

**44° SENAFOR**

*28th International Forging Conference
27th National Sheet Metal Forming Conference / 14th International Sheet Metal Forming
Conference / 11th BrDDRG Congress
14th International Conference on Materials and Processes for Renewable Energies –
Brazil/RS
3rd International Conference on Innovation in Materials and Manufacturing
Hotel Plaza São Rafael – P. Alegre RS, October 2-4, 2024*

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE CORTE DE ALTA PERFORMANCE COMBINANDO AS TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ E CANISTER DAMASCUS

Airton Rodrigues da Rosa ⁽¹⁾
Diego Pacheco Wermuth ⁽²⁾
André Rosiak ⁽³⁾
Lirio Schaeffer ⁽⁴⁾

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o aprimoramento de ferramentas de corte utilizadas na gastronomia, com foco na retenção da borda afiada e na resistência à oxidação, causada tanto por ácidos presentes nos alimentos quanto por fatores ambientais, como umidade e intempéries. Através da combinação de técnicas de metalurgia do pó e Canister Damascus (Damasco em Caixa), foi possível unir diferentes pós de aço, com propriedades completamente distintas em áreas específicas da peça. A periferia da ferramenta foi composta inteiramente por SAE 316L, material conhecido por sua excelente resistência à corrosão em ambientes agressivos. Já o núcleo da lâmina, na região da borda afiada, foi formado por uma liga contendo 96,5% de SAE 1095 e 3,5% de carbeto de tungstênio. Essa composição permite que os carbetos atuem como pequenos dentes extremamente duros no micro serrilhado do fio, prolongando a vida útil da afiação. O processo de caracterização das amostras incluiu análises metalográficas, microscopia eletrônica de varredura (MEV), ensaios de dureza e testes de retenção da borda afiada. Com isso, a combinação de metalurgia do pó e técnicas de Damasco em Caixa se mostrou uma abordagem eficaz, destacando-se como uma área promissora para o desenvolvimento de ferramentas de corte com diferentes ligas e propriedades otimizadas.

Palavras-chave: Metalurgia do Pó, Canister Damascus, Cutelaria.

1. INTRODUÇÃO

O setor de cutelaria no Brasil tem significativa relevância econômica, com aproximadamente 1.217 empresas dedicadas à fabricação de artigos do segmento, sendo a produção de facas o principal foco dessas indústrias [1]. Grande parte dessas empresas está concentrada no estado do Rio Grande do Sul, região reconhecida pela tradição metalúrgica. No entanto, globalmente, a excelência no desenvolvimento de facas remonta a localidades como Sakai, no Japão, que, desde 500 d.C., se destaca pela maestria de seus ferreiros e pela produção de lâminas de alta qualidade, utilizadas principalmente na gastronomia de prestígio mundial [2].

A demanda por facas com desempenho superior é crescente, especialmente em restaurantes de alta gastronomia, onde chefes de cozinha exigem ferramentas que apresentem alta resistência mecânica, durabilidade e retenção de fio. Essas facas, geralmente confeccionadas em aços ferramenta, devem atender a rigorosos critérios de qualidade, como dureza elevada, entre 53 e 63 HRC, facilidade de afiação e boa resistência à corrosão, mesmo quando submetidas a condições adversas no preparo de alimentos. Em alguns casos, facas de aço carbono são preferidas para manter a tradição, embora apresentem desafios em termos de resistência à oxidação [3].

Diante desse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma liga metálica pré-formada utilizando a combinação das técnicas de metalurgia do pó e Canister Damascus, ou damasco em caixa, visando aprimorar as propriedades das facas de corte manual. A solução proposta busca não apenas aumentar a resistência ao desgaste e à corrosão, mas também prolongar o tempo de uso sem a necessidade frequente de afiação, atendendo às exigências mecânicas e químicas específicas desse tipo de ferramenta. A relevância deste estudo reside no potencial de inovação para a indústria de cutelaria nacional, proporcionando alternativas mais eficientes e sustentáveis em termos de produção, ao mesmo tempo em que oferece aos profissionais da gastronomia uma ferramenta de trabalho superior e de maior durabilidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foram produzidas amostras de damasco em caixa em formato cúbico, com arestas de 50 mm, utilizando aço SAE 1010 como estrutura de suporte (Figura 1). As amostras foram divididas em três partes principais: a liga da borda afiada, o revestimento e um divisor. A borda afiada foi composta por uma liga de SAE 1095, contendo 96,5% de Ferro (Fe) e 0,95% de Carbono (C), com a adição de 3,5% de Carbeto de Tungstênio, visando aumentar a dureza e a resistência ao desgaste.



