

VAZAMENTOS DECORRENTES DO PROCESSO DE BRASAGEM: ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA DE COMPONENTES DE REFRIGERAÇÃO

Edson Jelonscheck

Matheus Estevão Franceschi

Angelo Reck Neto

Cristiane Luiza Salazar Garcia

Vanderlei da Silva

Faculdade SENAI Joinville, R. Arno Waldemar Dohler, 921 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89223-001

e-mails edson_jelonscheck@estudante.sc.senai.br; matheus_estevao@estudante.sc.senai.br; angeloneto@edu.sc.senai.br;

cristiane.garcia@edu.sc.senai.br; vanderlei.da-silva@edu.sc.senai.br.

Resumo. Com caráter exploratório, a pesquisa realizou um estudo de caso em empresa do ramo de componentes de refrigeração do norte catarinense, analisando o subprocesso da junção da ponteira com capilar zincado, por meio do processo de brasagem. Foram observadas falhas durante a execução deste subprocesso, as quais acabam por colaborar com a produção de falhas na peça brasada/soldada, gerando prejuízos diretos e indiretos para a empresa. Como base na literatura técnica do assunto e em mapeamento do subprocesso dentro da empresa estudada, foi possível desenhar um breve mapa processual, de forma a organizar a visualização conceitual da brasagem. Para aprofundar a compreensão das possíveis falhas decorrentes do referido subprocesso, foram realizados testes, identificando possíveis causas dos vazamentos, gerando corpos de prova que foram analisados através de Técnica DOE. Para visualização e análise dos dados levantados pelos testes, foram gerados gráficos onde pode ser corroborada as possíveis causas das falhas geradas pelo subprocesso estudado. Entre as causas mais aparentes estão o não uso de fluxo na brasagem e a interação do diâmetro interno e o paralelo do capilar.

Palavras chave: Solda industrial. Processo de Brasagem. Componentes de refrigeração. Vazamento no capilar.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação na indústria têm a cada dia ganhado fatores de alta complexidade, onde as especificidades de cada subprocesso relacionado, podem garantir diferenciais competitivos para a empresa. Desta forma, o presente artigo visa a análise do subprocesso de junção da ponteira com capilar zincado, por meio do processo de brasagem. Há muitas variáveis que impactam o sucesso do processo de brasagem, as quais relacionam-se às propriedades químicas, físicas e mecânicas das peças resultantes do processo (Rabelo e Sato, 2020).

Como um dos mais antigos processos de junção de materiais distintos, a brasagem é atualmente reconhecida como um processo especial de soldagem com características que a fazem singular, como junções mecanicamente resistentes, preenchimento total do espaço entre os materiais base além de ser capaz de unir partes que outros processos não o fazem (Borba, 2013).

Por ainda ser um processo realizado de forma manual em muitas empresas, é possível identificar falhas de diversas naturezas, as quais impactam na peça produzida e em seu desempenho final ou intermediário. Assim, identificar e sanar pontos críticos ainda na sua brasagem, pode impactar o processo produtivo como um todo. Uma das consequências bastante comuns é a trinca na junta brasada, que ocasiona danos na peça, incluindo descolamentos, oxidação e vazamentos de fluídos. Segundo o manual da Harris-Brastak (2002) cerca de 90% dos vazamentos ocorrem devido a uma brasagem realizada incorretamente.

Assim, o presente estudo objetivou a realização do levantamento dos fatores críticos do processo em questão para determinar a causa raiz do problema. Para tanto, o ponto de partida foi a realização de um estudo de caso em uma empresa do ramo de componentes de refrigeração, analisando conceitos-chave em torno da brasagem e análise do procedimento na empresa, de forma mapeá-lo. Para dar suporte a análise do processo, foram realizados testes para verificar a estabilidade do subprocesso de brasagem. Os resultados trouxeram dados analíticos sobre as falhas do subprocesso, que possibilitaram a descrição de possíveis caminhos para solução de suas falhas, fornecendo subsídios para a tomada de decisão da empresa.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa desenvolvida tem caráter exploratório, e por meio de um estudo de caso de empresa do ramo de componentes de refrigeração do norte catarinense foi possível explorar a problemática relativa ao subprocesso de junção da ponteira com capilar zincado do processo de brasagem, o qual demonstrou relação com falhas ocasionadas na linha de produção da empresa estudada.

