



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

ELTON DOUGLAS HERIGER PEREIRA

**PLANEJAMENTO DO CONTROLE DE PRODUÇÃO NO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO DE CHUTES CIRCULARES UTILIZADOS NA MINERAÇÃO DE
FERRO**

Marabá-PA
2018

ELTON DOUGLAS HERIGER PEREIRA

**PLANEJAMENTO DO CONTROLE DE PRODUÇÃO NO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO DE CHUTES CIRCULARES UTILIZADOS NA MINERAÇÃO DE
FERRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, orientado pelo professor Dr. Elias Fagury Neto, Instituto de Geociências e Engenharias da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.

Marabá-PA
2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Pereira, Elton Douglas Heriger

“Planejamento do controle de produção no processo de fabricação de chutes circulares utilizados na mineração de ferro” / Elton Douglas Heriger Pereira; orientador, Elias Fagury Neto. — 2018.

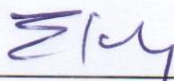
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Materiais, Curso de Engenharia de Materiais, Marabá, 2018.

1. Ferro – Minas e Mineração. 2. Sistemas de Fabricação. 3. Processo de Fabricação. 4. Administração da produção. 5. Controle da produção. I. Elias Fagury Neto, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

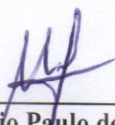
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

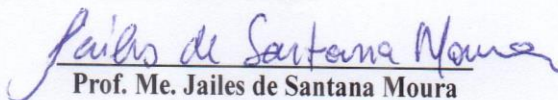
No 13º (décimo terceiro) dia do mês de março do ano de 2018 (dois mil e dezoito) na cidade de Marabá no Estado do Pará, reuniu-se a Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo relacionados todos pertencentes ao **INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS** para assistirem a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado **“PLANEJAMENTO DO CONTROLE DE PRODUÇÃO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CHUTES CIRCULARES UTILIZADOS NA MINERAÇÃO DE FERRO”** de autoria do discente **ELTON DOUGLAS HERIGER PEREIRA**, Matrícula **201340606030**, onde após a apresentação e argüição pela banca a respeito da monografia, a mesma tem como opinião unânime atribuir o conceito Excelente ao referido trabalho.



Prof. Dr. Elias Fagury Neto
Orientador



Prof. Me. Marcio Paulo de Araújo Mafra
Membro



Prof. Me. Jailes de Santana Moura
Membro

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Célia e José Ary, por terem me apoiado em todos os momentos da minha vida, sei o quanto essa conquista significa para ambos.

As minhas tias onde demonstraram sempre o poder da família e o presente apoio de todas durante essa jornada, em especial a minha tia Celma que considero uma mãe.

Aos meus tios pelo presente apoio em especial para Edinan e Evandro que foram pessoas que mesmo não sendo familiares de sangue sempre me apoiaram.

A Aline, Adriano, Amanda, Ana Beatriz e Arthur que se tornaram minha segunda família e são pessoas por qual serei eternamente grato.

E claro, a Nathália do Vale pela enorme paciência, incentivo e apoio, sei que não foi fácil.

Um agradecimento em especial a todas as amizades formadas no decorrer dessa trajetória, em especial ao meu amigo Thales, Camila, Adrieli, Brendinha, Háríta e o ex diácono, nosso presidente da Emat Jr Orley.

Ao meu orientador, o professor, Elias Fagury Neto por todo conhecimento que me foi transmitido, ao pela cooperação e desenvolvimento do trabalho e aos professores da FEMAT que participaram da minha formação, em especial, Professores Jailes e Márcio Mafra.

A Integral Const. e Comércio LTDA pelo apoio e incentivo, em especial ao pessoal Do Controle da Qualidade, minha gerente Marilene Lima e meu grande amigo Sergio Messias e todos os outros amigos formados no decorrer de minha passagem.

RESUMO

No processo de fabricação dos metais é de suma importância o cumprimento do prazo de entrega, evitando assim pagamento de multa por atraso e possíveis reembolsos. O cumprimento do prazo tem uma forte relação com o planejamento de fabricação: se existe um planejamento detalhado da fabricação o cumprimento do prazo de entrega será respeitado; além disso, um dos maiores geradores de custo é a compra de matéria prima e devido a isso, esta deve ser aproveitada ao máximo, evitando desperdícios e perdas desnecessárias para a sucata. Neste trabalho buscou-se elaborar um planejamento de controle de produção na fabricação de chutes circulares utilizados na mineração de ferro do Projeto Ferro Carajás S11D; foi adotado o método de produção contínua no planejamento da obra. Além disso, buscou-se a utilização do software de otimização Corte Certo Plus no corte de chapas, com o qual se obteve um aproveitamento no corte de 89% da chapa e foi desenvolvido um método de otimização no corte de perfis utilizando a ferramenta de Solver em busca da solução ótima de aproveitamento do perfil, obtendo-se 99,89% de aproveitamento no corte de perfis.

Palavras chaves: Planejamento, Otimização, Chute, Fabricação.

ABSTRACT

In the process of manufacturing the metals it is of utmost importance to comply with the deadline, thus avoiding payment of fee for delay and possible reimbursements, compliance with the deadline has a strong relationship with manufacturing planning. If there is a detailed manufacturing planning compliance of the delivery time, it will be fulfilled. In addition, one of the biggest cost generators in industry is the purchase of raw material, due to this, it must be harnessed to the maximum, avoiding waste and unnecessary losses for scrap. In this work, we attempted to elaborate a production control planning in the manufacture of circular chutes used in the iron mining of the Ferro Carajas S11D Project; the continuous production method was adopted in the planning of the work. In addition, we sought to use Corte Certo Plus optimization software for the cutting planning of slabs, with which it was obtained a use in cutting of 89% of the sheet, and an optimization method was developed in the profile cutting using the Solver tool in search of the optimum solution for profiling the profile, obtaining 99.89% utilization in profile cutting.

Key words: Planning, Optimization, Chute, Manufacture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos processos de fabricação.....	13
Figura 2: Ilustração do processo de fundição contínua. Erro! Indicador não definido.	
Figura 3: Processo básico de soldagem MIG/MAG.....	15
Figura 4: Tipos de deposição de metal em soldagem MAG.....	16
Figura 5: Fluxograma do procedimento de fabricação do chute circular.....	20
Figura 6: Vista isométrica do conjunto de chute circular da roda de caçamba.....	23
Figura 7: Plano de corte obtido pelo Software <i>Corte Certo</i> na chapa de aço ASTM-A-572 de 5/8".	24
Figura 8: Execução do plano de corte através do corte a plasma CNC.	25
Figura 9: Marcação e inspeção dos itens a serem montados.	26
Figura 10: Esquema de procedimento de montagem do chute circular.	27
Figura 11: Montagem do escopo do chute circular.....	27
Figura 12: Esquema de linha de produção contínua na Fábrica.	28
Figura 13: Pré-montagem do revestimento CDP.....	29
Figura 14: Processo de conformação mecânica por calandramento.....	30
Figura 15: Processo de conformação mecânica por dobramento.	30
Figura 16: Chute circular superior após etapa de Jateamento.	32
Figura 17: Chute Circular inferior após etapa de Pintura Primer.....	33
Figura 18: Chute Circular inferior após a pintura com tinta Epoxi Azul Munsell.	34
Figura 18: Representação em 3D do Cavalete de Rolos.	38