Figura 1 Caixa de damasco com o preenchimento de pós metálicos.

O revestimento externo da amostra foi fabricado inteiramente com aço inoxidável SAE 316L, escolhido por sua resistência à corrosão e durabilidade. Entre essas duas ligas, foi inserido um divisor de aço SAE 1010, cuja função inicial é garantir a separação das ligas durante o processo de sinterização, evitando a contaminação por carbono no SAE 316L. Adicionalmente, o divisor contribui para uma transição mais suave entre as ligas, minimizando as tensões mecânicas e garantindo a integridade estrutural da peça durante o processo de fabricação e uso.

A porção externa da lâmina, que compõe a superfície do damasco em caixa, será fabricada com pó de aço inoxidável 316L. A composição desse material inclui Ferro (Fe) como metal base, Carbono (C) em aproximadamente 0,011%, Cromo (Cr) em torno de 12,6%, Molibdênio (Mo) com 1,51%, Níquel (Ni) em 9,24%, Alumínio (Al) em 1,47%, Silício (Si) com cerca de 0,15%, além de outros elementos residuais. A porção interna da lâmina, correspondente à borda afiada, será composta por uma liga à base de pó de aço SAE 1095, contendo 96,5% de Ferro (Fe) e 0,95% de Carbono (C), com elementos residuais. Além disso, será adicionada uma fração de 3,5% de Carbetto de Tungstênio à liga, com o objetivo de aumentar a dureza e a retenção de fio da borda.

O pó da liga da borda afiada foi introduzido em um misturador adaptado, sendo rotacionado a uma velocidade de 120 rpm por meio de um torno disponível no Laboratório de Usinagem do IFSul campus Sapucaia do Sul. Essa operação teve duração de 24 horas, visando alcançar a homogeneização da liga.

A compactação das amostras será realizada por meio da aplicação de uma força uniaxial utilizando uma prensa hidráulica Bovenau P10ton, que possui capacidade máxima de 10 toneladas. Essa força será aplicada uniformemente sobre a mistura de pó metálico em toda a área interna da caixa, garantindo a compactação adequada tanto do aço inoxidável SAE 316L quanto da liga proposta para a borda afiada.

O molde utilizado para a compressão das amostras foi constituído por uma matriz de aço ferramenta AISI D2, que passou por processos de têmpera e revenimento para garantir a resistência necessária à operação. A matriz foi projetada especificamente de acordo com o desenho da caixa e incluía um punção superior para a aplicação uniforme da força durante o processo de compactação.

Oito amostras foram selecionadas para análise. Inicialmente, elas passaram por retificação em uma retificadora plana de precisão (modelo P58, marca Mello) e, em seguida, preparadas por técnicas convencionais de metalografia. Já polidas, as amostras foram limpas e submetidas a ataque químico com Nital por 2 segundos, neutralizadas, secas e limpas para remover resíduos. As amostras foram então analisadas metalograficamente com um microscópio óptico (MO), equipado com câmera, permitindo a visualização tanto ocular quanto em tela. Para medição de dureza foi usado o durometro EW-300SG, marca Alfa Mirage, disponibilizado pelo IFSul, campus Sapucaia do Sul. Para obter informações mais detalhadas, a análise também foi conduzida por Microscopia Eletrônica de Varredura associada à espectroscopia de energia dispersiva (MEV-EDS), com aproximações de 500x para comparação morfológica e de 1500x para o mapeamento por Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS).

Para avaliar a qualidade e durabilidade da borda afiada da liga proposta, foi realizada uma análise comparativa das micro serrilhas do gume, utilizando um microscópio óptico com objetiva de 20x. A comparação será feita entre uma lâmina construída com a liga proposta e outra em aço SAE 1095 laminado comercial. Ambas as lâminas serão afiadas com pedra artificial de grão 4000.

