

COMPARAÇÃO DE AÇOS ESTRUTURAIS LAMINADOS A COMPONENTES OBTIDOS VIA METALURGIA DO PÓ COM COMPOSIÇÃO QUÍMICA SIMILAR

Tavares ,A.C.¹
Wemuth D. P.²
Borba M.³
Schaeffer L.⁴

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS , Brasil. andre.tavares@ufrgs.br.

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS , Brasil. diego.wermuth@ufrgs.br

³ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS , Brasil. felipe.guimaraes@ufrgs.br

⁴ Professor Dr. Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM, Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS , Brasil. schaeffer@ufrgs.br

Resumo

Aços estruturais são elementos que necessitam de especificações criteriosas e normativas a fim de que possam desempenhar suas funções quando aplicados esforços dentre os aços estruturais existe uma classe chamado de aços Patinaíveis no mercado ainda essas ligas podem se encontradas sob o nome de aços COR-TEM. O atual meio de fabricação desses componentes é através de processos tradicionais como laminação, trefilarão e forjamento , esse métodos quando empregados a geométricas complexas vem a se tornar muito caro não podendo obter a geometria final desejada, por esse motivo se buscou a utilização desses aços via metalurgia do pó de pós elementares se buscando analisar algumas das propriedades mecânicas destes materiais se essa rota de obtenção poderia proporcionar um resultado aceitável. Neste artigo fora formulado uma curva de densificação desse material se verificando sua resposta as pressões de compactação, verificando a microestrutura resultante e microdureza com o material laminado comercialmente vendido, os resultados foram satisfatórios sugerindo que se deve ter uma análise mais aprofundada .

Palavras-chave: Aços estruturais; metalurgia do pó; microdureza; microestrutura.

COMPARISON OF ROLLED STEEL STRUCTURAL COMPONENTS OBTAINED VIA THE POWDER METALLURGY WITH CHEMICAL COMPOSITION SIMILAR

Abstract

Structural steels are elements that require careful specification and the normative order that they may perform their duties when applied efforts among structural steels there is a class called weathering steels on the market yet these alloys can be found under the name of Steel COR-MET. The current means of manufacture of these components is through traditional processes such as lamination, trefilarão and forging methods that when employees come to the complex geometrical become very expensive and can not get the desired final geometry, therefore it sought via the

use of these steels powder metallurgy of powders if trying to analyze some basic mechanical properties of these materials if this route would provide for obtaining an acceptable result. This article was made a curve densification of this material is checking their response compaction pressures, checking the resulting microstructure and hardness with the laminate material sold commercially, the results were satisfactory, suggesting that it should have a more thorough analysis.

Key words: Structural steels, powder metallurgy, hardness, microstructure

1 INTRODUÇÃO

Ligas especiais empregados a componentes de alto desempenho que buscam uma maior resistência ao desgaste atmosférico e ao meios agressivos ricos em elementos oxidantes, conhecidas como aços patináveis, tendo como principal diferencial desse material e a existência de elementos de ligas que inibem o ataque corrosivo ao aço, pois formam uma camada amorfa inerte chamada de patina, rica em elementos como cobre e fósforo que atuam como barreira de proteção, diferente de aços carbono. A propriedade melhora da causada por adição destes elementos foi descoberta por casualidade, embora desde o fim do século XIX já se conhecessem as influências benéficas do cobre e do fósforo. (Pannoni, 2007).

A camada inerte é constituída por essencialmente δ -FeOOH que trabalha como um retardante na velocidade de corrosão, de ação diferentemente de aços carbonos que tem uma camada de Fe_3O_4 que atua como agente facilitador de corrosão como pode ser vista na Figura 1. (Pannoni, 2007)

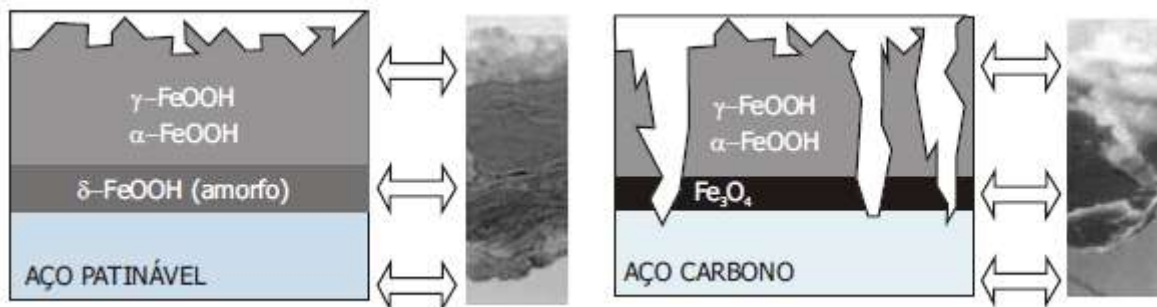


Figura 1. Formação de camadas em aços Patináveis e aços Carbonos. (Pannoni, 2007)