Por meio do estudo, foram identificadas algumas variáveis relacionadas ao processo de brasagem, reconhecidas como fatores críticos de sucesso dele, tais como: folga entre as peças, tipo de chama, paralelo, posição para fixação, desengraxe, turno e quantidade de fluxo.

A partir do levantamento destes fatores, foram realizados testes usando a técnica DoE (Design of Experiments), a qual permite um estudo seja realizado “[...] de tal forma que os dados obtidos possam ser analisados por meios de métodos estatísticos e levem a conclusões válidas” sobre o objeto da pesquisa (MENDELSKI, 2017, p. 22).

Após o levantamento dos fatores influenciadores foram gerados corpos de prova abordando tais variáveis. Em seguida, os corpos de prova foram submetidos aos testes de estanqueidade e continuidade, posteriormente passando por uma análise da capilaridade. Com o auxílio do software MINITAB - o qual tem um extensivo uso em conjunto com a técnica DoE, além de uma poderosa interface gráfica com uso compreensível visualização (MATHEWS, 2005) - foram realizadas análises estatísticas dos dados gerados pelos testes, para levantar os fatores influenciadores do processo de brasagem.

Para a realização dos testes o operador deveria posicionar a ponteira em uma mesa, posteriormente introduzir o capilar na extremidade da ponteira onde se tem o rebaixo - redução do diâmetro da ponta de um tubo. Com um maçarico realizar um breve aquecimento das peças, onde a ponta da vareta que possui um percentual de 15% de liga de prata é aquecida e se necessário mergulhada em um recipiente com pó fluxo e após isso é efetuada a brasagem.

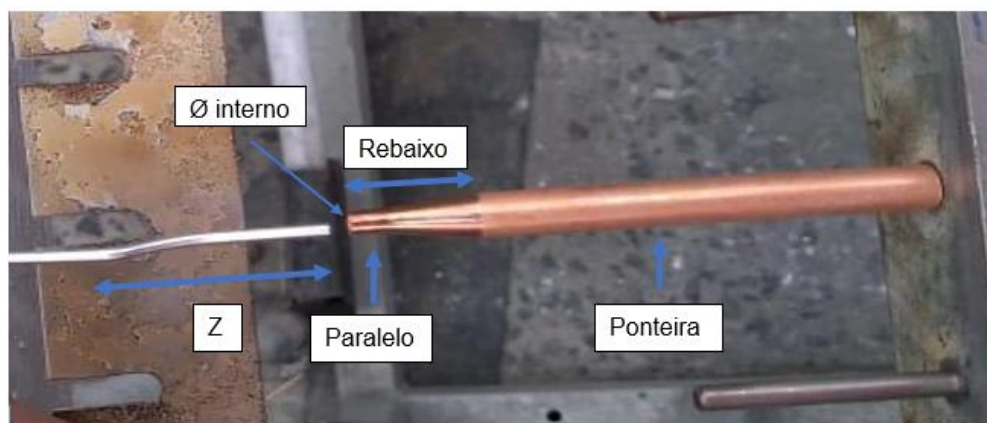


Figura 1. Introdução do capilar com “Z” no rebaixo da ponteira (Dados do estudo)

O teste de estanqueidade tem a função de verificar se há algum vazamento na brasagem das peças e se ocorreu algum tipo de entupimento por excesso de capilaridade. Primeiramente o operador separa as peças que serão testadas, conecta a ponta da ponteira com o capilar já brasado em um bico, posteriormente faz o acionamento do equipamento que submerge a peça em um tanque com água e injeta ar.

A inspeção é feita visualmente, observando se há formação de bolhas em torno da região brasada provenientes do ar que é injetado e escapa por furos que podem ser gerados pela brasagem, o entupimento é testado através do fluxo de ar que passa de ponta a ponta da peça, caso haja uma alteração na saída do fluxo, ou ele seja interrompido o equipamento indicará que a peça tem problema.

