

DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DO PRIMEIRO COMPONENTE PRODUZIDO POR MADA INSTALADO NA INDÚSTRIA DE ÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS DO BRASIL

Congresso Brasileiro De Manufatura Aditiva, 1ª edição, de 30/11/2020 a 01/12/2020
ISBN dos Anais: 978-65-86861-62-4

FERNANDES; Diandro Bailoni¹, CARVALHO; Cristhian Silva², VILARINHO; Louriel Oliveira³

RESUMO

1. Introdução

Manufatura Aditiva (MA) é um processo de união de materiais, utilizado para fabricar peças, a partir de dados de um modelo tridimensional, normalmente por meio de uma abordagem camada sobre camada (ISO/ASTM 52900, 2015). Dentre as abordagens disponíveis, a MADA (Manufatura Aditiva por Deposição a Arco) tem apresentado como vantagens principais maior capacidade de produção e menor custo. Além disso, ainda é possível destacar a possibilidade de fabricação de peças sob demanda dentro de um curto tempo de entrega, peças com propriedades específicas/direcionais, peças com múltiplas propriedades e/ou de geometria complexa, peças customizadas por aplicação e até mesmo a realização de otimização topológica em peças já existentes.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia de fabricação de luva concêntrica de redução de 4" para 3" (NPS 4x3) em aço carbono para aplicação em instalações que compõe o Plano Diretor de Dutos de São Paulo.

Destaca-se que a opção pela fabricação do componente selecionado se deu como prova de conceito para validação de uma das tecnologias de Manufatura Aditiva por Deposição a Arco empregadas no Laprosolda/UFU.

2. Materiais e Métodos

Para se demonstrar a viabilidade na fabricação de componentes por Manufatura Aditiva por Deposição a Arco (MADA), foi selecionado como prova de conceito um componente comercialmente "fora de linha" que pudesse satisfazer as seguintes premissas: projeto estabelecido em uma ou mais normas e fabricação com o uso de consumíveis comercialmente disponíveis para uso com a tecnologia MADA disponível no Laprosolda/UFU.

De forma a atender às premissas estabelecidas pra esta prova de conceito, o componente selecionado foi uma luva de redução concêntrica NPS 4x3 Classe 150 (ASME B16.3, 2016), originalmente fabricada por fundição em ferro fundido maleável, conforme ilustra a Figura 1.

Como ponto de partida para a execução deste trabalho, tomou-se por base o desenvolvimento efetivado por FERNANDES (2019), onde foi realizada a deposição de uma peça retangular para determinação das propriedades mecânicas do depósito, as quais excederam as especificações do

¹ UFU, diandrobf@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br

aramo-eletrodo utilizado (AWS ER70S-6) quanto ao alongamento e limite de resistncia determinados a partir dos ensaios de tração axial e à energia absorvida determinada no Ensaio de Impacto Charpy, indicando ainda boa isotropia do depósito visto que estas propriedades não apresentaram diferença significativa quando avaliadas de forma distinta, ou seja, longitudinal e transversalmente à direção de deposição.

Em seguida, foi necessário realizar o projeto dimensional do componente conforme norma ASME B16.3 (2016): *Malleable Iron Threaded Fittings - Classes 150 and 300*, sendo as dimensões do componente a ser reproduzido especificadas na Tabela I-8 - *Dimension of Class 150 Couplings*, bem como o comprimento mínimo das rosas internas, cujos parâmetros foram estabelecidos conforme referência feita à norma ASME B1.20.1 (2013): *Pipe Threads, General Purpose (inch)*. A Tabela 1 apresenta as dimensões em milímetros para a luva concêntrica de redução selecionada, conforme Norma ASME B16.3 (2016), enquanto que a Figura 1b ilustra as dimensões exigidas para a pré-forma depositada. É importante ressaltar que para a simplificação da fabricação do componente considerou-se a altura das extremidades da luva de redução equivalente à altura mínima estabelecida para as rosas e a espessura da redução com dimensão transiente entre as espessuras das extremidades.