Aços patináveis surgiram no cenário mundial na década de 1930 a fim de melhorar a resistência à corrosão atmosférica foi dado pela companhia norte americana United States Steel Corporation, ganhando o nome comercial era Cor-Ten. (Corporation, 2012) O aço Cor-Ten foi desenvolvido originalmente a fim de atender indústria ferroviária, tendo como sua primeira aplicação na produção de vagões de carga, a fim de suportar os mais diversos meios, por suas propriedades que combinavam alta resistência mecânica com resistência à corrosão atmosférica que, dependendo da agressividade do meio ambiente e do tempo de exposição, podem apresentar uma resistência oito vezes maior que a dos aços carbono. (Ltd, 2013) (Pannoni, 2007)

Segundo a ABM (Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração), a gama de aços ligas existentes são de aproximadamente 3500 diferentes tipos, sendo que maior parte algo entorno de três quartos destes foram desenvolvidos nas

ultimas duas decadas (Bott, 2008). As industrias beneficiadoras de combustiveis fosseis (petróleo e gás, um dos seguimentos que mais necessita e investe em tecnologia, um dos maiores desafios é o desenvolvimento de aços de alta resistência a corrosão atmosférica severa. (Pacheco, 2001)

Todo e qualquer aço é composto de mais de um material (ferro, carbono, manganês, silício, fósforo e enxofre) seja este por escolha da siderúrgica fornecedora do material(aço liga) que adiciona a quantidade de elementos de ligas desejado ou por estes ser intrínsecas do minério refinado (coque) , pequenas quantidades destes muitas vezes são desconsiderados e considerados como sem influencia nas propriedades de melhoria a corrosão atmosférica dos materiais . (Pannoni, 1989)As pequenas variações de composição que inevitavelmente ocorrem durante o processo de fabricação do aço devido ao coque ou o minério não ser um material puro se torna intrínseco a presença de elementos indesejáveis como fósforo, enxofre e silício que fragilizam a liga estas pequenas variações necessitam atualmente ser controladas segundo normas internacionais pois as pequenas quantidades afetam significativamente suas características .(Machado, Vitória -ES , 2003)

Aços CORTEN, tambem conhecidos como aços Patináveis contém pequenas quantidades de Cu, Ni, Cr e P, apresentando uma maior resitência a corrosão atmosférica do que aços carbono, após um longo período de exposição atmosférica, especialmente em locais em que a concentração de cloretos transportados pelo ar é baixa. Além disso, os Aços Patináveis não possuem nenhum tipo de revestimento (tinta), permitindo a corrosão em uma taxa não controlada, mas suficientemente baixa, de modo que a resitência do material não exceda as tolerâncias definidas na fase de projeto (Chiavari, et al., 2012)

Para Larrabee e Coburn , o cobre é o elemento de liga que mais influi positivamente no comportamento frente à corrosão dos aços baixa liga. Quando o teor do Cu no aço é maior que 0,1%, a taxa de corrosão diminui muito, principalmente, em atmosferas industrial e semi-rural e em uma proporção menor em atmosfera marinha. (LARRABEE, 1961)

No entanto, o efeito benéfico do Cu não é melhorado quando o teor de Cu no aço for maior que 0,3% (HORTON, 1965.). No caso de aços ligados com fósforo, adições de fósforo no aço superiores a 0,1% são prejudiciais para a resistência frente à corrosão e para a dureza do aço, devido à formação de fosfeto de ferro (OLOWE, 1991)

Os Aços Patináveis podem ser classificados em dois grupos:

- Aços Patináveis com baixos teores de fósforo, com múltiplas adições de elementos de liga para endurecimento por solução sólida e aumento da resistência á corrosão;
- Aços Patináveis especiais, (patentados de marcas registradas) com altos teores de fósforo (0.05 a 0.15 %) para endurecimento e melhoria de resistência à corrosão, juntamente com múltiplas adições de elementos de liga, semelhantes às dos Aços Patináveis com baixos teores de fósforo. A microestrutura desses aços geralmente contém ferrita e perlita

Nos aços ligados com níquel, o aumento da resistência frente à corrosão varia quase linearmente com o aumento de teor do elemento de liga no aço. Quando aumenta o teor de Cu nestes aços, a taxa de corrosão diminui em todas as atmosferas (sendo menor em atmosfera industrial e maior em atmosfera marinha). Nos aços ligados com Cr, quando o teor de Cr varia entre 0,61 e 1,3% e o teor de Cu e de P é de 0,01% e de Ni < 0,05%, a taxa de corrosão é alta em todas. Um último aspecto a ser considerado é o acabamento da superfície comumente utilizado, que pode contribuir para o comportamento da liga frente a corrosão. (Carmona, 2005)

Muito utilizados pela construção civil ou aplicações que exigem um determinado grau de resistência a corrosão, apresentam boa tenacidade, soldabilidade e alta resistência mecânica. A Figura 2 ilustra a utilização dos aços patináveis empregados em estruturas .