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Composição química do arame de soldagem Bohler E71-C1	21
Tabela 2: Composição química Aço ASTM-A-572	22
Tabela 3: Composição química do revestimento CDP.	22
Tabela 4: Procedimento de fabricação de cavaletes.	39
Tabela 5: Configuração de corte de Perfis X ₃₁	39
Tabela 6: Configuração de corte de Perfis X ₂₁	40
Tabela 7: Configuração de corte de Perfis X ₄₄	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. GERAIS.....	11
2.2. ESPECÍFICOS.....	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS METAIS.....	12
3.1.1. Processo de fundição.....	Erro! Indicador não definido.
3.1.2. Conformação mecânica.....	13
3.1.3. Usinagem.....	14
3.1.4. Soldagem GMAW (Gas Metal Arc Welding).....	14
3.1.5. Tipos de deposição de Metal.....	16
3.1.6. Defeitos em soldagem.....	17
3.1.7. Metalurgia da Soldagem.....	17
3.2. LINHA DE PRODUÇÃO CONTÍNUA.....	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1. MATÉRIAS PRIMAS E EQUIPAMENTOS.....	21
4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	21
4.2.1. Composição química.....	21
4.3. PROCESSOS EMPREGADOS.....	22
4.3.1. Engenharia e planejamento do projeto.....	22
4.3.2. Plano de corte.....	23
4.3.3. Pré-montagem.....	25
4.3.4. Conformação mecânica das chapas.....	29
4.3.5. Qualidade dimensional.....	31
4.3.6. Soldagem.....	31
4.3.7. Acabamento.....	31
4.3.8. Jateamento e pintura.....	31
4.3.9. Expedição e montagem.....	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	36

5.2. APLICAÇÃO DE SOFTWARE DE OTIMIZAÇÃO NO CORTE DE CHAPAS E PERFIS	36
5.3. APLICAÇÃO DE MÉTODO PRODUTIVO DE MONTAGEM.....	41
6. CONCLUSÕES	42
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

Na mineração de ferro, o desgaste por abrasão é causa de problemas operacionais e gera elevados custos. Devido à alta abrasão do minério de ferro no processo de beneficiamento, ocasiona desgastes nas estruturas dos vários equipamentos, implicando em várias perdas como paradas prolongadas para substituição dos revestimentos, altos custos dos materiais de desgaste, riscos de acidentes devido à grande dificuldade nas manutenções e impactos ambientais, como, por exemplo, a fuga do minério pelas fraturas na estrutura dos equipamentos.

No processo de fabricação de estruturas metálicas para mineração, como por exemplo, chutes para roda de caçamba de recuperadora, é essencial o cumprimento do prazo de entrega, devido este estar vinculado à manutenção preditiva do equipamento, evitando assim, uma possível falha não programada e parada do equipamento. Além disso, devido aos esforços de impacto e abrasão exercidos sobre os chutes, é de suma importância que estes apresentem uma excelente qualidade nas juntas soldadas e excelente qualidade de revestimento de desgaste. No processo de fabricação de chutes um dos principais quesitos que os consumidores buscam está relacionado a prazo de entrega do produto acabado, preço e, principalmente, quanto à qualidade do produto final. Tendo em vista isto, a empresa que estiver preparada neste sentido, perante seus concorrentes, conquistará novas fatias do mercado. [10]

Para um produto final com uma excelente qualidade nas juntas soldadas é necessário utilizar os parâmetros certos de soldagem, afim de que se modifique o tipo de deposição de metal durante a soldagem e mantenha a microestrutura final do cordão de solda similar à microestrutura do metal de base.

A atividade de PCP-Planejamento do Controle de Produção visa interligar os departamentos internos da fábrica, a fim de criar meios que viabilizem o aumento da capacidade produtiva e simultaneamente redução dos custos de produção, mas mantendo ou elevando a qualidade dos produtos e serviços prestados. [13]

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi criar um PCP a fim de aumentar a produtividade da fábrica elevando a qualidade dos produtos finais. Avaliaram-se as condições de pré-montagem, parâmetros de soldagem e aumento de produtividade e redução de custos por meio do software de cortes de chapas e perfis.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAIS

Criar um plano de fabricação tendo em vista a otimização de matérias-primas com a utilização de softwares e programações lineares, prazo de entrega e qualidade final do produto através da implantação do planejamento de controle de produção otimizado.

2.2. ESPECÍFICOS

- ✓ Otimizar o corte de chapas.
- ✓ Determinar parâmetros de soldagem do aço ASTM-A-572 levando em consideração a isenção de defeitos no cordão de solda.
- ✓ Criar linha de produção para fabricação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS METAIS

Os processos de fabricações já existem há séculos, desde o início da história da humanidade, fazer itens tem sido uma atividade essencial das civilizações humanas. Hoje, o termo fabricação é usado para esta atividade, para fins tecnológicos e razões econômicas, a fabricação é importante para o bem-estar de um país desenvolvido e em desenvolvimento. A tecnologia pode ser definida como a aplicação de ciência para fornecer à sociedade e seus membros essas coisas que são necessárias ou desejadas. A tecnologia afeta nossa vida diária, direta e indiretamente, e todos os produtos, um dia foram fabricados. [1]

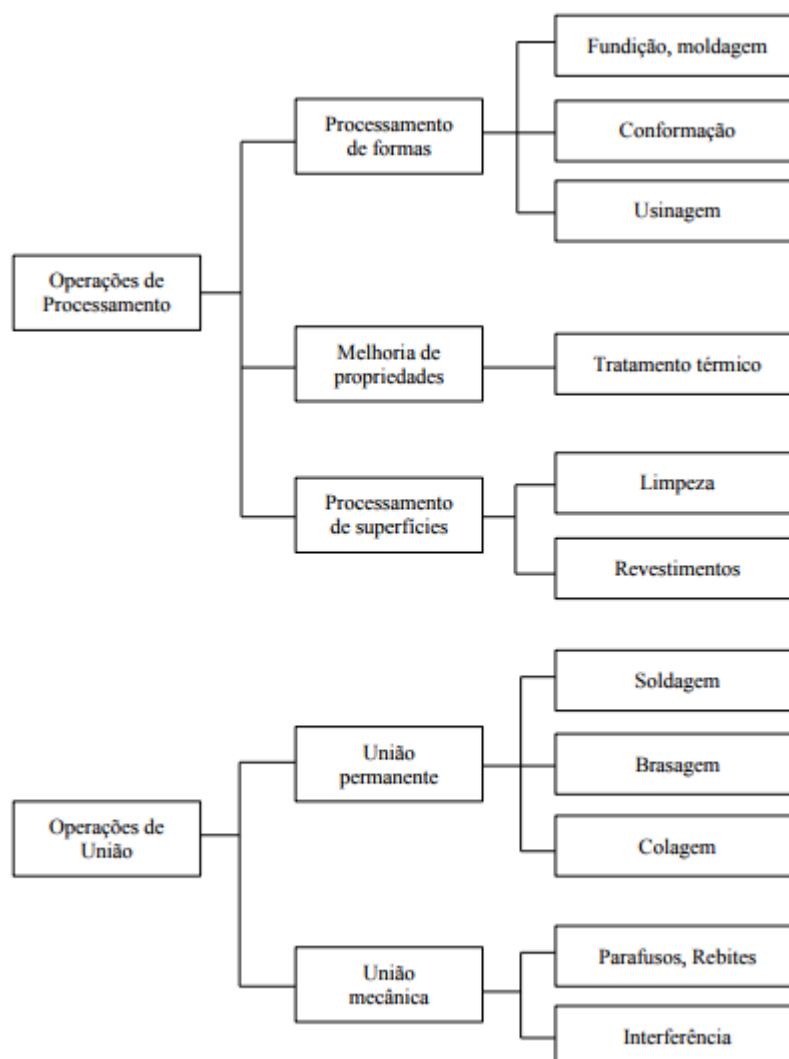
“A fabricação é uma atividade comercial importante realizada por empresas que vendem produtos para clientes. O tipo de fabricação feito por uma empresa depende do tipo de produto que faz.” [1].