Tabela 1 - Dimensões da luva de redução concêntrica conforme ASME B16.3 (2016)

Comprimento Mínimo da Rosca, B (mm)

Altura mínima de cada banda,

E (mm)

Diâmetro Externo Mínimo,

H (mm)

Diâmetro Interno * (mm)

Comprimento Mínimo** (mm)

3"

24,9

14,0

108,7

88,9 - 91,4

111,3

4"

27,4

16,8

137,2

114,3 - 116,8

* *considerando-se a base do fio de rosca*

** *considera-se o valor de referência para o maior diâmetro do componente*

(a)

¹ UFU, diandrob@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br

(b)

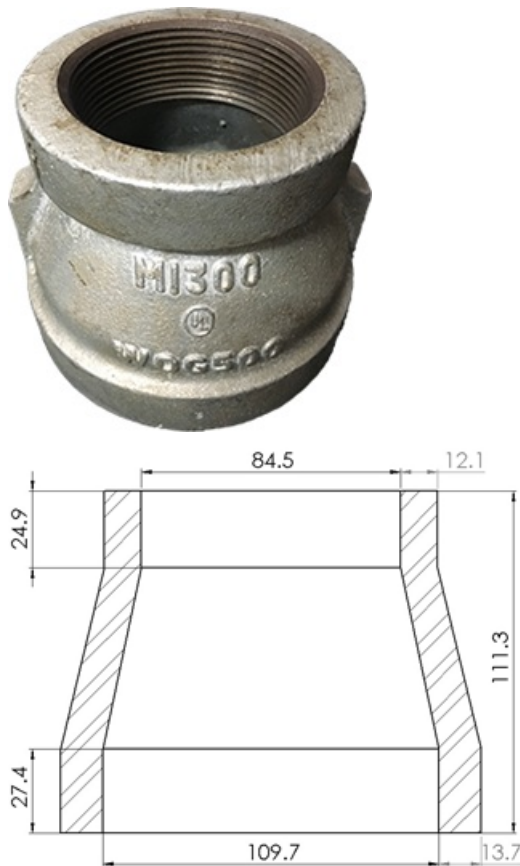


Figura 1 - Luva de redução concêntrica de 4" para 3": (a) versão comercial e (b) projeto para construção do componente depositado (dimensões em milímetros)

Por se tratar de um componente a ser utilizado em instalações do Plano Diretor de Dutos de São Paulo, também foram observados os requisitos impostos pela Norma Petrobras N-76 (2016) – *Materiais de Tubulação*, onde é exigido para este tipo de componente a galvanização à fogo em função da sua aplicação, a qual foi realizada conforme requisitos da Norma ASTM A153 (2016) – *Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel*.

2.1. Materiais de Adição

Foram utilizados arames-eletrodos fornecidos por um fabricante renomado no mercado nacional de bitola nominal 1,20 mm, acondicionados em carretéis de 12" de diâmetro e contendo cerca de 18 kg cada, cujas características nominais são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química e propriedades físicas e mecânicas normatizadas do consumível utilizado

Composição Química

C: 0,10

Si: 0,90

Mn: 1,50

P: 0,025

S: 0,025

Propriedades Mecânicas do Depósito (valores mínimos)

¹ UFU, diandrobf@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br

L_R [MPa]
 L_E [MPa]
Elongamento [%]
Charpy-V [J]
- 29°C
480
400
22
70
Propriedades Físicas
Bitola nominal [mm]
Bitola real [mm]
Densidade [kg/m³]
1,20
1,17
7850

2.2. Materiais de Base

Em função do tipo de material de adição selecionado para a construção do componente (aço comum ao carbono), foram utilizadas em todas as etapas deste trabalho placas de teste de material compatível, compostas de aço ao carbono ABNT 1020, cujo aspecto dimensional é apresentado na Figura 2.