Figura 2. Arco de ponte revestido com chapas de aços patináveis. (CBCA)

A resistência a corrosão destes aços é de no mínimo quatro vezes mais se comparado aos aços estruturais convencionais como pode ser visto na Figura 3,. Apresentam como principais vantagens na sua utilização, o aumento da vida útil dos componentes, melhor rigidez, resistência mecânica dos conjuntos montados e uma ótima relação custo/benefício. Sua aplicação é cada vez maior tanto em projetos da construção civil, quanto da indústria em geral.



Figura 3 - Diferentes materiais expostos a testes de corrosão (Corporation, 2012)

No Brasil estes aços são produzidos e fornecidos pelas seguintes usinas siderúrgicas: CSN [COR], COSIPA [COS AR COR] e USIMINAS [USI SAC] que são fornecidos normalmente em blocos (tarugos, barras) ou chapas. Ainda existem outros aços com comportamentos semelhantes, que integram a família dos aços conhecidos como Patináveis enquadrados em diversas normas, dentre as quais as norte-americanas ASTM A242, A-588, A-606 e A-709.

No presente estudo fora utilizada a metalurgia do pó convencional, através de mistura de pós elementares, para se produzir a liga COS-AR-COR 300, esta é uma liga pertencente aos aços patináveis, são aços de baixo carbono para uso estrutural em geral, seu limite de escoamento mínimo é de 300 MPa o Quadro 1 contém a composição química dos COS-AR-COR 300.

Quadro 1. Composição química da COSIPA para o COS-AR-COR 300.

ESPECIFICAÇÃO		COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)								
Norma	Grau	C (máx.)	Mn (máx.)	Si	P	S	Cu	Cr	Nb+V+Ti (máx.)	Al
COS-AR-COR	400	0,16	1,20	0,50 (máx.)	0,030 (máx.)	0,020	0,20/0,50	0,40/0,70	0,15	0,020 (máx.)
COS-AR-COR	300	0,16	1,20	0,50 (máx.)	0,030 (máx.)	0,020	0,20/0,50	0,40/0,70	0,15	0,020 (máx.)
COS-AR-COR	350	0,18	1,50	0,50 (máx.)	0,030 (máx.)	0,020	0,20/0,50	0,40/0,70	0,15	0,020 (máx.)
ASTM A-242 (2000)	Tipo 1	0,15	1,00	.	.	0,050	0,20 (mín.)	.	.	.
CSN-COR	420	0,17	1,00	0,35 (máx.)	0,025 (máx.)	0,025	0,20/0,50	0,55-0,80	.	0,015-0,070
CSN-COR	500	0,17	1,20	0,35 (máx.)	0,025 (máx.)	0,025	0,20/0,50	0,55-0,80	.	0,015-0,070
USI-SAC	300 (3)	0,20	1,50	0,50-1,50	0,010-0,060	0,020	0,05-0,40	0,60 (máx.)	.	.
USI-SAC	350 (4)	0,25	1,50	0,50-1,50	0,010-0,060	0,020	0,05-0,40	0,60 (máx.)	.	.

O Presente estudo comparar superficialmente materiais obtidos via metalurgia do pó a materiais obtidos comercialmente por laminação, a proposta e comparar através uma análise mecânica (microdureza) e uma análise microestrutural (metalografica) as amostras compactadas as laminada recebida em forma de chapa de 2mm.

2 MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foram avaliadas amostras de COS AR COR 300 provenientes do processo de laminação e COS AR COR 300 obtido por mistura de pós elementares. Para avaliação das propriedades mecânicas e microestruturais de ambos materiais no presente trabalho fora avaliado as propriedades de microdureza e metalografia das amostras e corpos de prova.

Para a compactação dos pós elementares da liga COS AR COR 300, foi feita a mistura dos seguintes elementos, conforme suas porcentagens apresentadas na Tabela 1, fora utilizada uma balança de precisão para medir os percentuais da mistura resultando em um total de 120 g em peso. Para a realização desta mistura, usou-se o misturador rotativo de duplo cone por um período de trinta minutos a 22 rpm. Adicionou-se 1,5% de parafina à massa total da mistura, com a finalidade de se obter uma maior resistência a verde dos corpos de prova compactados, essa mistura foi suavemente aquecida até a fusão da parafina e homogeneizada, percentuais de fósforo são sabidos que estão presentes no ferro utilizado.