Geralmente a classificação das indústrias consiste em primárias, secundárias ou terciárias. As indústrias primárias cultivam e exploram recursos naturais, como agricultura e mineração. As indústrias secundárias levam os resultados das indústrias primárias e as convertem em bens de consumo e de capital. As indústrias terciárias constituem o serviço setor da economia. Neste trabalho, vamos abordar um processo de fabricação secundário. [2]

Um processo de fabricação é um procedimento projetado que resulta na mudança física e/ou química de um material de trabalho inicial com a intenção de aumentar seu valor. [3]

Um processo de fabricação geralmente é realizado como uma operação unitária, o que significa que é um passo único na sequência de etapas necessárias para transformar o material inicial em um produto final. As operações de fabricação podem ser divididas em dois tipos básicos: (1) processamento operações e (2) operações de montagem. [2]

Figura 1: Classificação dos processos de fabricação.



Fonte: Adpt. [2]

3.1.1. Conformação mecânica

Entende-se o processo de conformação dos corpos metálicos como o processo de modificação da forma desse corpo metálico para outra forma definida. Na conformação mecânica são aplicadas tensões aplicadas, onde estas são geralmente inferiores ao limite de resistência à ruptura do material. É importante o estudo dos processos de conformação mecânica dos metais porque em sua maior parte, quase todos os produtos metálicos produzidos são submetidos, em um ou mais estágios durante sua fabricação a este tipo de conformação. [5]

No processo de fabricação por conformação mecânica permite que as peças, no estado sólido, tenham suas características controladas. Assim, neste processo de

fabricação o objetivo é a obtenção de produtos finais com especificações de dimensão e forma, propriedades mecânicas e condições superficiais.

Segundo Bresciani 2011 e Chiaverini 1986, a conformação mecânica pode ser classificada por diversos critérios, sejam estes, quanto ao tipo de esforço predominante; quanto à temperatura de trabalho; quanto à forma do material; quanto ao tamanho da região de deformação; quanto ao tipo de fluxo do material; quanto ao tipo de produto; quanto a temperatura de conformação; quanto a forma do metal trabalhado; quanto o tamanho da região deformada; Quanto o fluxo de deformação do metal;

3.1.2. Usinagem

O processo de usinagem é considerado um processo de conformação mecânica onde as tensões aplicadas são sempre superiores ao limite de escoamento de ruptura do material, portanto, obtida por retirada do material. [5]

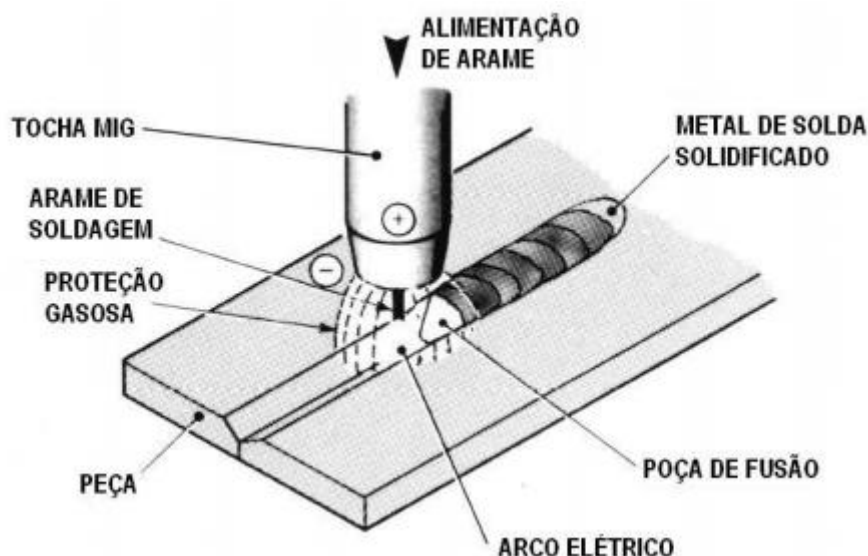
Como foi apresentado neste trabalho, geralmente o primeiro processo de fabricação dos metais é o processo de fundição, seguido este, vem o processo de conformação mecânica, ainda assim, peças metalúrgicas apresentam irregularidades, ou muitas das vezes necessitam de furação, então o processo de usinagem possibilita atingir o objetivo de qualidade da peça, dando acabamento, fazendo furações, rebaixas dimensões precisas e deixando as peças metálicas conforme o projeto solicitado. [4]

Dentre todos os processos de fabricação a usinagem é responsável pela qualidade dimensional final da peça, através dela é possível atingir todas as necessidades do desenho da peça, como chanfro, furação, retirada de possíveis rebarbas, retirada de possíveis óxidos formados na superfície, e assim, deixar todas as peças nas dimensões exatas do projeto e assim as peças serem montadas e unidas. [4]

3.1.3. Soldagem GMAW (Gas Metal Arc Welding)

Na soldagem ao arco elétrico com gás de proteção (GMAW – Gas Metal Arc Welding), também conhecida como soldagem MIG/MAG (MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas), um arco elétrico é estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame. O arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão. Na figura 3 vemos um processo típico de soldagem GMAW. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás inerte ou ativo. [6]

Figura 2: Processo básico de soldagem MIG/MAG



Fonte: [6]

O processo de soldagem MAG funciona com corrente contínua, normalmente com o arame no pólo positivo. Essa configuração é conhecida como polaridade reversa. [8] A polaridade direta é raramente utilizada por causa da transferência deficiente do metal fundido do arame de solda para a peça. [8] Um arco elétrico autocorrigido e estável é obtido com o uso de uma fonte de tensão constante e com um alimentador de arame de velocidade constante. [6]

Neste tipo de soldagem o gás ativo é o gás de CO_2 (dióxido de carbono) este gás não é um gás inerte porque o calor do arco o dissocia em monóxido de carbono e oxigênio livre. Esse oxigênio combinar-se-á com os elementos em transferência através do arco para formar óxidos que são liberados da poça de fusão na forma de escória ou carepa. [6] Embora o CO_2 seja um gás ativo e produza um efeito oxidante, soldas íntegras podem ser consistente e facilmente obtidas sem a presença de porosidade e outras discontinuidades. [7]

O dióxido de carbono é largamente empregado na soldagem de aços. Sua popularidade é devida a sua disponibilidade e à boa qualidade da solda, bem como pelo seu baixo custo e instalações simples. [7]

“O dióxido de carbono não permitirá uma transferência em aerossol; por isso, os modos de transferência de metal ficam restritos ao curto-circuito e à transferência globular. A vantagem do CO_2 são velocidades de soldagem maiores e penetração profunda.” [7]

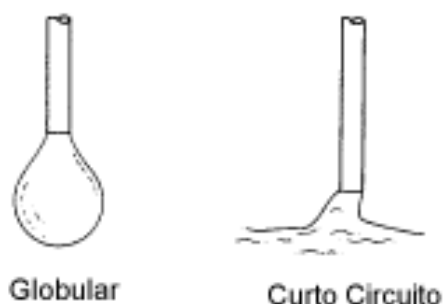
Os maiores inconvenientes do uso de gás CO_2 como gás de proteção é a indesejável transferência globular devido este tipo de transferência de deposição de metal caracterizar por altos níveis de respingos na solda. Geralmente a superfície do cordão de solda utilizando gás de proteção CO_2 é fortemente oxidada, assim, muitas das vezes é utilizado técnicas de adição de um arame de solda com elementos desoxidantes para compensar a natureza reativa do gás CO_2 . De um modo geral, boas propriedades mecânicas podem ser obtidas com o CO_2 . O argônio é misturado frequentemente com o CO_2 para balancear as características de desempenho do CO_2 puro. Se as propriedades de impacto tiverem que ser maximizadas, são recomendadas misturas de Ar e CO_2 . [7]

3.1.4. Tipos de deposição de Metal

Basicamente o processo GMAW inclui quatro técnicas distintas de modo de transferência de metal: curto-circuito (short arc), globular (globular), aerossol (spray arc) e Transferência Pulsada (Pulse Spray Transfer). Essas técnicas descrevem a maneira pela qual o metal é transferido do arame para a poça de fusão. [6]