Após a realização dos testes de estanqueidade e entupimento a peça é levada até o esmeril onde é retirada uma seção da ponteira para se observar o quanto de capilaridade ocorreu no processo de brasagem.

Após este processo a peça é lixada para se retirar impurezas que podem se depositar na peça. Utilizando a câmera Dino Capture 2.0, que possui resolução de 5 Megapixel, com ampliação de 10x até 220x, para capturar imagens demonstrando a penetração da brasagem. A peça é colocada sobre uma mesa, em seguida a câmera é calibrada com o auxílio de trena e posicionada, ajustando o foco da câmera para obter mais detalhes na imagem, através da função de medição da câmera é observado o quanto de capilaridade ocorreu na peça brasada.

Ainda, para apresentação dos dados foi utilizado o formato do Gráfico, ou diagrama, de Pareto, o qual é uma das ferramentas básicas da qualidade, o qual visa focalizar os esforços de melhoria dentro de uma empresa (CARPINETTI, 2012)

3. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados levantados por meio do estudo de caso da empresa conforme menção anterior, foi possível realizar um o desenho processo do processo de brasagem, descrito a seguir na Seção 3.1, com todos os itens utilizados para realizar a brasagem.

Tais dados proporcionaram o levantamento de uma série de variáveis, as quais foram utilizadas como base para a realização da parte experimental da pesquisa. As variáveis então determinaram os possíveis fatores causadores da não penetração da solda durante o processo de brasagem (capilaridade) e do vazamento recorrente.

Para determinação do tipo de testes que deveriam ser feitos de modo a explorar o problema apresentado, tais fatores foram parametrizados em software analítico, MiniTab, o qual determinou as sequências dos testes que deveriam ser realizados. Os fatores e os tipos de testes estão descritos na Seção 4.2.

Os resultados dos testes, apresentados nas Seções 4.2.1 e 4.2.2 do trabalho, foram atribuídos novamente ao software MiniTab onde o mesmo gerou gráficos analíticos, no formato de apresentação de Gráficos de Pareto. Assim, os resultados dos testes foram analisados com auxílio do software o que possibilitou a melhor compreensão do processo e identificação dos principais fatores que influenciam no processo de brasagem na empresa.

3.1 Caracterização do processo de brasagem na empresa estudada

Por meio de visita técnica à empresa, com participação de responsável pelo processo de brasagem, foi discutido e analisado os passos do processo dentro da empresa para descrição do processo de fabricação da peça comercializada. Este foi um passo inicial bastante relevante para se compreender as variáveis que seriam estudadas durante o desenvolvimento do estudo, que resultou na realização dos testes descritos nas seções que seguem.

Para melhor compreensão do processo de fabricação da peça, ele foi dividido em 6 etapas:

Etapa 1 - Trefilação dos tubos de cobre: Primeiramente os tubos de cobre são trefilados, onde são forçados contra matrizes para fazer com que reduza seu diâmetro e aumentando o seu comprimento e alterando espessura de parede, sendo repetido até que seja o diâmetro e espessura de parede desejada.

Etapa 2 - Limpeza e revestimento dos capilares: Após a trefilação é feita a limpeza dos capilares utilizando álcool etílico para retirar os resíduos de óleos usados na trefilação que atrapalham no processo de brasagem. Após a limpeza dos capilares, os que têm necessidade são enviados para o processo de zincagem e posteriormente são cortados em seu tamanho.

Etapa 3 - Fabricação da ponteira: A fabricação da ponteira segue o mesmo processo, porém fora da empresa, somente sendo adicionado dentro da empresa o processo de corte e de rebaixo na extremidade da ponteira, para que ocorra a capilaridade na brasagem.

Etapa 4 - Limpeza da ponteira: A limpeza das ponteiras segue o mesmo padrão dos capilares, onde é efetuada a limpeza utilizando álcool etílico para retirar os resíduos de óleos usados na trefilação que atrapalham no processo de brasagem.

Etapa 5 - Estocagem: Após a limpeza da ponteira e do capilar as pontas de ambos são isolados para evitar contaminações do ambiente enquanto as peças estiverem estocadas aguardando o processo de brasagem

Etapa 6 - Brasagem: A ponteira é posicionada em uma mesa com regulagem de ângulo para facilitar o processo. O capilar é introduzido na extremidade da ponteira onde se tem o rebaixo.