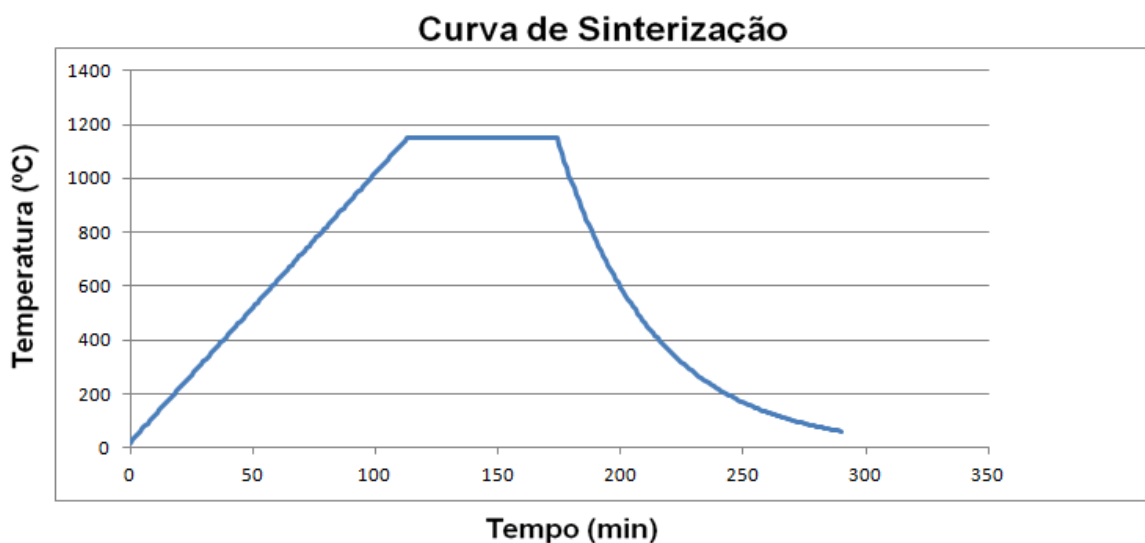
Tabela 1- Composição química utilizada para o COS AR COR 300 formulado por pós Elementares.

COMPONENTE	PORCENTAGEM	GRAMAS
C	0,16	0,19
Mn	1,2	1,44
Cu	0,35	0,42
Cr	0,55	0,66
Nb	0,075	0,09
Ti	0,075	0,09
Si	0,5	0,6
Fe	97,09	116,51

A mistura então foi pesada e fracionada em dez partes iguais, que posteriormente foram compactadas em uma matriz uniaxial cilíndrica de diâmetro igual a 13,5 mm, utilizando-se pressões de compactação aplicada variando entre 100 e 1000 MPa. As amostras foram compactadas e suas massas foram medidas para calcular as densidades a verde, possibilitando construir a curva de compressibilidade dos corpos de prova para decisão da pressão de compactação, as pressões de compactações apresentaram dois resultados distintos um que foi considerada a melhor densificação de compactação e outra que foi considerada a melhor densificação de sinterização gerando dois gráficos distintos .

A sinterização ocorreu a temperatura de 1150°C a taxa de aquecimento utilizada foi de 10°C/min até alcançar a temperatura programada e mantida nesta por um período de sessenta, conforme curva mostrada na Figura 4 com as temperaturas medidas no forno. A atmosfera de sinterização continha 25% Hidrogênio e 75% Nitrogênio e se manteve até o resfriamento total (até temperatura ambiente) das peças no forno.

Figura 4: Curva de sinterização utilizada para o COS AR COR 300.



A microestrutura e morfologia dos corpos de prova sinterizados foram analisadas utilizando-se microscopia óptica, com as amostras previamente polidas e com a utilização de ataque químico (nital) para revelar o contorno de grão.

3 RESULTADOS

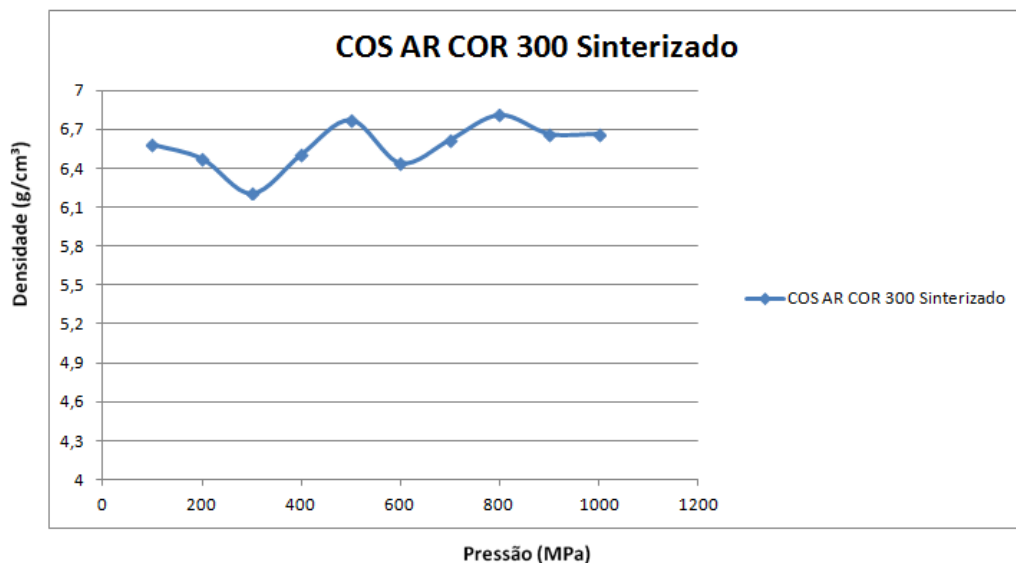
A partir das misturas prontas para se determinar a pressão de compactação adequada foi traçada uma curva de compressibilidade para este composto mostrado na tendo uma variação de 100 a 1000MPa.