A transferência por curto-circuito ocorre quando um curto-circuito elétrico é estabelecido. Isso acontece quando o metal fundido na ponta do arame toca a poça de fusão. A transferência globular ocorre quando as gotas de metal fundido são muito grandes e movem-se em direção à poça de fusão sob a influência da gravidade. [6]

Figura 3: Tipos de deposição de metal em soldagem MAG



Fonte: [6]

Os fatores que determinam o modo de transferência de metal são a corrente de soldagem, o diâmetro do arame, o comprimento do arco, as características da fonte e o gás de proteção. [6]

3.1.5. Defeitos em soldagem

Com as condições necessárias e técnicas de soldagem corretas e com os materiais também corretos o processo MAG resultará num depósito de solda de alta qualidade. [6] Entretanto, assim como em qualquer outro processo de soldagem, os defeitos de solda podem ocorrer. A maioria dos defeitos encontrados na soldagem é causada por práticas de soldagem inadequadas, como exemplo, alta tensão, instabilidade de arco, alta corrente, alta energia de soldagem e metal de adição incorreto. [7]

Defeitos usualmente encontrados no processo de soldagem MAG incluem faltam de penetração, falta de fusão, mordedura, porosidade e trincas longitudinais, ambos podem ser corrigidos utilizando técnicas de soldagem corretas. [6]

3.1.6. Metalurgia da Soldagem

“A soldagem envolve muitos fenômenos metalúrgicos como, por exemplo, fusão, solidificação, transformações no estado sólido, deformações causadas pelo calor e tensões de contração, que podem causar muitos problemas práticos. Os problemas podem ser evitados ou resolvidos aplicando-se princípios metalúrgicos apropriados ao processo de soldagem.” [7]

A temperatura à qual o metal é aquecido, o período de tempo em que ele é mantido àquela temperatura e a taxa sob a qual ele é resfriado, todos esses parâmetros influenciam na estrutura cristalina, ou seja, influencia diretamente na microestrutura final do material, assim, modificando a microestrutura no momento da solidificação do cordão de solda pode haver uma mudança significativa nas propriedades mecânicas do mesmo e de suas zonas adjacentes visto que estas também foram afetadas. [7]

Há vários modos de se manipular a microestrutura, como, seja na siderúrgica ou no procedimento de soldagem. Dentre os métodos mais comuns de se manipular a microestrutura estão os tratamentos térmicos, devido principalmente a maneira como este se solidifica.

3.2. LINHA DE PRODUÇÃO CONTÍNUA

Devido a vários fatores econômicos presenciados na atualidade, têm-se percebido um crescente desenvolvimento da competitividade entre as empresas. Existe uma maior exigência por parte dos consumidores, por exemplo, na fabricação de estruturas metálicas um dos principais quesitos que os consumidores buscam

está relacionado a prazo de entrega do produto acabado, preço e, principalmente, quanto à qualidade do produto final. A empresa que estiver preparada neste sentido, perante seus concorrentes, conquistará novas fatias do mercado. [10]

“A função produção em uma fábrica consiste nas atividades relacionadas à produção de bens ou serviços, não compreendendo, porém somente as atividades de fabricação ou montagem, mas também a armazenagem e movimentação destes, através de processos organizados que visam a chegada da mercadoria até seu mercado consumidor, atendendo assim a um dos quesitos que é a entrega dos produtos ou serviços no prazo acordado, nem antes nem depois.” [10]

Para uma boa produção, levando em consideração os quesitos que mais são demandados pelos consumidores, prazo, qualidade e preço, deve-se levar em consideração, fatores como mão-de-obra, matéria-prima, máquinas, equipamentos e espaço físico, logo, estes fazem parte de um arranjo PCP–Planejamento e Controle da Produção, estes fatores necessitam do planejamento adequado para diminuir custos e desperdícios, tornando o processo mais eficiente para que os resultados e objetivos da organização sejam atendidos [10]. Pensando nisso, produzir sem planejar pode significar trabalho sem o retorno econômico e financeiro esperado. [11]

A administração da produção envolve uma gama de funções, as quais visam compatibilizar os recursos produtivos da empresa buscando o cumprimento de prazos e redução de custos [11]. Para que a administração de produção possa trazer resultados positivos à organização, devem-se realizar funções de PCP-Planejamento e Controle de Produção, análise de quanto, quando e o que comprar, realizar análises da mão de obra, horas e máquinas necessárias para determinada produção. [12]

O setor de PCP dentro das organizações tem um importante papel pelo fato de atuar como um elo de comunicação entre os diversos departamentos de uma empresa [13]. Dessa forma, torna-se responsável por todo o desenvolvimento e planejamento de programações de produção a fim de desenvolver listas de materiais, auxiliar no desenvolvimento de previsões de vendas, levantamento do que deve ser comprado ou fabricado para o desenvolvimento das solicitações do cliente, alocar a mão-de-obra necessária para cada serviço, maquinário específico, sequência de produção e também pela qualidade dos produtos e serviços ofertados. [10]

A atividade de PCP visa interligar os departamentos internos da organização, a fim de criar meios que viabilizem o aumento da capacidade produtiva e simultaneamente redução dos custos de produção, mas mantendo ou elevando a qualidade dos produtos e serviços prestados. [13]

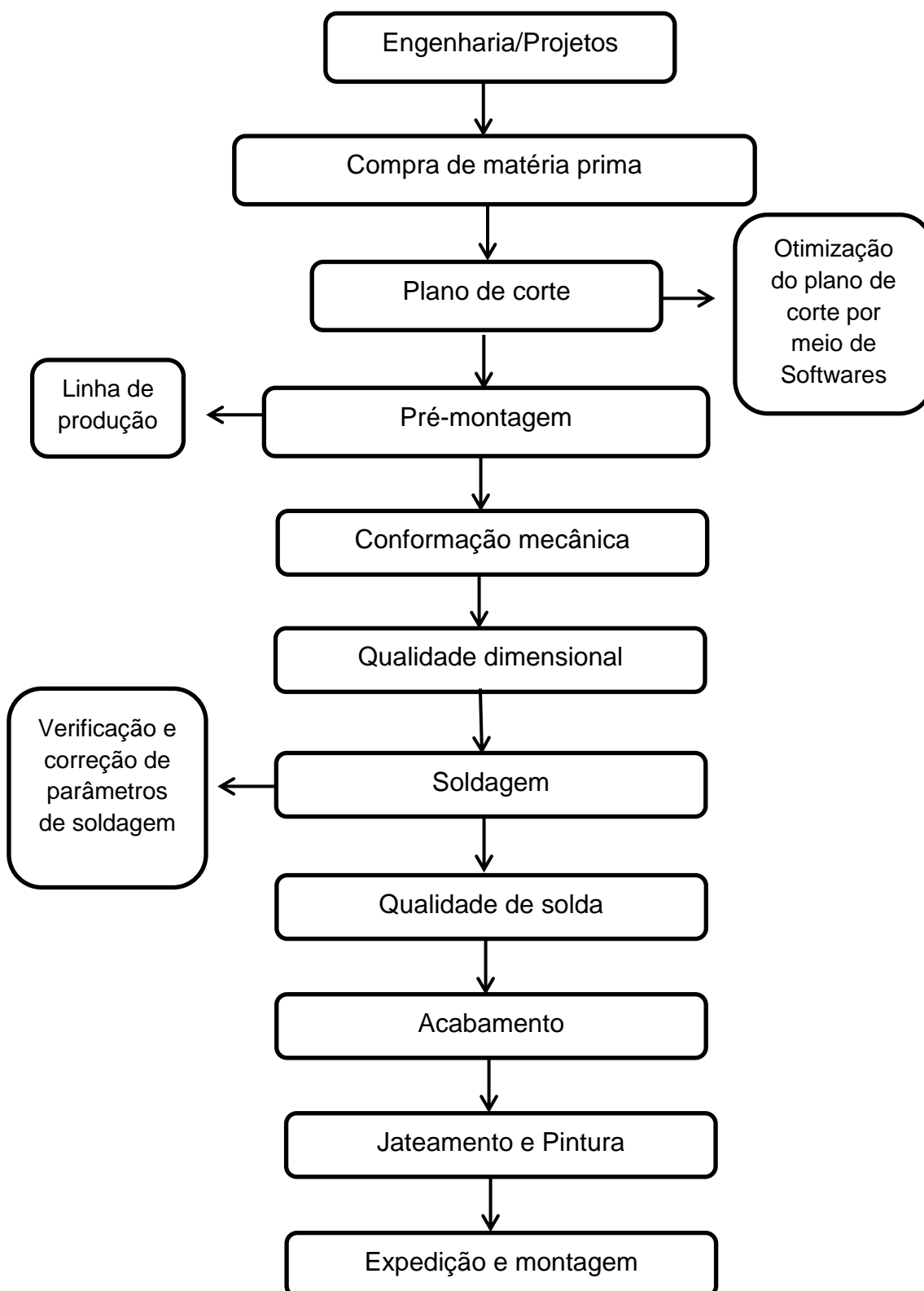
O PCP visto de forma ampla, representa o eixo principal operacional de uma organização e trata-se de uma importante função gerencial dentro de qualquer situação de produção pois constrói a estratégia do sistema de produção. Quando essa área apresenta uma deficiência, percebe-se de forma imediata, na qualidade do produto, na falta de confiabilidade de informações, em um mau aproveitamento dos recursos de produção e não cumprimento de prazos. [14]