Com um maçarico é feito um breve aquecimento das peças, a ponta da vareta é aquecida e mergulhada em um recipiente com pó fluxo – ácido bórico, bifluoreto de potássio e hidróxido de potássio - e após isso, a ponta da vareta é colocada sobre a área onde se tem a inserção do capilar na ponteira, usando o maçarico para aquecer a ponta da vareta até que haja o seu derretimento e seja possível o efeito de capilaridade para fazer a junção das peças.

3.2 Análise do processo de brasagem: resultados dos testes

Foram analisados os seguintes fatores do processo para identificar os com mais influência no processo de brasagem:

1) Com ou sem conformação do Z no capilar; 2) Utilização ou não do pó fluxo; 3) Comprimento do rebaixo da ponteira 10 ou 3 mm; 4) Diâmetro interno do rebaixo da ponteira 2,3 ou 2,1 mm; 5) Posição de soldagem 45 ou 180°; 6) Qualificação operacional (turnos 1 e 2).

Após as variáveis serem definidas iniciou-se o ciclo de testes de acordo com o plano de testes gerado pelo software MINITAB usando a técnica DoE fracionado, para verificar a real influência de cada fator no processo de brasagem, onde foi gerado 5 corpos de prova para cada teste, para obter resultados estatísticos mais confiáveis. Foram gerados então 16 testes totalizando 80 corpos de prova, onde os mesmos foram submetidos a testes de estanqueidade para verificar se há ocorrência de vazamentos, teste de continuidade para averiguar a obstrução na peça por causa do processo de brasagem e por último é verificado o efeito de capilaridade onde é retirado uma seção da peça utilizando esmeril, posteriormente com o auxílio de uma câmera de alta resolução é verificado a penetração da solda em milímetros conforme mostra a figura 03.

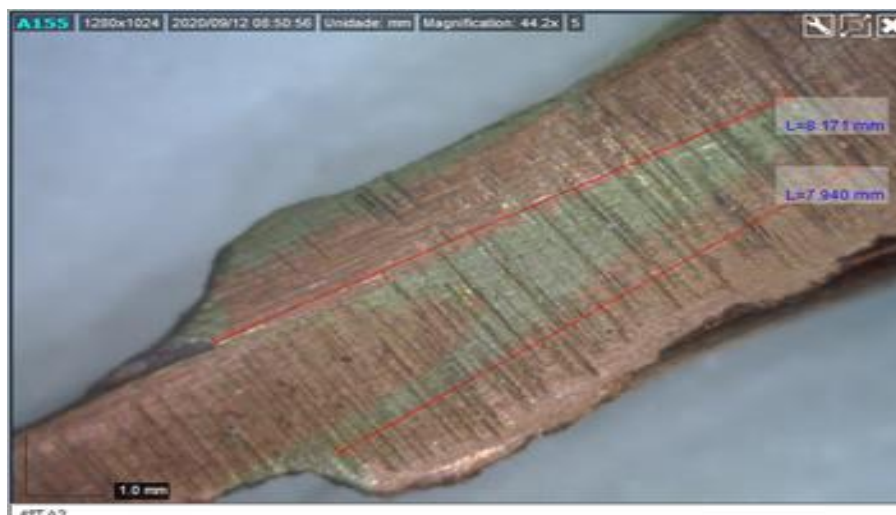


Figura 03: imagem feita pela câmera Dino Capture 2.0 para verificar efeito de capilaridade (Dados do estudo)

3.2.1 Dados sobre capilaridade - penetração da solda

A capilaridade, conforme estudada na fundamentação teórica, é um dos grandes fatores influenciadores do processo de brasagem. A influência da penetração da solda na peça, foi uma das hipóteses levantadas como causadoras de falhas na peça soldada. Os vazamentos recorrentes podem ser causados pela pouca penetração da solda ou nenhuma. Outro fator que a teoria demonstrou foi a relação da utilização do pó-fluxo no processo de brasagem.