As amostras foram sintetizadas a 1150 °C os resultado foram expressados em formas de Tabela 2 na Figura 5 em forma de gráfico .

Tabela 2: Dados para a curva de compressibilidade COS AR COR 300 sintetizados.

AMOSTRA	MASSA	VOLUME	DENSIDADE
1	5,07	0,77	6,58441558
2	3,95	0,61	6,47540984
3	4,72	0,76	6,21052632
4	3,97	0,61	6,50819672
5	4,13	0,61	6,7704918
6	3,93	0,61	6,44262295
7	4,37	0,66	6,62121212
8	3,95	0,58	6,81034483
9	3,2	0,48	6,66666667
10	3,8	0,57	6,66666667

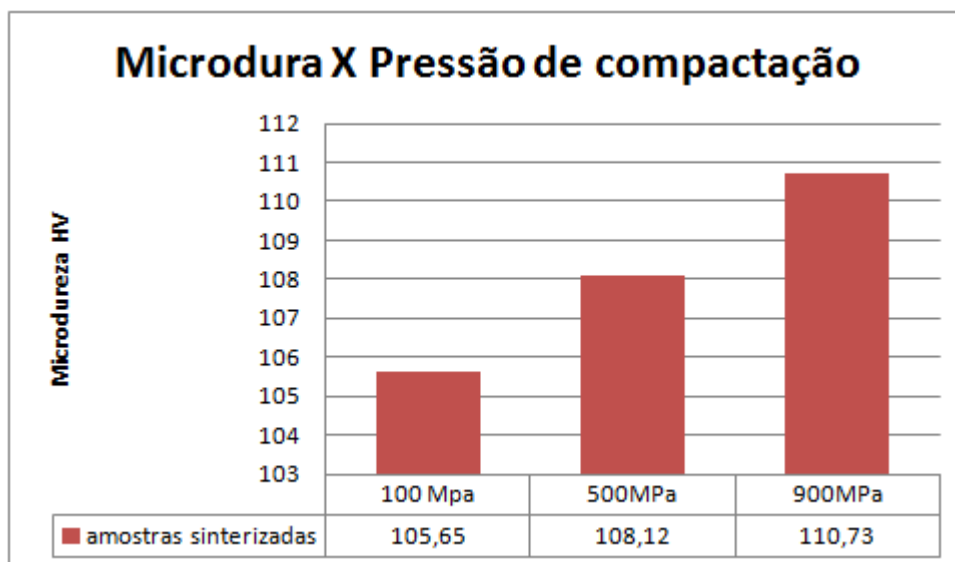
Figura 5: Curva de densificação das amostras sinterizadas do COS AR COR 300



A fim de se avaliar as características mecânicas das amostras sinterizadas fora analisada a microdureza , as amostras que foram compactadas com 100MPa, 500MPa, e 900Mpa foram analisadas as microdureza vickers (HV) como demonstrado nas Figuras 6.

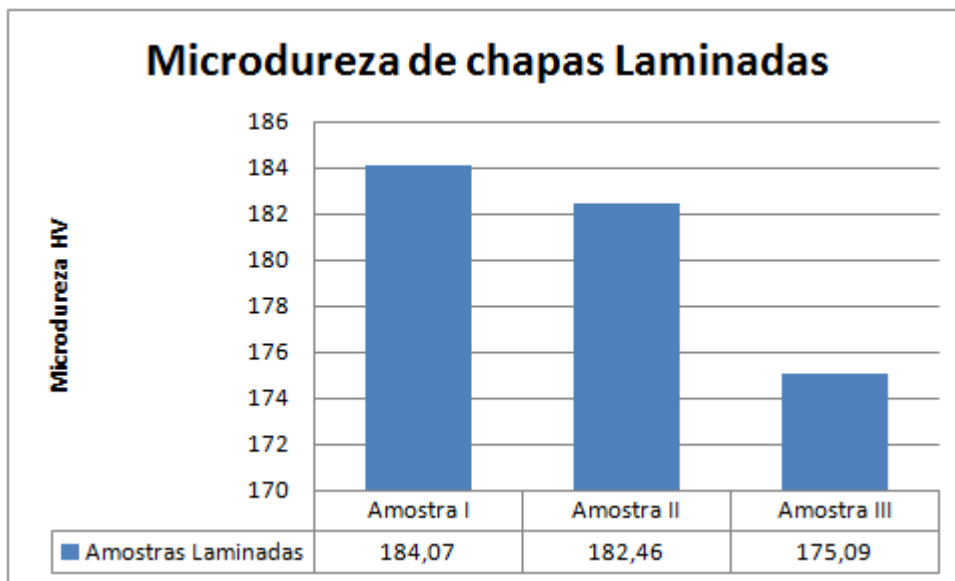
Quando analisamos os dados das microdureza representados na Figura 6 podemos notar uma tendência de crescimento após a pressão ao longo das pressões para cada amostra foram retiradas cinco valores e feita as medias .