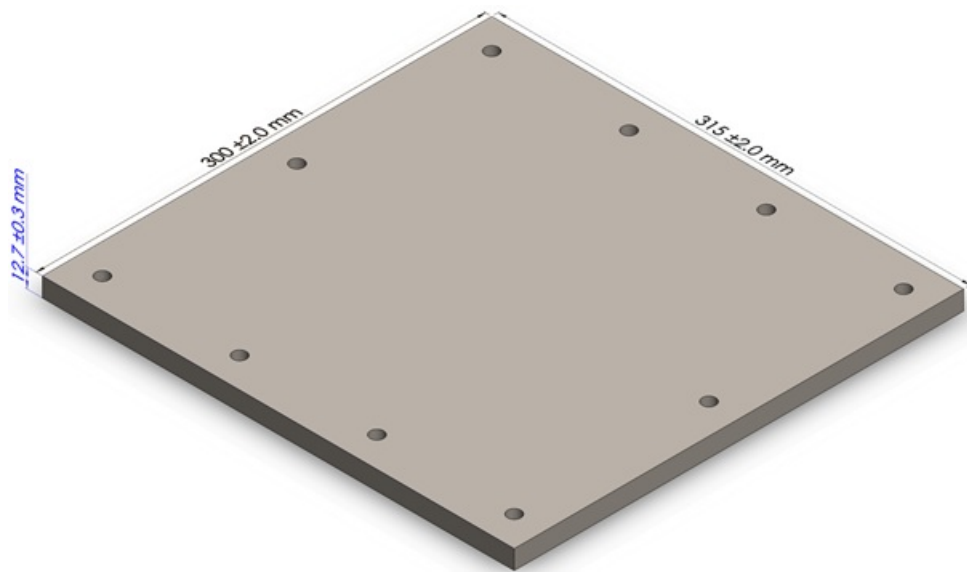


Figura 2 - Substrato em aço carbono ABNT 1020

2.3. Gás de Proteção

Em função do modo de operação selecionado para a operação do processo MIG/MAG (corrente

¹ UFU, diandrob@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br

constante pulsada) com transferência metálica em voo livre, foi selecionada, inicialmente, uma mistura gasosa muito utilizada para o modo em questão, composta nominalmente por Ar + 2% O₂.

2.4. Célula de Trabalho Robotizada

O Laprosolda/UFU conta atualmente com duas células de trabalho robotizadas em funcionamento, sendo que para a fabricação do componente em questão foi utilizada a Célula Robotizada #2, a qual é apresentada na Figura 3.