As lâminas foram submetidas a até 15000 cortes, ou quantos forem possíveis, em folhas de papel A4 (75g/m²). Após o teste, as bordas das facas serão novamente observadas no microscópio óptico, a fim de avaliar a variação do desgaste nas micro

serrilhas. Com essa análise, será possível determinar se a liga proposta oferece uma retenção de fio superior à do aço laminado comercial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram produzidos dois damascos em caixa, e de cada um foram retiradas quatro amostras de diferentes regiões, totalizando oito amostras para o estudo. Cada amostra possui dimensões de 17 mm de largura, 37 mm de altura e 10 mm de espessura, conforme ilustrado na Figura 2. Essas amostras foram selecionadas estrategicamente para garantir a representatividade e a consistência das análises nas diferentes áreas do material.

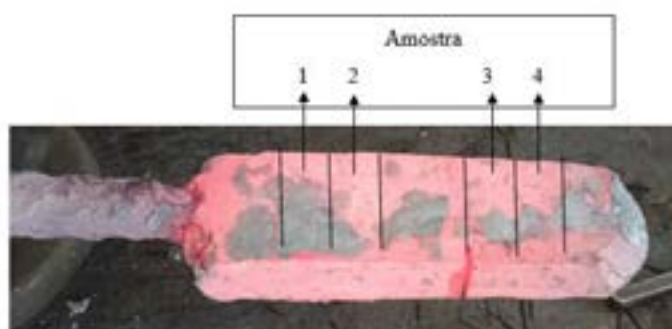


Figura 2 Ponto de retirada das amostras.

A micrografia apresentada na Figura 3 mostra a distribuição homogênea do carbeto de tungstênio (WC) na matriz de aço SAE 1095, que não passou por tratamento térmico de têmpera. Essa uniformidade na dispersão do WC é essencial para garantir as propriedades desejadas, como a resistência ao desgaste e a durabilidade da borda afiada.

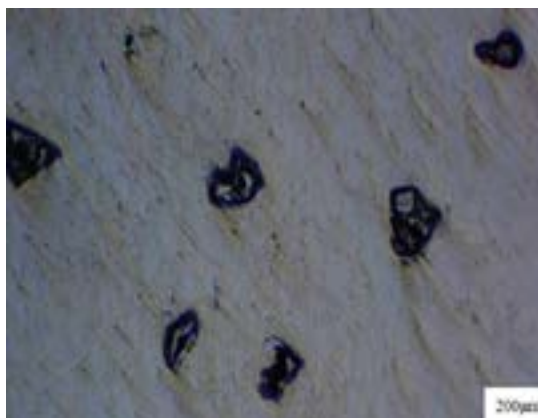


Figura 3 Distribuição de carbeto de tungstênio (WC) na matriz de aço SAE 1095.

As análises obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (Figura 4) evidenciaram a ausência de porosidade na matriz de aço SAE 1095, indicando uma estrutura densa e bem consolidada. Além disso, foi possível observar o delineamento dos grãos de carbeto de tungstênio (WC), que estão perfeitamente integrados à matriz metálica. Essa ligação firme entre o carbeto e o metal base é um fator crucial, pois contribui diretamente para as propriedades finais do material, promovendo maior resistência ao desgaste por abrasão, especialmente na borda afiada, onde a retenção de fio é essencial.

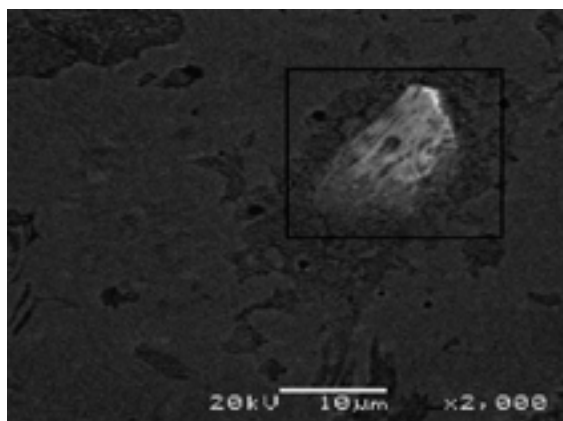


Figura 4 Caracterização por MEV. Carbetto de tungstênio (WC) em destaque.