Com a utilização de um software de otimização é possível ter um controle de produção mais restrito em relação ao desperdício de matéria-prima, além de que, há uma redução na parte de compra de suprimentos de matérias-primas e uma redução no nível de estoque da fábrica.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico estão apresentados os materiais e a metodologia que foram empregados no desenvolvimento deste trabalho. A Figura 5 apresenta o fluxograma envolvendo as etapas do procedimento experimental que foram desenvolvidas.

Figura 4: Fluxograma do procedimento de fabricação do chute circular



4.1. MATÉRIAS PRIMAS E EQUIPAMENTOS

- Chapa de aço ASTM-A-572 1/2", 3/8" e 5/16";
- Chapa de revestimento CDP466/DXW1307 20mm;
- Chapa de Borracha Shore 40/50 20mm;
- Parafuso sextavado M12 x 60;
- Porca sextavada M12;
- Arruela de pressão B12;
- Calandra de três rolos, hidráulica, cônica CNC Imcar ;
- Dobradeira hidráulica CNC Durma E30300;
- Lixadeira Dewalt – DWE4577;
- Furadeira Radial Clever 23050x16;
- Máquina de corte a plasma CNC Femcor- Linea CordMax;
- Compressor de ar Atlas Copco GA 75 VSD;
- Máquina de solda ESAB Origo Feed 304N;
- Arame de soldagem consumível BOHLER ASME/AWS A5.36 E71T1-C1 1.2 mm;

4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Foi solicitado que as matérias primas usadas fossem caracterizadas quanto a composição química por seus fabricantes; assim, os fabricantes realizaram os devidos ensaios, estes foram apresentados na forma de certificado de garantia de qualidade da matéria-prima.

4.2.1. Composição química

Tabela 1: Composição química do arame de soldagem Bohler E71-C1

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Cu
0,046	0,550	1,500	0,011	0,007	0,020	0,020	0,010	0,010	0,020

Fonte: BOHLER

Tabela 2: Composição química Aço ASTM-A-572

C	Mn	Si	P	S	Al	Cr	Cu	Ti	Mo
0,15	1,36	0,30	0,019	0,007	0,026	0,02	0,01	0,011	0,01
Nb	Ni	V	B	Ca	N				
0,023	0,01	0,005	0,0004	0,0001	0,0054				

Fonte: GERDAU

Tabela 3: Composição química do revestimento CDP.

C	Si	Mn	Cr	B	Fe
4,63	1,25	0,82	24,95	0,36	(-)

Fonte: ESCO

4.3. PROCESSOS EMPREGADOS

Os processos realizados para a fabricação de estruturas metálicas até a etapa de montagem em campo foram:

4.3.1. Engenharia e planejamento do projeto

O planejamento consiste na elaboração de um conjunto de informações básicas que servem de diretrizes para a programação definitiva dos trabalhos na fábrica.

Geralmente, o planejamento é dividido em dois estágios, no primeiro temos um esboço preliminar do planejamento onde neste há proposto esquemas básicos de organização da fábrica, recursos exigidos pelo vulto e a natureza da obra.

No segundo estágio é desenvolvido o planejamento propriamente dito, alicerçados nos dados e informações do esboço preliminar.

Na área da engenharia assim que recebe o contrato, fez-se um estudo cuidadoso e indispensável para o sucesso do processo de fabricação, levou-se em consideração a otimização do uso de mão de obra e equipamentos, tendo em vista que os outros contratos em andamento na fábrica. Em seguida foi elaborado o detalhamento dos itens para execução do plano de corte.

A área de engenharia de fábrica se encarrega de analisar e interpretar o projeto fornecido pelo cliente e de preparar a lista completa de material a ser adquirida pelo departamento de compras a partir deste elabora uma lista de material e insumos de acordo com os projetos de fabricação e solicita a compra.

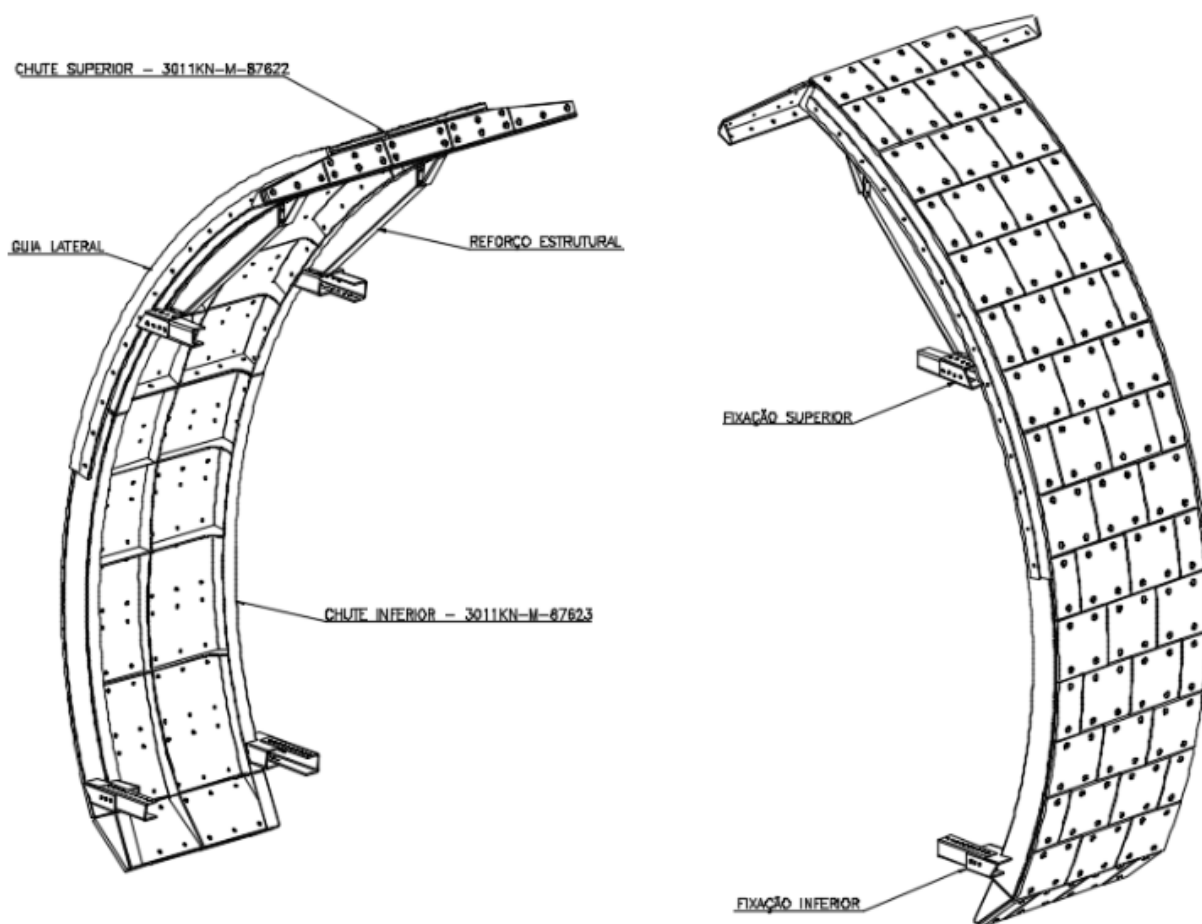
Após a compra do material, a engenharia é responsável por todo o detalhamento do projeto, cada item no projeto deve ser detalhado para o plano de corte, deve ser feito uma montagem em 3D, geralmente utilizando o *Inventor* Ou