Figura 6: Análise das microdurezas das amostras sinterizadas do COS AR COR 300 .



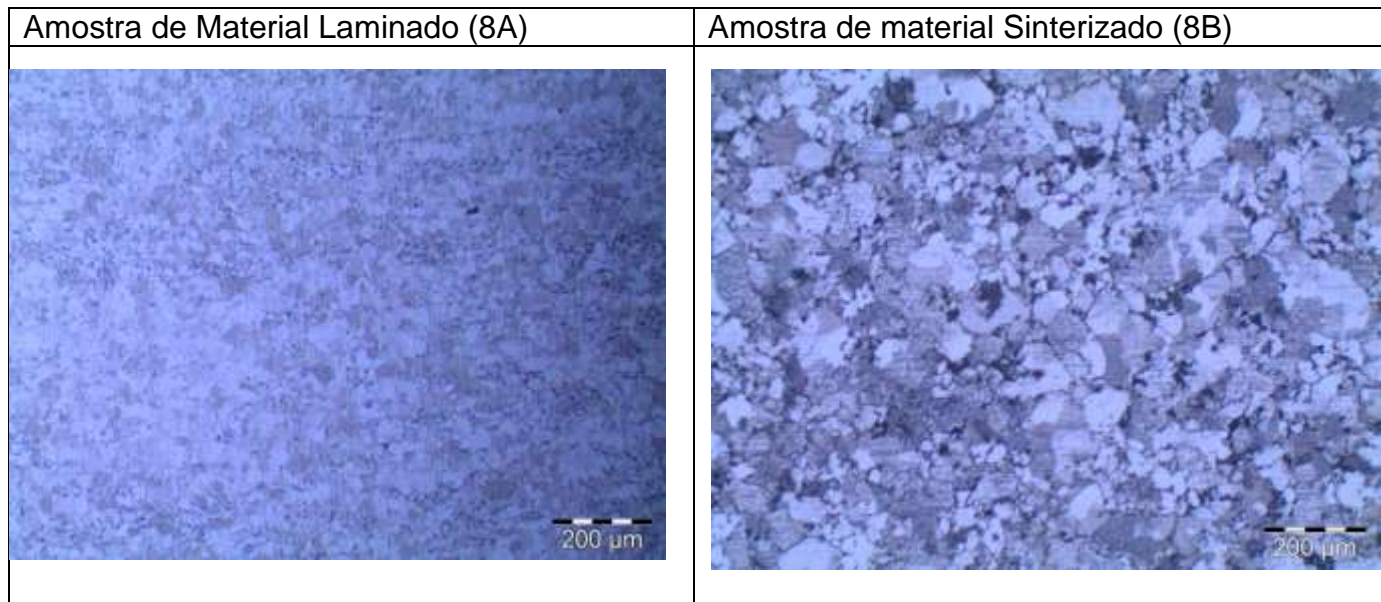
Quando analisamos a Figura 7 a onde consta a microdureza das amostras recebidas laminadas podemos verificar que mesmos as amostras laminadas não mantém um valor de dureza homogenia variando as medias em quase 10 HV .

Figura 7: Microdureza de amostras de material Laminado COS AR COR 300.



Foram feitas análises microestruturais das amostras como demonstrado na Figura 8A e 8B, que mostram uma variação no tamanho de grão maior para amostras sinterizadas, porém apresentam microestruturas semelhantes de perlita e Ferrita .

