agressiva degradação da superfície do metal de base dos tubos de sucção e tubo de líquido com relação à cabeceira no processo de rebrasagem e tratamento térmico do evaporador. Nota-se que houve uma redução na espessura da junta rebrasada do tubo de líquido e tubo de sucção com relação à cabeceira. Observa-se

também que a superfície do tubo de líquido e tubo de sucção foram degradadas, prejudicando a qualidade superficial do evaporador.

A experiência 1, representa o ciclo normal de brasagem utilizado na fabricação de evaporadores automotivos. O resultado obtido na análise metalográfica serviu de referência para comparar a evolução da degradação da junta brasada das outras experiências a cada ciclo de rebrasagem.

A experiência 2, indicou leve degradação da superfície do metal de base dos tubos de sucção e de líquido com relação à cabeceira, porém nota-se que não houve alterações da junta brasada. Este retrabalho poderá ser aplicado sem comprometer o desempenho do produto em campo.

A experiência 3, indicou aumento da degradação da superfície do metal de base dos tubos de sucção e de líquido com relação à cabeceira. Foi possível observar uma redução na espessura da junta rebrasada do tubo líquido com relação à cabeceira. Este retrabalho não é recomendado, pois pode reduzir comprometer o desempenho do produto em campo.

A experiência 4, indicou acentuada degradação da superfície do metal de base dos tubos de sucção e de líquido com relação à cabeceira. Foi possível observar uma redução na espessura da junta rebrasada do tubo líquido com relação à cabeceira. Este retrabalho não é recomendado, pois pode comprometer o desempenho do produto em campo.

A experiência 5, indicou agressiva degradação da superfície do metal de base dos tubos de sucção e de líquido com relação à cabeceira. Foi possível observar uma redução na espessura da junta rebrasada do tubo líquido com relação à cabeceira. Observou-se também que a superfície do tubo de líquido e de sucção foi degradada, prejudicando a qualidade superficial do evaporador. Este retrabalho não é recomendado, pois pode comprometer o desempenho do produto em campo.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pelos ensaios de estanqueidade e metalografia, pode-se concluir:

1. Os evaporadores foram testados e aprovados no teste de estanqueidade após terem sido brasados e rebrasados, porém apenas os evaporadores dos experimentos 1 e 2 mantiveram-se qualificados.
2. Com base nestes resultados, as análises metalográficas das 03 últimas experiências demonstraram que o processo de rebrasagem além de prejudicar a qualidade superficial do evaporador, causa degradação da junta brasada, reduzindo sua espessura. Este fator pode comprometer a confiabilidade e a qualidade dos evaporadores.
3. Portanto, para a fabricação dos evaporadores automotivos fica recomendado a execução de brasagem e no máximo uma rebrasagem , eliminando a possibilidade de execução de novas rebrasagens.

Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se para trabalhos futuros:

- Estudo do comportamento da aleta do evaporador após o processo de rebrasagem e retratamento anti-corrosivo.
- Estudo do comportamento do tubo do evaporador após o processo de rebrasagem e retratamento anti-corrosivo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. S. “**Elementos Orgânicos de Máquinas I AT-096**”. Universidade Federal do Paraná Curso de Engenharia Industrial, p. 51, 2003.

ATEQ, User manual, **ATEQ F 510**, Version 1.16, WWW.ATEQ.COM, [2011]. Acesso em 11 Abr.2011.

AUTO.WORLD - **Magazine of the German automotive supply industry**, 2007.

AWS Welding Handbook – **Welding Processes**, Volume 2, 8a. Edição.

BATALHA, G.F. **Processos de Fabricação: Junção, Soldagem e Brasagem**; PMR 2202, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Out.,2003.

BERGLES, A. E.; JOSHI, S. D. **Augmentation Techniques for Low Reynolds Number In-Tube Flow, Low Reynolds Number Flow Heat Exchangers**, Eds. S. Kakac, R. K. Shah and A. E. Bergles, Hemisphere, Washington D. C., p. 695-720, 1983.

BOHACZ, R. T. **The Causes of Internal Engine Knock, and How to Eliminate it**. Artigo publicado no site: <http://www.mk3ukr-supra.com/Tech%20Info.htm>, fevereiro 2006.

BRACARENSE, A. Q. “**Brasagem, Soldabrasagem e Soldagem Branda**”. Universidade Federal de Minas Gerais: Grupo de Robótica, Soldagem e Simulação, p. 30, 2000.

CINCINNATI, Sentinel I-24 Precision Leak Test Instrument Instruction Manual, CINCINNATI TEST SYSTEMS ,INC , WWW.CINCINNATI-TEST.COM, 2008.

COWELL, T.A.; HEIKAL,M.R.; ACHAICHIA,A. **Flow and heat transfer in compact louvered fin surfaces**. Experimental thermal and Fluid Science, 1995.

CROUSE, W.H.; ANGLIN., D.L., " **Automotive Transmission and Power Trains construction**", McGraw-Hill, 1976.

DIN EN 573-3- Aluminium und Aluminiumlegierungen –Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug –Teil 3: Chemische Zusammensetzung und Erzeugnisformen;Deutsche Fassung EN 573-3, 2009

EEL -027 – **Instrução de trabalho teste de estanqueidade**, 2011.

ESSEL; Eletromecânica. <http://www.essel.com.br/cursos/03_trocadores.htm>. Acesso em 04. fev. 2011.

NOC 3 -001 – **Processo de brasagem Nocolok**, 2008.

OLIVEIRA, V. A.; SILVA, O. M.; DEBERNARDO, V. H. S.; CAMARGO, J. R. **Garantia da Qualidade da Solda Mig/Tig na Fabricação de Radiadores de Alumínio**. VI Workshop Universidade-Empresa em Automação Industrial, Energia, Materiais e Processos, Produção, 27 e 28 de Fevereiro, Taubaté, 2010.

OZISIK, M. N., **Heat Transfer: A Basic Approach**, 1 st edition, Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1990.

KALPAKJIAN, S.; SCHIMD, S. **Manufacturing Engineering and Technology**, 4 ed., Ed. Prentice Hall, v. 5, 2001.

SEILER. Vakuum Technik GMBH. MLTS1 [2011] <<http://www.seiler-vakuum.de/en/products/mlts1.html>>, Acesso em 09 Mai 2011.

SISTEMAS AUTOMOTIVOS BLOGSPOT
<<http://sistemasautomotivos.blogspot.com/2009/01/radiador.html>> Acesso em 21 mar 2011, [2011].

SOLVAY FLUOR UND DERIVATE, **The Nocolok Flux Brazing Process**, 1998.

SHAH, M. M. **Chart Correlation for Saturated Boiling Heat Transfer: Equations and Further Study ASHRAE Trans.**, v. 88, p. 1, pp. 185-196, 1982.

VÖLKER, C. **The Nocolok Brazing Process**, 2010.

VN V AR.01087 - **Chrome-free spray passivation in accordance with the Behroxal process, 2006.**

YAMAHA. Yamaha Fine Technologies CO. LTD. Helium Leak Tester test Principle and Concept Diagram.
<<http://www.yamaha.co.jp/finetech/english/products/leaktester/principle/index.html>> Acesso em 09 mai 2011.