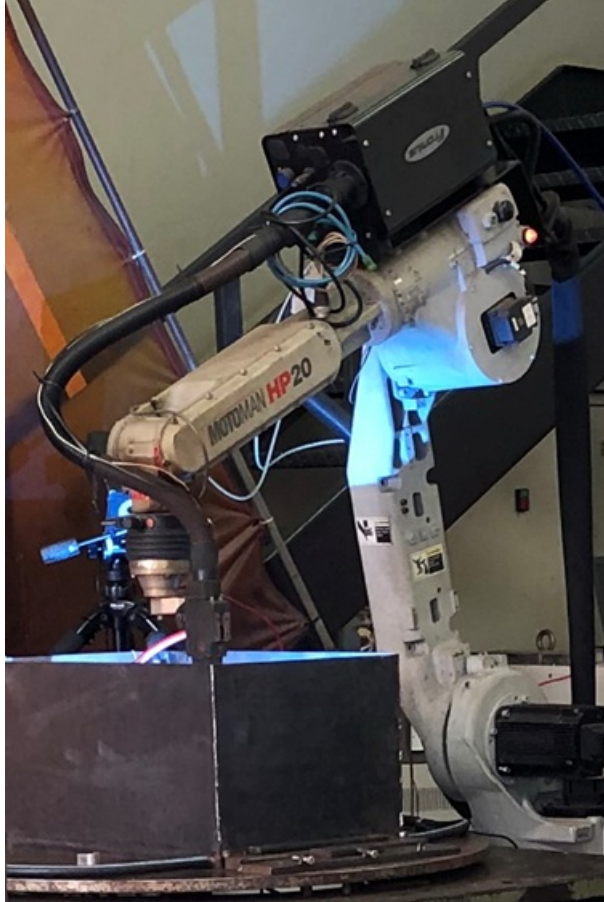


Figura 3 – Célula Robotizada nº 2 do Laprosolda/UFU

Esta célula de trabalho é equipada com os seguintes equipamentos:

- 1) Robô Motoman HP20 (6 graus de liberdade, resolução de $\pm 0,08$ mm e velocidade máxima de 1,5 m/s);
- 2) Controlador Motoman NX100;
- 3) Fonte de Soldagem e elementos acessórios;
- 4) Cuba para utilização da técnica de resfriamento ativo.

2.5. Fonte de Soldagem e Elementos Acessórios

A célula de trabalho utilizada é equipada com uma fonte de soldagem multiprocesso sinérgica, juntamente com seu alimentador de arame e uma interface de comunicação fonte-robô. Como elementos acessórios, foram utilizados uma tocha de soldagem para processo automatizado

¹ UFU, diandrob@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br

resfriada a água com fator de trabalho de 400 A @ 100% e seus respectivos consumíveis (guias, difusores de gás e bicos de contato) adequados para a bitola nominal do eletrodo-aramado utilizado (1,20 mm).

2.6. Monitoramento de Sinais Elétricos

Os sinais elétricos de tensão e corrente foram monitorados por meio de um sistema de aquisição, o qual é composto por uma interface analógico-digital (A/D) USB de 14 bits de resolução, (Figura 4a), um condicionador de sinais elétricos (MACHADO, 2012) (Figura 4b) e uma interface para a visualização e aquisição em arquivo dos sinais monitorados (Figura 5).

Os sinais elétricos foram adquiridos em cada camada executada do componente a uma taxa de amostragem de 6000 amostras/s durante 5 s, sempre com a tocha posicionada a 180° da posição de início da camada.

(a)

(b)