A análise de dureza da borda afiada em aço SAE 1095 e da liga proposta, após o tratamento térmico de têmpera a 845°C com resfriamento em óleo e revenido em um ciclo a 200°C por 1 hora, resultou nos resultados apresentados da Tabela 1. Os resultados demonstram que as médias gerais de dureza mantiveram-se consistentes, com uma variação de apenas 1,1 HRC para mais ou para menos, indicando uma uniformidade nas propriedades mecânicas após o tratamento térmico.

Tabela 1 Medições de dureza borda afiados em aço SAE 1095.

DUREZA (Hrc)							
AMOSTRA	MEDIÇÃO 1	MEDIÇÃO 2	MEDIÇÃO 3	MEDIÇÃO 4	MEDIÇÃO 5	MEDIÇÃO 6	MÉDIA
A1	57	57	57,5	58	58,5	59	57,8
A2	58	59	59	59,5	59,5	61	59,3
A3	58,5	59	59	59,5	60	60	59,3
A4	58	58	59,5	59,5	60	59,5	59,1
B1	59	59	59,5	60	61	61,5	60,0
B2	58,5	58,5	59,5	59	60	60,5	59,3
B3	59	59,5	59,5	60	60	61	59,8
B4	59	59	60	60	60	60	59,7
MÉDIA TOTAL							59,3

De acordo com a Wüsthof, uma das mais renomadas fabricantes mundiais de facas de alta performance para gastronomia, fundada há mais de 200 anos na região de Solingen, Alemanha, a dureza ideal para facas de cozinha de alta qualidade gira em torno de 58 HRC. Esse nível de dureza é considerado ideal porque proporciona um equilíbrio entre facilidade de afiação e excelente retenção do fio da lâmina, características essenciais para o desempenho em ambientes culinários exigentes [4]

A análise dos resultados de dureza apresentados na tabela revela uma variação relativamente pequena entre as diferentes amostras, com valores de dureza (HRC) variando de 57 a 61. A média geral de dureza das amostras é de 59,3 HRC, um valor que se aproxima da dureza considerada ideal para facas de cozinha de alta performance, que é de 58 HRC, conforme indicado pela Wüsthof.

Especificamente, as amostras do grupo A (A1, A2, A3, A4) apresentam uma média de dureza variando entre 57,8 e 59,3 HRC, mostrando boa consistência, com

variações mínimas. As amostras do grupo B (B1, B2, B3, B4) mostram uma dureza ligeiramente superior, com médias variando de 59,3 a 60,0 HRC, o que sugere uma leve vantagem em termos de retenção de fio e resistência ao desgaste.

As medições indicam que as amostras estão dentro de um intervalo aceitável de dureza para facas de cozinha, sendo compatíveis com as expectativas de desempenho mecânico. Embora algumas amostras apresentem valores ligeiramente acima de 60 HRC, o que pode aumentar a retenção de fio, isso também pode tornar a afiação mais desafiadora. No geral, os resultados indicam que as amostras atingem um bom equilíbrio entre durabilidade e facilidade de manutenção, o que é desejável para aplicações na cutelaria.

A análise de dureza do revestimento externo em aço SAE 316L, após o tratamento térmico de têmpera a 845°C com resfriamento em óleo e revenido a 200°C por 1 hora, resultou nos valores apresentados na Tabela 2. As medições realizadas nos pontos previamente estabelecidos mostraram uma constância na dureza, com variação máxima de 2,85 HB para mais ou para menos.

Tabela 2 Medições de dureza revestimento externo em aço SAE 316L.

DUREZA (HB)					
AMOSTRA	MEDIÇÃO 1	MEDIÇÃO 2	MEDIÇÃO 3	MEDIÇÃO 4	MÉDIA
A1	175	177	179	179	177,5
A2	177	177	179	176	177,3
A3	171	175	177	177	175,0
A4	170	170	172	173	171,3
B1	172	174	175	175	174,0
B2	176	177	175	172	175,0
B3	176	174	175	178	175,8
B4	171	173	172	171	171,8
MÉDIA TOTAL					174,7

Essa variação limitada indica uma boa uniformidade nas propriedades mecânicas do revestimento, o que é desejável para garantir a integridade do material em aplicações que exigem resistência à corrosão e desgaste. A homogeneidade nos resultados também sugere que o tratamento térmico foi eficaz na estabilização das propriedades do aço SAE 316L, preservando sua resistência e durabilidade, características essenciais para garantir a proteção da borda afiada e a longevidade da ferramenta. A dureza do aço SAE 316L foi elevada devido ao processo de damasco em caixa, que envolve forjamento, mas praticamente não sofreu alterações significativas com o tratamento térmico, uma vez que se trata de um aço não temperável.