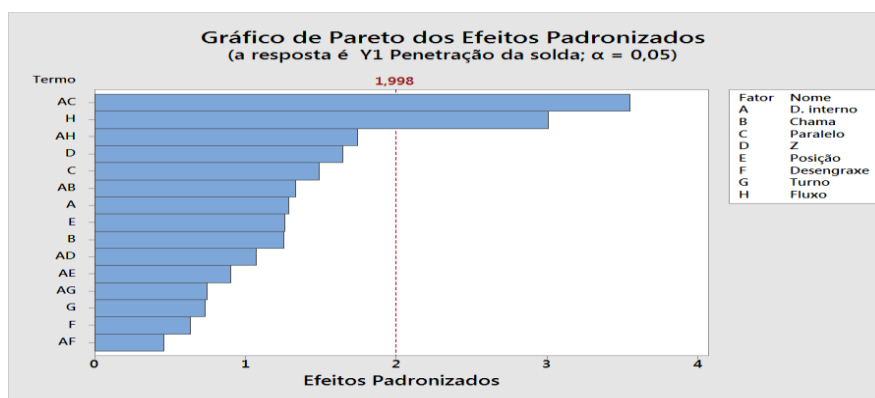


Figura 04. Gráfico de Pareto dos Efeitos Padronizados (Dados do estudo)

A Figura 04 mostra o resultado obtido dos testes realizados onde foi avaliado o quanto de penetração foi obtida nas amostras, os resultados foram cruzados em um software (MINITAB), usando a técnica de DOE onde foram extraídas as principais características que influenciam na penetração da solda (Capilaridade).

Baseado no resultado do gráfico da Figura 04 podemos refutar alguns fatores sugeridos no início do artigo como: chama, Z, posição, desengraxe e turno. Os efeitos destes fatores foram pouco relevantes em comparação com os demais, contudo não descartando-os totalmente, mas concluindo que baseado neste teste não foram relevantes quanto ao quesito capilaridade.

Como mostra na Figura 04 os principais fatores que influenciam na capilaridade são: AC - A interação do Diâmetro interno e paralelo; H – Uso de fluxo na brasagem.

Esse resultado foi dado utilizando 95% do fator de confiabilidade conforme padrões apresentados pelo Software MiniTab.



Figura 5: Gráfico de interação penetração da solda (Dados do estudo)

Nesse gráfico é possível verificar as interações dos fatores do experimento. Como pode ser observado na parte destacada a interação dos fatores AC, percebe-se que quanto maior o paralelo maior a penetração da solda (capilaridade) e quanto menor o paralelo menor a penetração da solda, para o diâmetro de 2,3 mm. O comportamento para o diâmetro 2,1 mm é o inverso, sendo que o menor paralelo gera maior penetração e o maior paralelo gera menor penetração. Portanto, a melhor condição de usar o paralelo maior com o maior diâmetro, e percebe-se que uma pequena variação no diâmetro interno, 2,3 mm para 2,1 mm, leva a uma grande redução na capilaridade.

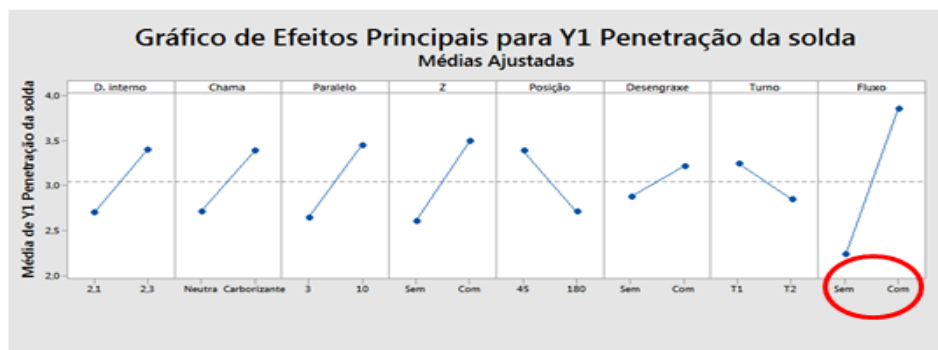


Figura 6: Gráfico de efeitos principais para penetração da solda (Dados do estudo)

Na Figura 6 podemos observar que com o uso de fluxo se obtém maior capilaridade e os demais fatores conforme apontado no gráfico não tem tanta relevância.