Solids Work para passar o processo de montagem a fábrica, além disso, caso exista algum erro de projeto, o cliente deve ser comunicado e com sua autorização executar algumas das possíveis mudanças.

Na figura abaixo está o desenho completo do chute circular que foi fabricado neste trabalho, com ambas as pastes montadas, inferior e superior, além dos conjuntos que foram montados no campo, como o reforço estrutural e o guia lateral.

Figura 5: Vista isométrica do conjunto de chute circular da roda de caçamba.

VISTA ISOMÉTRICA
CHUTE COMPLETO
5/2020



Fonte: Autor

4.3.2. Plano de corte

Feito o detalhamento, e se preciso a planificação de cada item do projeto, se inicia a primeira etapa da fabricação em si do projeto.

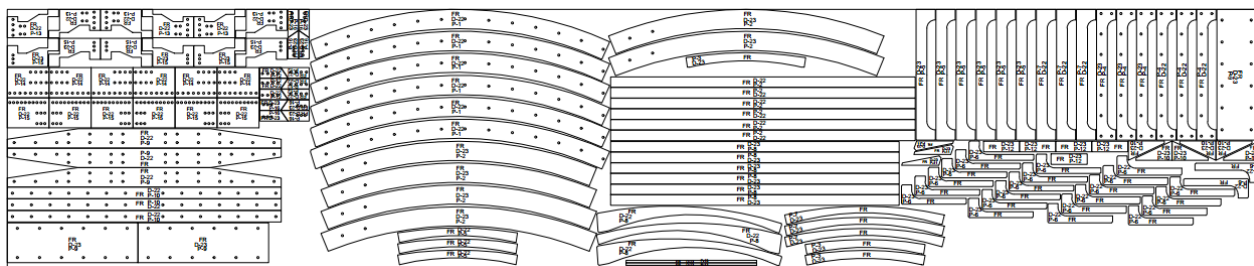
O plano de corte é a maneira no qual cada item vai ser cortado na chapa; assim, é de uma importância grande o arranjo no qual a peça vai se encontrar na

chapa; visto isso, para o corte de chapas desse projeto foi utilizado o software de otimização de corte de chapas *Corte Certo*. Este software se baseia no princípio do método de programação linear de otimização.

O princípio de funcionamento do software é bastante simples: basicamente precisa ter a medida da chapa que vai ser cortada, necessita-se disto visto que pode acontecer do fabricante enviar uma chapa maior ou menor; assim, para otimizar de maneira eficiente a chapa é preciso ter a medida real, então, com auxílio de uma fita métrica foi verificado que esta é uma chapa de 2500x12000 mm. Definido a área da chapa, todos os item que irão nesta chapa são desenhado no AutoCad e adicionado no software; o projeto é renderizado e o programa fornece uma configuração ótima do arranjo de cada item, naquelas dimensões e naquelas dimensões de chapas.

Determinada a configuração ótima para o corte, o projeto é salvo com o arquivo em formato *DWG* ou *ALMA* para facilitar a comunicação com a máquina de corte a plasma CNC. A Figura 7 mostra a configuração ótima de uma chapa de aço ASTM-A-572 de 2500x12000 mm 5/8”.

Figura 6: Plano de corte obtido pelo *Corte Certo Plus* na chapa de aço ASTM-A-572 de 5/8”.



Fonte: Autor

Através do *ALMA* é possível fazer uma simulação de corte, obtendo o tempo de corte e caminho por qual o corte seguirá, assim, a chapa é alinhada, a máquina de corte a plasma é ajustada e o corte da chapa se inicia.

Figura 7: Execução do plano de corte através do corte a plasma CNC.



Fonte: Autor

Já em relação ao plano de corte de perfis, estes foram feitos manualmente através da serra fita e maçarico. O plano de corte para perfis foi baseado no processo de otimização pelo método matemático simplex, com auxílio da ferramenta Excel utilizando o método de análise Solver.

Neste método, basicamente, foi necessário o uso de uma programação linear que teve como o objetivo o teste de possibilidades, regido por suas restrições, na busca de uma solução ótima, neste caso, máximo aproveitamento do perfil e minimização de desperdício de matéria prima.

4.3.3. Pré-montagem

Após todos os itens serem cortados, foi verificado se o corte procedeu como foi designado, verificando as furações, e então, identificando cada item. Na figura 9 é possível ver que cada item possui uma marcação, feita para identificar a posição do item no projeto de maneira a facilitar a montagem.

Figura 8: Marcação e inspeção dos itens a serem montados.



Fonte: Autor

O processo de montagem teve início com a montagem dos itens soltos, ou seja, que serão montados em campo, como guia lateral que não precisa de montagem por ser uma única peça, reforço estrutural que se encontra na figura 10(a) e do suporte de fixação superior e inferior que se encontra na figura 10(c). Após a montagem dos itens soltos, se iniciou a montagem dos chutes. Analisando o desenho verificou-se que ficaria mais complicado montar o chute inferior já com o seu fundo, a partir disto, a montagem do fundo do chute inferior também foi feito de forma separado, este se encontra na Figura 10 (c).

Figura 9: Esquema de procedimento de montagem do chute circular.



Fonte: Autor

Depois, feitos os itens soltos e o fundo do chute inferior para os três chutes fabricados, iniciou-se a etapa de montagem do esqueleto do projeto; foi adotado uma linha de trabalho contínua, definida em reunião da Engenharia com o Planejamento, assim, seguindo os princípios do Fordismo: a fábrica foi dividida em duas etapas, fabricação de chute superior e fabricação do chute inferior, em que cada equipe foi designada a uma tarefa contínua e eficiente.

Figura 10: Montagem do escopo do chute circular.



Fonte: Autor

Definido o plano de montagem, ambas as equipes se designaram a sua função e os chutes foram montados. Após a montagem foi feita a pré-montagem dos chutes superiores e inferiores, como visto na Figura 6, estes são um único projeto, assim, ambas as peças devem se encaixar; feito isso, iniciou-se a etapa de pré-montagem dos revestimentos de desgaste, conforme mostra a Figura 13, esta etapa é de grande importância para garantir ao cliente a qualidade dimensional de nossos produtos fabricados.

Figura 11: Esquema de linha de produção contínua na Fábrica.



Fonte: Autor

Figura 12: Pré-montagem do revestimento CDP.



Fonte: Autor

4.3.4. Conformação mecânica das chapas

Durante a fabricação do chute circular, algumas das chapas tiveram que passar por processos de conformação mecânica especificados no projeto de fabricação, assim, os processos utilizados foram, calandragem e dobramento.

O processo de calandragem foi executado em chapas de aço do item 1 do projeto que é uma chapa de 5/16" com comprimento calandrado de 2711 mm e do item 8 do projeto que é uma chapa de 1/2" com comprimento calandrado de 2580 mm, ambas as chapas com angulação de curvatura de 44°.