As amostras apresentadas na figuras 5, 6, 7 e 8 foram analisadas utilizando um microscópio óptico com uma objetiva de 20x. O objetivo da análise foi comparar as micro serrilhas formadas na borda afiada de duas lâminas: uma construída com a liga proposta, contendo aço SAE 1095 e carbeto de tungstênio, e outra feita de aço SAE 1095 laminado comercial. Ambas as lâminas foram forjadas e construídas com angulação de 20°, e afiadas manualmente em pedra artificial de grão 4000. O método de afiação manual foi utilizado para evitar o superaquecimento do gume, preservando assim a integridade das micro serrilhas e garantindo uma comparação precisa entre as

lâminas.



Figura 5 Micro serrilhado do fio de uma faca em aço SAE 1095 laminado comercial, na sua condição inicial.

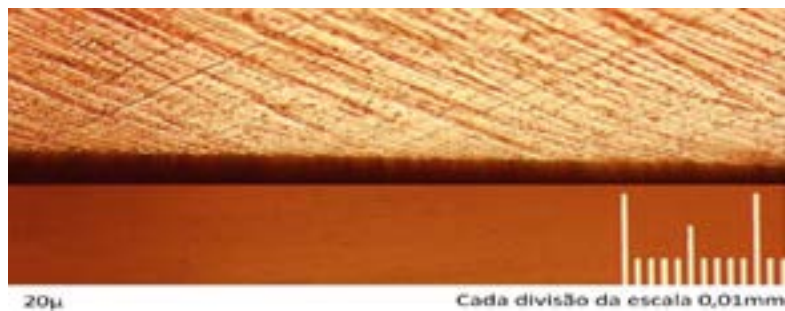


Figura 6 Micro serrilhado do fio de uma faca em aço SAE 1095 laminado comercial, na sua condição após ensaio com 9000 cortes.

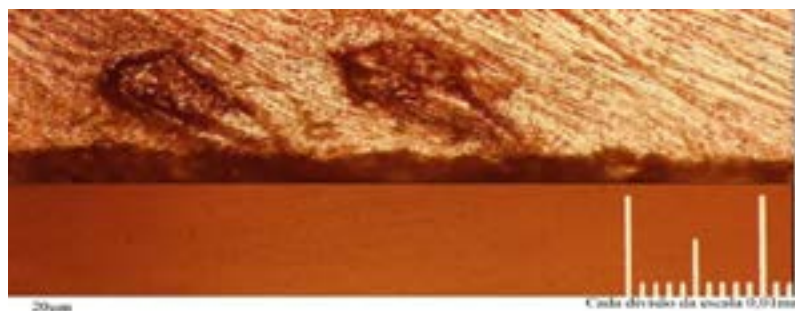


Figura 7 Micro serrilhado do fio de uma faca em aço liga proposta contendo SAE 1095 e carbeto de tungstênio, na sua condição inicial.

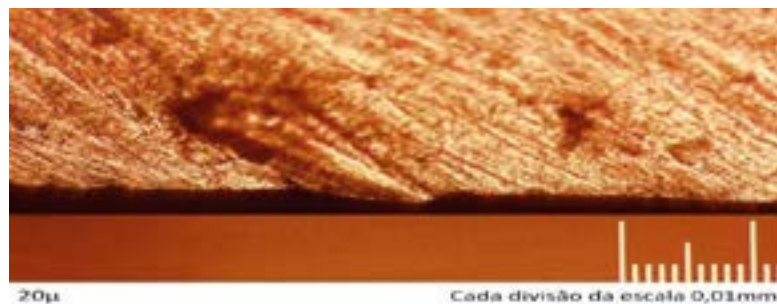


Figura 8 Micro serrilhado do fio de uma faca em aço liga proposta contendo SAE 1095 e carbeto de tungstênio, na sua condição após ensaio com 9000 cortes.