Nesses primeiros gráficos podemos concluir que para se obter uma maior capilaridade temos que utilizar os seguintes fatores paralelo de 10mm, diâmetro 2,30mm e fluxo.

3.2.2 Dados sobre vazamento

Entre os fatores influenciadores do processo está o uso do pó-fluxo de maneira adequada. A quantidade ideal do seu uso interfere de maneira direta no processo, porém a dosagem, devido à realização do processo de forma manual,

impossibilita a sua calibragem de forma adequada. O manuseio dele no início do processo pode ocasionar em perdas da quantidade do produto até a conclusão do processo. Porém, por ser um material que se cristaliza durante o processo de brasagem, o seu uso em excesso também pode causar falsa cobertura na peça e assim mascarar furos e outros defeitos na peça.

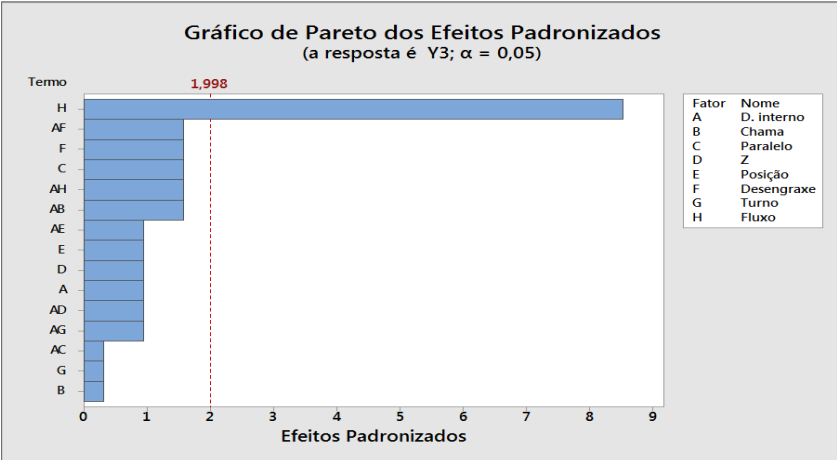


Figura 07. Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados (Dados do estudo)

Na figura 07 segundo gráfico dos efeitos padronizados mostra o cruzamento de dado referente às amostras que tiveram vazamento, como pode ser observada a variável que mais influenciou para o quesito vazamento foi a falta de FLUXO, descartando os outros fatores como; diâmetro interno, chama, paralelo, Z, posição, desengraxe e turno

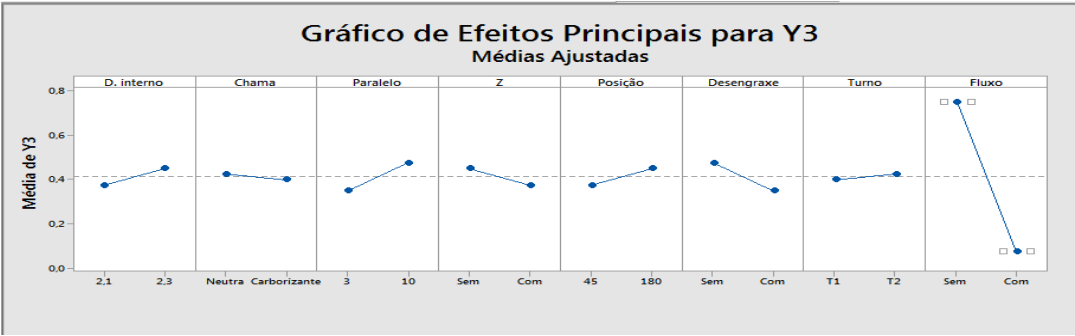


Figura 08. Gráfico de efeitos principais. (Dados do estudo)

Na Figura 8 podemos observar que sem o uso de fluxo, o processo resultou em um índice maior de vazamentos e com o uso de fluxo um índice menor de vazamento.