Figura 4 - (a) Interface A/D USB e (b) condicionador de sinais elétricos

¹ UFU, diandrobf@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br

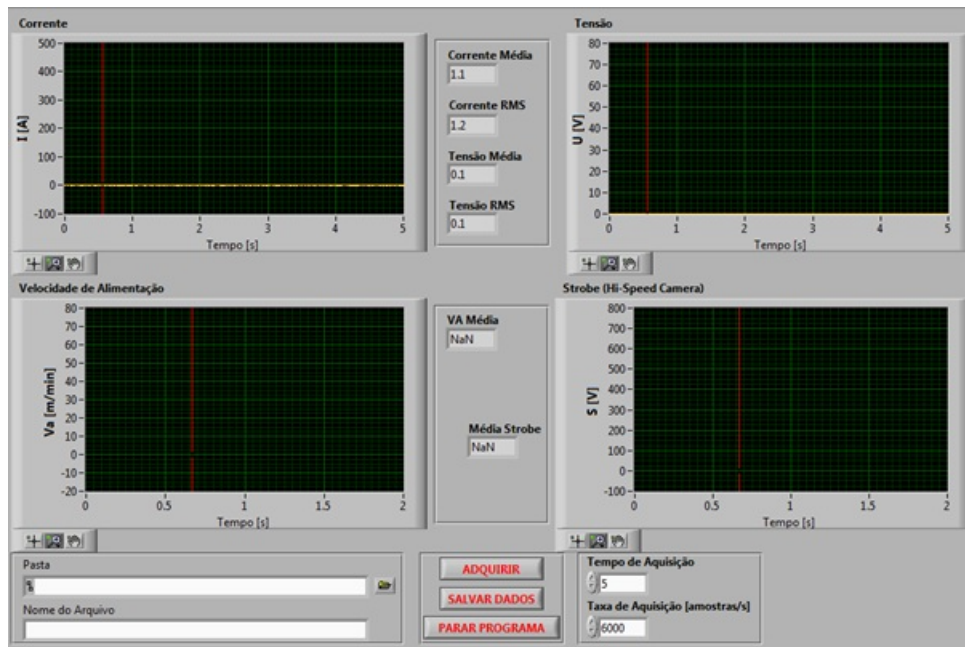


Figura 5 - Interface gráfica do software para a aquisição dos sinais elétricos

2.7. Parâmetros de Deposição

A partir do desenvolvimento realizado por FERNANDES (2019), verificou-se que os parâmetros de deposição, como velocidade de deposição e incremento de altura por camada, proporcionariam um volume de deposição necessário para a fabricação do componente, o que levou ao aproveitamento destes parâmetros. Além disso, optou-se por utilizar ainda alguns parâmetros de processo, como modo de operação e velocidade de alimentação. A Tabela 3 apresenta os parâmetros de deposição e de soldagem.

Por se tratar de um equipamento totalmente sinérgico na operação do processo MIG/MAG no modo pulsado, foi possível realizar a regulagem apenas da velocidade de alimentação e correção de comprimento de arco, os quais foram definidos em pré-testes para se alcançar as correntes médias estabelecidas por FERNANDES (2019). Também foi realizada a regulagem do tempo de retrofusão do comprimento livre do eletrodo após a execução do cordão de solda (burn-back).

Tabela 3 - Parâmetros de Deposição e de Soldagem

para fabricação da luva concêntrica de redução

Parâmetros de Deposição

V_D (mm/min)

84,0

Incremento (mm)

3,4

Parâmetros de Processo

Modo de Operação

Pulsado

Corrente Média (A)

150

¹ UFU, diandrob@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br

De forma preliminar à fabricação do componente em definitivo, foram realizadas inicialmente pré-formas de cada estágio da luva de redução (diâmetro de 4", redução e diâmetro de 3") e, posteriormente, pré-formas completas. Dessa forma, em ambos os casos, garantiu-se que a deposição do componente em definitivo atendesse, após submetida a processos de usinagem convencionais, às exigências dimensionais das normas ASME adotadas.

3. Resultados e Discussão

Após a execução de 38 camadas, as quais foram depositadas ininterruptamente durante 2 h 35 min a uma taxa de deposição de aproximadamente 2,8 kg/h, a pré-forma em definitivo de aproximadamente 7,2 kg foi gerada, conforme ilustra a Figura 6.



Figura 6 - Pré-forma definitiva da luva concêntrica de redução NPS 4x3

É importante salientar que o processo de deposição ocorreu sem quaisquer instabilidades do arco elétrico ou com problemas relacionados à Alimentabilidade do arame, o que proporcionou um rendimento de deposição de 99,3 % e um aspecto visual muito regular. Neste contexto, os sinais elétricos monitorados também apresentaram um equilíbrio razoável da energia de deposição imposta ao longo das camadas depositadas, com valor médio de $1,96 \pm 0,06$ kJ/mm, cuja evolução é ilustrada pela Figura 7.