Figura 13: Processo de conformação mecânica por calandramento.



Fonte: Autor

O processo de dobra das chapas foi executado: dobras em 90° dos itens 14 e 15 do projeto, sendo estas chapas de aço ASTM-A-572 de 3/8". Foi executado com auxílio de uma dobradeira hidráulica comandada por CNC da marca Durma, modelo E 30300, utilizando 100 t.

Figura 14: Processo de conformação mecânica por dobramento.



Fonte: Autor

4.3.5. Qualidade dimensional

Depois de feita a pré-montagem, o esqueleto projeto encontrou-se todo ponteadado, assim, foi feita a inspeção por completo do projeto, verificando se as furações do chute superior batem com as furações do chute inferior; foi verificado se os furos são realmente para parafusos do tipo M12, esquadrejamento, se houve empeno, se as dimensões estão conforme o projeto, locais de chanfro para posteriores soldagem, feito isso, o projeto é identificado com um selo de qualidade e está liberado para etapa de soldagem.

Após a soldagem, novamente foi feito uma inspeção dimensional para verificar eventuais empenos que podem ter ocorrido durante o processo de soldagem. Caso tenha ocorrido, é iniciado o processo de desempeno com talha, maçarico e jato de água.

4.3.6. Soldagem

As chapas de aço do tipo ASTM-A-572 foram unidas através do processo de soldagem com sólido, utilizando gás ativo CO₂; este tipo de soldagem também é conhecido como GMAW (Gas Metal Arc Welding), sendo realizada de forma manual pelo soldador.

Para realização da soldagem foi utilizado arame sólido BOHLER AWS A5.36 E71T1-C1 com 1,2 mm de diâmetro; este consumível caracteriza-se por conter elementos de liga Mn e Si tornando-o bastante útil no processo de união de aços baixa liga. Foi utilizada a máquina de solda ESAB Origo Feed 304N.

4.3.7. Acabamento

Após a etapa de soldagem, antes de iniciar o processo de jateamento e pintura, a peça foi levada para etapa de acabamento, onde, com auxílio de desbastadoras e retíficas foi retirada qualquer protuberância da peça, marcas de travas, carepas de soldagem e impurezas como, graxas e óleos. Deste modo, a peça apresentou-se uniforme, sem marcas e pronta para ser jateada, pintada e entregue.

4.3.8. Jateamento e pintura

Feito o acabamento final nas peças, iniciou-se a etapa de jateamento das peças. O jateamento das peças sempre foi feito a favor do vento. Além da direção do vento, outros fatores climáticos são de suma importância para o processo de jateamento; portanto é essencial saber as condições climáticas antes de iniciar um jateamento, visto que alguns fatores climáticos podem interferir no processo, como por exemplo, a temperatura ambiente, umidade relativa do ar: neste caso não se

deve jatear peças se a umidade relativa do ar estiver acima de 85%; outro fator é o ponto de orvalho: se as superfícies estiverem a uma temperatura mais baixa que 3 °C acima do ponto de orvalho, não se deve jatear.

Neste trabalho, onde se fabricou um chute circular de mineração, o processo de jateamento foi do tipo Grau Sa 2 ½ segundo a norma SSPC-SP-10 - limpeza por jateamento abrasivo ao metal quase branco. Neste processo as carepas de laminação, a ferrugem e o material estranho são removidos. Assim, a superfície é limpa com ar comprimido limpo e seco.

Antes da etapa de jateamento as peças foram submetidas a uma inspeção visual com a finalidade de averiguar a existência de óleo, graxa, gorduras, tintas ou argamassas; em todo o material foi feita a inspeção.

Feita a inspeção, iniciou-se o jateamento com granalha de aço; este tipo de jateamento tem como uma característica de alta reciclagem, pequenas gerações de pós, alta produtividade, além de que, remove a corrosão do metal até o material branco e produz um padrão de ancoragem que melhora a aderência na etapa da pintura.

Após o jateamento foi feita a inspeção da peça e com auxílio de um rugosímetro: foi verificada a rugosidade da peça, para averiguar se a rugosidade da peça está adequada à pintura.

Figura 15: Chute circular superior após etapa de Jateamento.

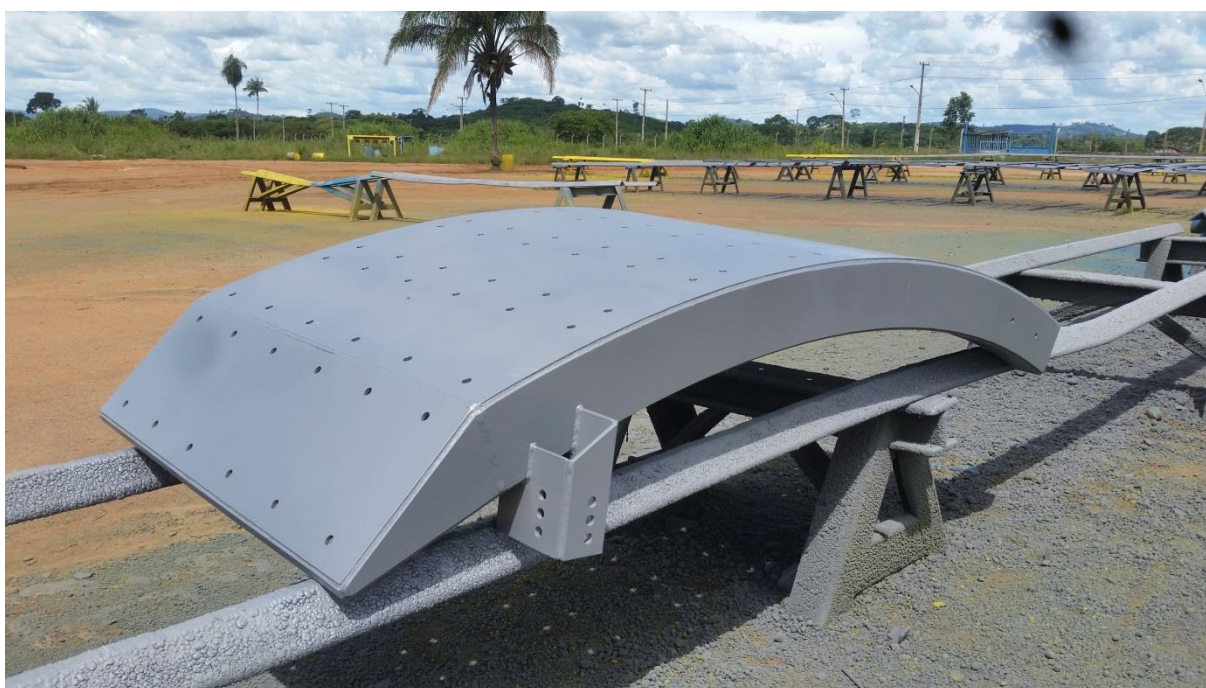


Fonte: Autor

Após o jateamento e inspeção das peças, estas seguiram à etapa de pintura; segundo o pedido do cliente, o filme de tinta Epoxi modificado Primer dois componentes deve conter 125 μm de espessura e o filme de tinta EpoximastiC modificado dois componentes, 140 μm de espessura.

Assim, a Figura 16 mostra a pintura com tinta primer. Após a secagem da tinta foi feita uma inspeção do filme de tinta com auxílio de um Elcometer em 10 pontos diferentes da peça.

Figura 16: Chute Circular inferior após etapa de Pintura Primer.



Fonte: Autor

Após 4h de secagem da pintura de primer, a peça já se encontra pronta para ser pintado com a cor especificada na norma. Neste trabalho como a peça fabricada foi um chute de mineração, a norma diz que este tem que ser de cor Azul – Munsell 2,5 PB 5/8, tinta EpoximastiC modificado, dois componentes. A norma também diz que para este tipo de peça se exige, no mínimo, um filme de tinta de 265 μm , sendo deste, 140 μm de tinta Azul – Munsell. Assim como na inspeção do primer, com o auxílio de um Elcometer ou microtester foi possível ter um controle da espessura do filme de tinta final na peça.