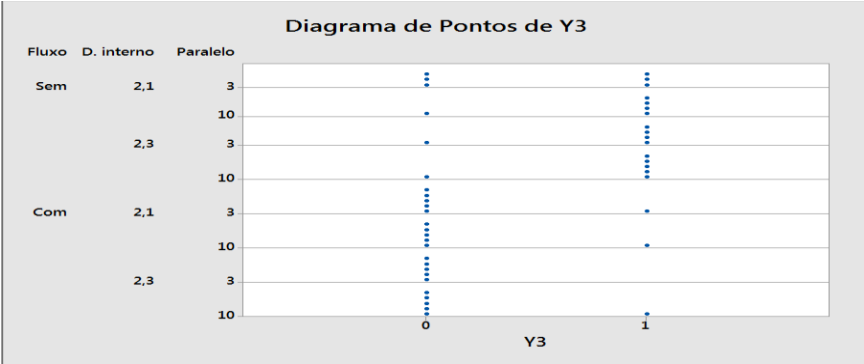


Figura 9: Diagrama de pontos (Dados do estudo)

A Figura 9 diagrama de pontos resume o quanto os itens abordados anteriormente - Diâmetro Interno, Paralelo e Fluxo - influenciam para um processo estável.

No gráfico onde 0 é mostrado como NÃO (sem vazamento) e 1 é dado como SIM (com vazamento) podemos observar uma estabilidade maior onde se foi utilizado o fluxo com um diâmetro de 2,3mm com paralelo de 3mm.

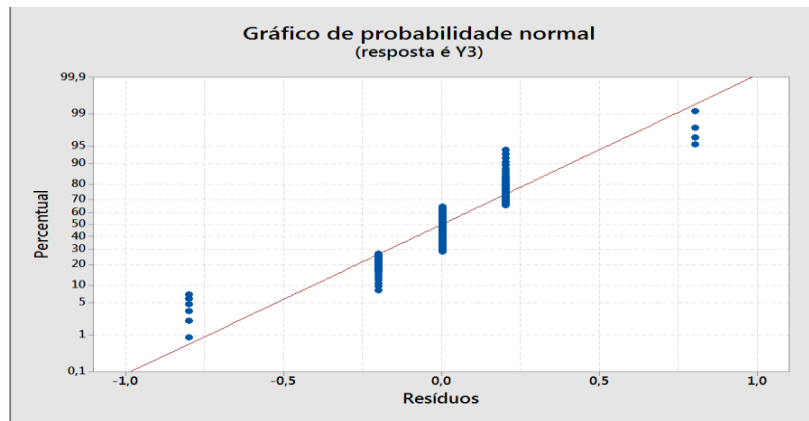


Figura 10. Gráfico de probabilidade normal (Dados do estudo)

Na Figura 10 gráfico de probabilidade normal mostra o quanto estáveis foram os resultados dos testes. Se analisarmos a linha vermelha do gráfico, representando a situação ideal para os resultados, os dados coletados pelos testes - que aparecem por meio dos pontos azuis - estão aproximados da linha central, demonstrando que eles atendem a um nível aceitável de estabilidade do processo estudado.

5. CONCLUSÃO

O Artigo teve como principal objetivo propor uma diminuição do índice de vazamento no processo de brasagem em uma empresa de refrigeração para diminuir as multas e outros fins decorrentes de tal problema.

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise de um processo de brasagem a fim de aperfeiçoar o mesmo, utilizando software para obtenção de dados consistentes sobre as etapas do processo, durante o processo de pesquisa foram utilizados livros, artigos e normas referentes ao assunto.

A pesquisa teve o levantamento do cenário atual da empresa em questão para facilitar o entendimento dos problemas propostos, com isso foi gerado um sequenciamento de testes para determinar quais etapas do processo estariam influenciando no problema proposto, os testes foram realizados dentro da empresa simulando o cenário real do problema.

Os resultados obtidos durante os testes via técnica de DOE, analisados por meio de gráficos gerados pelo Software MINITAB, possibilitou a visualização sequencial dos principais fatores que influenciam no problema, o que foi essencial para o entendimento do problema estudado. Os dados gerados foram colocados em gráficos e apontaram que para uma melhor capilaridade o paralelo de 10 mm com um diâmetro interno de 2,3 mm, com utilização de pó fluxo seria o ideal e no caso de vazamentos o ideal é usar um paralelo de 3 mm com um diâmetro interno de 2,3 mm utilizando pó fluxo.