As imagens do microserrilhado no fio de corte de ambas as lâminas, tanto no estado inicial quanto após o desgaste até a perda completa do fio, revelaram diferenças significativas. A lâmina de aço SAE 1095 laminado comercial apresentou

um desgaste mais uniforme, com o gume praticamente sem serrilhado após o ensaio que simulou 9.000 cortes. Em contraste, a lâmina fabricada com a liga proposta, contendo carbeto de tungstênio, exibiu menor desgaste, com os carbetos permanecendo quase intactos, o que preservou o serrilhado e prolongou a vida útil da afiação. Essa lâmina foi capaz de realizar 10.350 cortes antes de perder o fio, evidenciando a superioridade da liga proposta em termos de resistência ao desgaste e retenção de corte. A Figura 9 mostra a faca desenvolvida a partir da liga metálica proposta, utilizada para os testes descritos.



Figura 9 Faca em aço liga proposta contendo SAE 1095 e carbeto de tungstênio na parte do gume e SAE 316L na parte externa.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que a combinação das técnicas de metalurgia do pó e Canister Damascus (damasco em caixa) oferece uma abordagem eficiente para a produção de ferramentas de corte de alta performance, especialmente para o setor gastronômico. As análises realizadas, tanto metalográficas quanto mecânicas, indicaram que a liga proposta, composta por aço SAE 1095 com 3,5% de carbeto de tungstênio, apresentou uma retenção de fio significativamente superior à do aço SAE 1095 laminado comercial. A presença de carbetos de tungstênio, que atuam como micro serrilhas no fio de corte, proporcionou maior resistência ao desgaste, permitindo que a lâmina desenvolvida mantivesse sua afiação por mais tempo, com desempenho superior em ensaios de corte.

O revestimento de aço inoxidável SAE 316L, utilizado na parte externa da lâmina, tem potencial para proteger contra a corrosão, garantindo assim a durabilidade da ferramenta em ambientes agressivos, como aqueles expostos a umidade e ácidos presentes nos alimentos. O tratamento térmico aplicado, embora tenha pouco efeito no aumento da dureza do SAE 316L, contribuiu para a estabilidade e homogeneidade das propriedades mecânicas do material, consolidando sua função de proteção.

Com base nos resultados de dureza, microestrutura e testes de corte, conclui-se que a liga proposta, ao combinar resistência ao desgaste, retenção de fio e proteção contra corrosão, é uma solução promissora para o desenvolvimento de facas de alto desempenho na indústria de cutelaria. A técnica de damasco em caixa, aliada ao uso de materiais estratégicos como o carbeto de tungstênio, oferece um avanço significativo em relação às ligas convencionais, com potencial para aplicação industrial e artesanal, elevando o padrão de qualidade das ferramentas de corte utilizadas na gastronomia.

REFERÊNCIAS

- [1] <https://www.econodata.com.br/empresas/todo-brasil/fabricacao-de-artigos-de-cutelaria-de-serralheria-e-ferramentas-c-254>
- [2] JapaneseKitchenKnives: EssentialTechniquesandRecipes Hiromitsunozaki, kateklippensteen, yasuo konichi 25, janeiro 2013
- [3] EDGE IN THE KITCHEN: The UltimateGuidetoKitchenKnives—HowtoBuyThem, KeepThemRazor Sharp, and Use ThemLike a Pro – 10 junho 2008por Chad Ward , Bryan Regan
- [4] WUSTHOF. Disponível em: <https://www.wusthof.com.br/chef/wusthof-classic-4582-20/>
- [5] MARTINS, V. Utilização do processo de moldagem por injeção de pós metálicos nanométricos (MIM) para o desenvolvimento de rotor e estator em servomotor aplicado à área médica. 2015. 294 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015
- [6] ROSIAK, ANDRÉ ; WERMUTH, DIEGO PACHECO ; COSTA, LUANA DE LUCCA DE ; SILVA, LETÍCIA DUPONT ; SCHAEFFER, LIRIO . PROCESSO DE SINTERFORJAMENTO: UMA REVISÃO. In: 74 Congresso Anual da ABM, 2019, São Paulo. ABM Proceedings, 2019. p. 1961.
- [7] Schaeffer, L; Forjamento:Tecnologia do processo. 2ª edição. Imprensa Livre editora, Porto Alegre, 2023