Figura 8: Metalografias das amostras analisadas ao aumento 100 vezes 8 A material laminado e 8B material sinterizado a 900 MPa

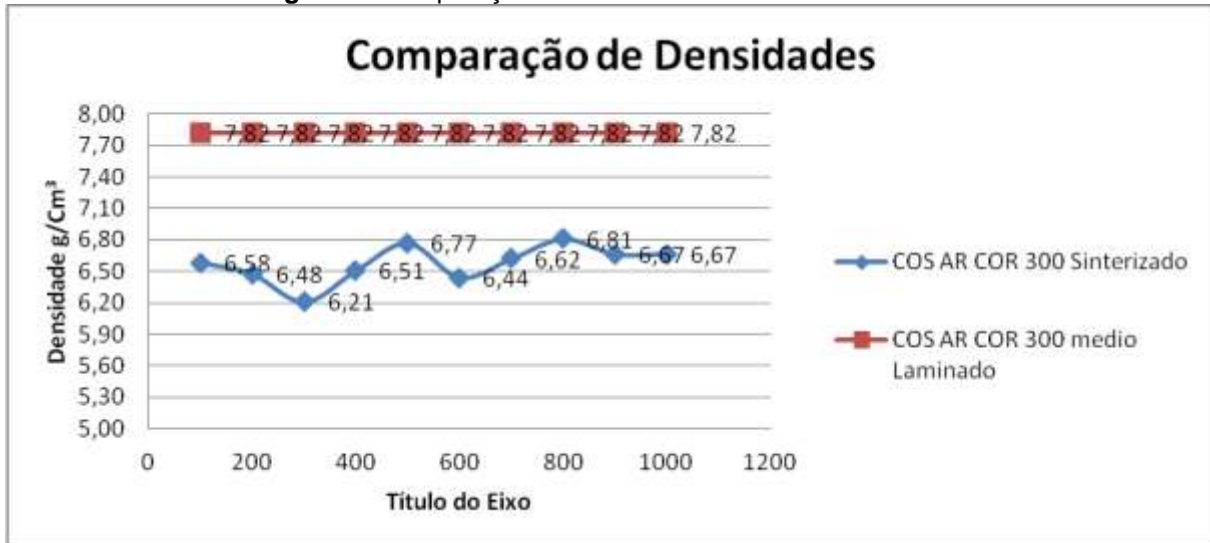


4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como era se esperar as para todas as amostras sinterizadas a densidade se mostrou menor do que o material laminado como pode ser visto na figura 9, tendo a

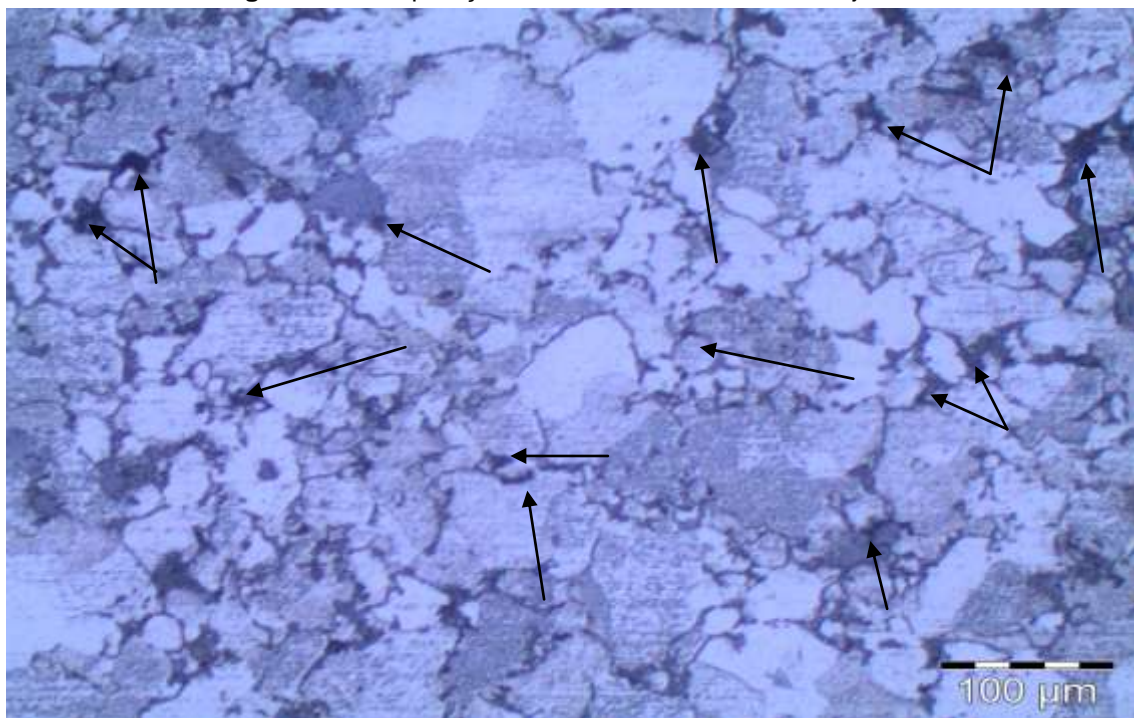
maior densidade 800 MPa existindo uma densificação de 87,08% o que se considera um relação pouco baixa para o materiais sintetizados que consegue alcançar normalmente valores entre 93 e 95 % de densidade.