¹ UFU, diandrobf@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br

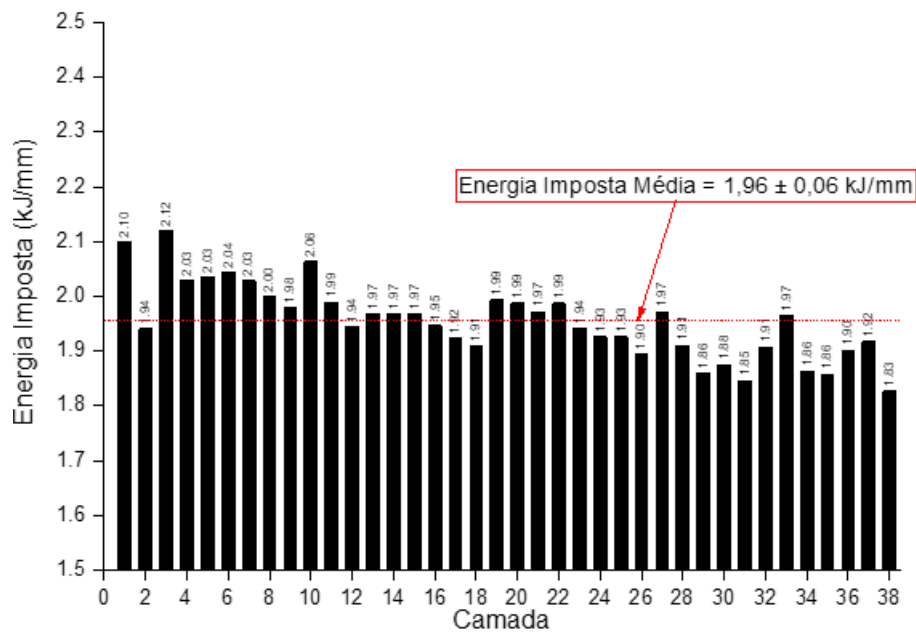


Figura 7 - Evolução da Energia de Deposição Imposta ao longo das camadas

Após destacada do substrato, a pré-forma definitiva foi submetida inicialmente ao processo convencional de usinagem por torneamento para remoção de material da superfície interior, proporcionando assim atingir as dimensões especificadas em norma, bem como a fabricação das roscas internas também realizadas pelo mesmo processo. As faces do componente também foram submetidas à remoção de material para regularização destas superfícies, conforme ilustra a Figura 8. Na mesma Figura é possível observar que externamente não houve remoção de material, exceto pelos rebaixos executados no diâmetro maior para acoplamento de ferramental, permitindo assim que o componente tenha um apelo visual diferenciado em relação ao componente fabricado convencionalmente, além de possibilitar que o mesmo seja identificado como sendo oriundo de fabricação por Manufatura Aditiva.