Baseado nas informações dos gráficos onde é demonstrado que o fluxo tem uma grande influência tanto em vazamentos quanto em capilaridade, podemos supor que este fator se destacou por não haver um controle na quantidade utilizada no processo.

Para se ter um resultado específico a respeito do comprimento do paralelo, seria necessário efetuar mais testes onde deveria ser observado o comprimento e diâmetro do item analisado para achar uma medida definitiva que seja eficaz para se ter um bom índice de capilaridade e um baixo índice de vazamento.

Conforme pode ser concluído, alguns fatores antes considerados como influentes para o processo, foram analisados como não influentes após conclusão do estudo. A realização dos testes então, possibilitou a análise do processo de forma minuciosa, e a forma como ele foi realizado - com auxílio de software de análise - possibilitou a geração de dados capazes de retornar respostas consistentes quanto aos problemas identificados no processo.

Por ser o processo de brasagem um subprocesso ainda realizado de forma bastante manual, o recolhimento de dados de forma padronizada é um caminho bastante consistente para o estudo dele. Os seus dados podem então ser de forma pontual utilizados para a tomada de decisão da empresa, tendo em vista padrões de qualidade já seguidos por ela.

4. REFERÊNCIAS

- Borba, G.de, 2013. *Validação do Processo de Brasagem em Condensadores Automotivos*. Monografia de Especialização, Engenharia de Soldagem, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- HARRIS-BRASTAK, 2002. *Manual de Brasagem*. Mauá, Harris-Brastak.
- Carpinetti, L. C. R., 2012. *Gestão da Qualidade: conceitos e técnicas*. 2. ed. São Paulo, Atlas.

Mathews, P. G., 2005. *Design of Experiments with MINITAB*. Milwaukee, ASQ Quality Press.

Mendelski, J. A. C., 2017. “Técnicas do projeto e análise de experimentos (Doe – Design Of Experiment) aplicado no processo de forjamento”. 94 fls. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Rabelo, G. M. e Sato, A. I. 2020. “Análise numérica de distorções em chapas finas soldadas por junta tipo t através de processo GMAW”. *Brazilian Journal Of Development*, [S.L.], vol. 6, n. 7, p. 44776-44793.

Sander, C., 2018. “Cae treinamentos”. 16 ago. 2020. <<https://caetreinamentos.com.br/blog/minitab/o-que-e-minitab/>>.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

LEAKS ARISING FROM THE BRAZING PROCESS: CASE STUDY IN REFRIGERATION COMPONENTS INDUSTRY

Edson Jelonscheck

Matheus Estevão Franceschi

Angelo Reck Neto

Cristiane Luiza Salazar Garcia

Vanderlei da Silva

Faculdade SENAI Joinville, R. Arno Waldemar Dohler, 921 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89223-001

e-mails edson_jelonscheck@estudante.sc.senai.br; matheus_estevao@estudante.sc.senai.br; angeloneto@edu.sc.senai.br;

cristiane.garcia@edu.sc.senai.br; vanderlei.da-silva@edu.sc.senai.br.

Abstract. Based on an exploratory study, the research carried out a case study in a company of the refrigeration components branch from the northern of Santa Catarina State, Brazil, where it was analyzed the subprocess of the junction of the ferrule with zinc capillary, through the brazing process. Failures were observed during the execution of this sub-process, which end up collaborating with the production of failures in the brazed / welded part, generating direct and indirect losses for the company. Based on the technical literature on the subject and on subprocess mapping within the company studied, it was possible to draw a brief procedural map, to organize the conceptual view of the brazing. In order to deepen the understanding of the possible failures resulting from the referred subprocess, tests were carried out, identifying possible causes of the leaks, generating specimens that were analyzed using the DOE Technique. For visualization and analysis of the data collected by the tests, graphs were generated where the possible causes of the failures generated by the studied subprocess can be corroborated. Among the most apparent causes are the non-use of flux in the brazing and the interaction of the internal diameter and the parallel of the capillary.

Keywords: Industrial welding. Brazing Process. Cooling components. Leak in the capillary.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.