Figura 9: Comparação da densidade do material sinterizado ao laminado



A presença da porosidade pode ser constatada na Figura 10, onde pode se evidenciar uma alta porosidade que justificaria os 12,92% encontrado .

Figura 10: Comparação da densidade do material forjado ao laminado



Estes fatores reforçam a baixa microdureza aliado a diferença do tamanho de grão grande comparado ao sintetizado nos remeti a crer que se melhorarmos alguns parâmetros de processo tais como , tamanho do pó utilizado e temperatura e

atmosfera de sinterização podemos obter melhores resultados e nos aproximar das características do material laminado .

5 CONCLUSÃO

O processo de metalurgia do pó é largamente conhecido, como um meio de conformação dos mais importantes para se obter componentes com alta complexidade, sem elevadas tensões residuais . A técnica se mostrou passível para obtenção através de pós elementares da liga COS AR COR 300 devido as amostras mostrarem microestrutura semelhante a dureza se mostrou abaixo devido ao tamanho de grão e porosidade obtida para os parâmetros utilizados.

O presente trabalho conclui que a obtenção de aços patináveis resistentes a corrosão através da técnica pós elementares e perfeitamente possível se devendo ter maiores estudos já que a aplicação a maiois de atmosfera agressiva é cotidiano e a dispensa ou redução retrabalhos através usinagem faria elevar o ganho das empresas e aumentar produtividade.

REFERÊNCIAS

- Bott, Ivani de S. 2008.** Estudo prospectiva do setor Siderurgico : . *ABM -Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração*. [Online] Central de Gestão de estudos Estrategicos, Agosto 2008. [Cited: Março 25, 2013.] http://www.abmbrasil.com.br/epss/arquivos/documentos/2011_4_19_8_46_4_33043.pdf.
- Carmona, Luz Marina Ocampo. 2005.** INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE LIGA NA CORROSÃO DE AÇOS PATINÁVEIS . *TESE -UFRJ*. UFRJ, 2005.
- CBCA.** Aços patináveis. *CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço*. [Online] Centro Brasileiro da Construção em Aço. [Cited: Junho 04, 2013.] <http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-ler.php?cod=5712>.
- Chiavari, C., et al. 2012.** Bignozzi, M. C. Atmospheric of Cor-Ten steel with different surface finish: Accelerated ageing and metal release. *Materials Chemistry and Physics*. 2012, Vol. 136, pp. 477-486.
- Corporation, Nippon Steel & Somitomo Metal. 2012.** COR-TEN. *Catalog COR-TEN*. [Online] Nippon Steel & Somitomo Metal, 2012. [Cited: junho 04, 2013.] http://www.nssmc.com/product/catalog_download/pdf/A006en.pdf.
- HORTON, J.B. 1965..** The rusting of low alloy steels in the atmosphere. *Presentation at Pittsburgh regional Technical Meeting of American iron and Steel Institute*. 1965., Vol. 11, pp. 1-24.
- LARRABEE, C.P., and COBURN, S.K.s. 1961.** The atmospheric corrosion of steels a influenced by changes in chemical composition. *ICMC*. 1, 1961, pp. 276-288.

Ltd, All Steel Fabrications. 2013. History of corten. *All Steel Fabrications Ltd.* [Online] getyouonline.co.uk, 2013. [Cited: junho 04, 2013.] <http://allsteelsculpture.com/history-of-corten-sculptures>.

Machado, Marcelo Lucas Pereira. Vitória -ES , 2003. SIDERURGIA PARA NÃO SIDERURGISTAS. Vitória -ES , 2003.

OWE, A.A., REFAIT, Ph., and GÉNIN, J.M.R. 1991. The influence of concentration on the oxidation of ferrous hydroxide in basic sulphated medium: Particle size analysis of goethite and δ -FeOOH”. [ed.] 32. *Corrosion Science* . 1991, Vol. 9, pp. 1003-1020, .

Pacheco, Joyson Luiz. 2001. Desenvolvimento de Metodologia para Avaliação da interação Fadiga a Fluência em aço API P22 . *Tese para Obtenção do Título de Doutor em Engenharia PPGEM-UFRGS*. PPGEM, 2001.

Pannoni, F.D. e Wolynec, S. 1989. “A Ferrugem que Protege”. *Ciência Hoje*. (Revista de divulgação científica da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – SBPC),, 1989, Vol. 10, 57, pp. 54-59.

Pannoni, Fábio Domingos. 2007. PRINCÍPIOS DA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE CORROSÃO E INCÊNDIO. *Gerdau aço Minas Brasil Produtos*. [Online] Gerdau S.A, 2007. [Cited: Junho 04, 2013.] http://www.gerdau.com.br/gerdauacominas/br/produtos/pdfs/manual_corrosao.pdf.