¹ UFU, diandrob@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br

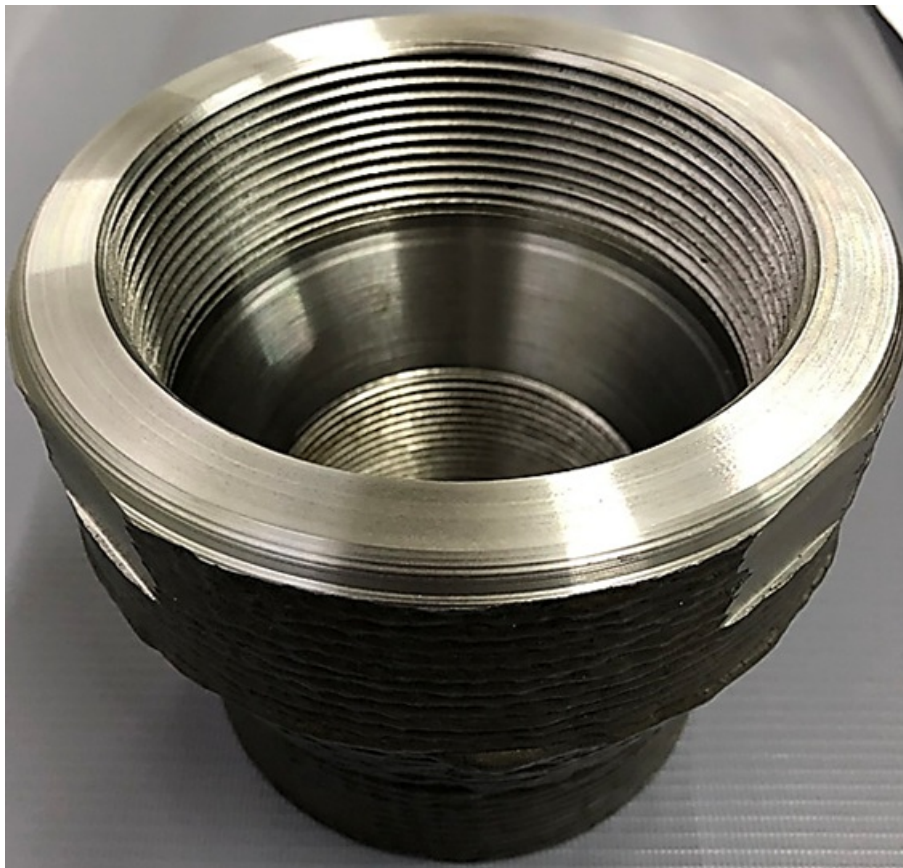


Figura 8 - Luva concêntrica de redução NPS 4x3 pós-processamento por Usinagem

Por fim, para o cumprimento dos requisitos da Norma Petrobras N-76 (2016) - *Materiais de Tubulação*, onde é exigido para este tipo de componente um revestimento galvanizado em função da sua aplicação, o componente foi submetido ao processo de galvanização à fogo segundo critérios da norma ASTM A153 (2016) - *Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel*. Dessa forma, a luva concêntrica de redução NPS 4" x 3" em seu formato final para aplicação é apresentado na Figura 9.

¹ UFU, diandrobf@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br



Figura 9 – Aspecto Final da luva concêntrica de redução NPS 4x3

É importante ressaltar que o componente foi submetido a um extenso processo de qualificação envolvendo Ensaios não-Destrutivos, juntamente com Ensaios Destrutivos realizados em pré-formas cilíndricas de diâmetro nominal 3” fabricadas para este propósito, cujos resultados e discussão pertinente são apresentados em um trabalho a parte.

4. Conclusão

Com base na realização bem sucedida da fabricação da luva concêntrica de redução NPS 4x3, foi possível legitimar a fabricação deste componente em substituição ao original, o que permitiu a instalação do mesmo no Plano Diretor de Dutos de São Paulo, além de validar a tecnologia de Manufatura Aditiva por Deposição a Arco empregada no Laprosolda/UFU.

5. Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao Grupo Laprosolda/UFU pela infraestrutura laboratorial, ao Petróleo Brasileiro S/A (PETROBRAS) pelo suporte financeiro e à Belgo Bekaert Arames S/A pelo fornecimento dos arames-eletrodos.

6. Referências Bibliográficas

¹ UFU, diandrobf@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br

ASME B16.3. Malleable Iron Threaded Fittings Classes 150 and 300. 2016, 54p.

ASME B1.20.1. Pipe Threads, General Purpose (Inch). 2018, 40p.

ASTM A153. Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware. 2016. 5p.

AWS SFA 5.18. Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding, 2004. 38p.

FERNANDES, D. B. Determinação das Propriedades Mecânicas de Peça em Aço Carbono Confeccionada via Manufatura Aditiva por Deposição a Arco (MADA). CONSOLDA, XLV Congresso Nacional de Soldagem. 2009.

ISO/ASTM 52900. Additive manufacturing – General principles – Terminology. 2017, 32p.

MACHADO, M.V.R., et al. Sistema embarcado para monitoramento sem fio de sinais em soldagem a arco elétrico com abordagem tecnológica. **Soldagem e Inspeção**, v.17, p. 147-157, 2012.

PETROBRAS N-76. Materiais de Tubulação. 1997, 136p.

PALAVRAS-CHAVE: Manufatura Aditiva, Luva Concêntrica, GMAW, Pulsado

¹ UFU, diandrobf@ufu.br

² PETROBRAS, cristhian@petrobras.com.br

³ UFU, vilarinho@ufu.br