Figura 17: Chute Circular inferior após a pintura com tinta Epoxi Azul Munsell.



Fonte: Autor

4.3.9. Expedição e montagem

A expedição do produto foi feita RQD 029/027 – Romaneio de Saída de Produtos Fabricados, sendo que o produto a ser embarcado está aprovado conforme o selo de identificação.

Este documento tem como objetivo documentar todos os produtos fabricados e embarcados pela Empresa, no caso específico, Integram Const. Comércio Ltda. e é o processo final na sequência de fabricação de um produto.

Após o relatório final de pintura o controle de qualidade deverá preencher o RQD 074/027 – Check List Final em toda a documentação para que nenhum documento de inspeção ou controle deixe de ser feito tomando base o RDQ 026/027 – Plano Geral de Inspeção, além disso, liberação final da Ordem de Serviço após a inspeção visual final.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS

As Tabelas 1 a 3 mostraram as composições químicas, respectivamente do arame de soldagem, da chapa de aço e do revestimento CDP. Observa-se que, em relação à Tabela 2, conforme a solicitação de compra, o aço de fato é o ASTM-A-572, em que uma de suas principais características é a presença de Mn e Si na composição química, tornando-os aços carbono de baixa liga. Em relação a Tabela 1 pode-se observar que a composição do arame de soldagem utilizado na junção das chapas é bem compatível, o que acarreta em uma fácil união e de excelente qualidade.

No processo de soldagem, como gás de proteção do arco, foi usado gás ativo de CO₂ com vazão de 15L/min. Foi empregada uma corrente contínua de 300 A, com polaridade positiva e voltagem de 32 V. O processo foi realizado manualmente com velocidade de soldagem de aproximadamente 0.5 m/min e extensão do eletrodo com cerca de 10 mm. Estes parâmetros resultam em um aporte térmico de aproximadamente 104 KJ/min.

Em relação a composição química do revestimento CDP, destaca-se a grande quantidade de Cr e C, levando a formação de carbetos de cromo duro, composto que possui uma elevada resistência ao desgaste por abrasão.

5.2. APLICAÇÃO DE SOFTWARE DE OTIMIZAÇÃO CORTE CERTO PLUS NO CORTE DE CHAPAS

Com a utilização do software de corte de chapas Corte Certo Plus foi se obteve a configuração do plano de corte que foi mostrado na Figura 7. Nesta configuração o aproveitamento de chapa foi de 89%, reduzindo a perda de material e sucata.

Antes da utilização do software, o plano de corte inicial que era usado na fábrica, de forma manual, utilizava cerca de 4,5 chapas de 2500 x 12000 mm com o aproveitamento máximo de 61%, ou seja, seria preciso comprar 5 chapas de aço ASTM-A-572, sendo esta última com o aproveitamento de 32%. Portanto, além de um mal aproveitamento da chapa também se teria uma grande quantidade de perda para sucata. Com o emprego do software, se reduziu o número de chapas 5/8" de 5 para 3 chapas, com o aproveitamento máximo de 89% da chapa.

5.3. APLICAÇÃO DE SOFTWARE DE OTIMIZAÇÃO SOLVER – EXCEL NO CORTE DE PERFIS

Juntamente com a gerência de fábrica e planejamento, foi feito um levantamento de desperdício de matéria prima para sucata, no qual foi observado que a maior perda para sucata na fábrica era de perfis, sejam estes do tipo “U”, “I”, “L”, “W” barras chatas, e tubos. Estas perdas aconteciam, geralmente, com um plano de corte mal planejado, ou até mesmo corte executado de maneira errada.

A partir disto, foi feito um planejamento de execução de aproveitamento no corte de perfis utilizando otimização pelo método matemático simplex; a primeira execução do plano de corte com método matemático foi na fabricação 50 cavaletes-rolos para conjunto da transportadora.

Basicamente, o processo consistiu em otimizar o corte de um perfil “U” que é o componente principal dos cavaletes; este eram de 104 mm x 7.95 mm ou seja, perfis de 2° alma.

A modelagem utilizada na programação para obter a minimização de perda no corte de perfis foi:

Função Objetivo Min Z = Soma(X1:X73)

Restrições:

$$\text{Equa.1} = 10 \cdot X_{11} + 11 \cdot X_{12} + 10 \cdot X_{13} + 9 \cdot X_{14} + 8 \cdot X_{15} + 7 \cdot X_{16} + 6 \cdot X_{17} + 5 \cdot X_{18} + 4 \cdot X_{19} + 3 \cdot X_{20} + 2 \cdot X_{21} + X_{22} + 9 \cdot X_{24} + 8 \cdot X_{25} + 7 \cdot X_{26} + 6 \cdot X_{27} + 5 \cdot X_{28} + 4 \cdot X_{29} + 3 \cdot X_{30} + 2 \cdot X_{31} + X_{32} + 9 \cdot X_{33} + 8 \cdot X_{34} + 7 \cdot X_{35} + 6 \cdot X_{36} + 5 \cdot X_{37} + 4 \cdot X_{38} + 3 \cdot X_{39} + 2 \cdot X_{40} + X_{41} + 8 \cdot X_{42} + 7 \cdot X_{43} + 6 \cdot X_{44} + 5 \cdot X_{45} + 4 \cdot X_{46} + 3 \cdot X_{47} + 2 \cdot X_{48} + X_{49} + 8 \cdot X_{51} + 7 \cdot X_{52} + 6 \cdot X_{53} + 5 \cdot X_{54} + 4 \cdot X_{55} + 3 \cdot X_{56} + 2 \cdot X_{57} + X_{58} + 6 \cdot X_{60} + 5 \cdot X_{61} + 4 \cdot X_{62} + 3 \cdot X_{63} + 2 \cdot X_{64} + X_{65} + 6 \cdot X_{67} + 5 \cdot X_{68} + 4 \cdot X_{69} + 3 \cdot X_{70} + 2 \cdot X_{71} + X_{72} \geq 100$$

$$\text{Equa.2} = 10 \cdot X_1 + 9 \cdot X_2 + 8 \cdot X_3 + 7 \cdot X_4 + 6 \cdot X_5 + 5 \cdot X_6 + 4 \cdot X_7 + 3 \cdot X_8 + 2 \cdot X_9 + X_{10} + X_{11} + 2 \cdot X_{24} + 3 \cdot X_{25} + 4 \cdot X_{26} + 5 \cdot X_{27} + 5 \cdot X_{28} + 6 \cdot X_{29} + 7 \cdot X_{30} + 8 \cdot X_{31} + 9 \cdot X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{40} + X_{41} + 2 \cdot X_{42} + 2 \cdot X_{43} + 2 \cdot X_{44} + 2 \cdot X_{45} + 2 \cdot X_{46} + 2 \cdot X_{47} + 2 \cdot X_{48} + 2 \cdot X_{50} + 3 \cdot X_{51} + 3 \cdot X_{52} + 3 \cdot X_{53} + 3 \cdot X_{54} + 3 \cdot X_{55} + 3 \cdot X_{56} + 3 \cdot X_{57} + 3 \cdot X_{58} + 3 \cdot X_{59} + 4 \cdot X_{60} + 4 \cdot X_{61} + 4 \cdot X_{62} + 4 \cdot X_{63} + 4 \cdot X_{64} + 4 \cdot X_{65} + 4 \cdot X_{66} + 5 \cdot X_{67} + 5 \cdot X_{68} + 5 \cdot X_{69} + 5 \cdot X_{70} + 5 \cdot X_{71} + 5 \cdot X_{72} + 5 \cdot X_{73} \geq 200$$

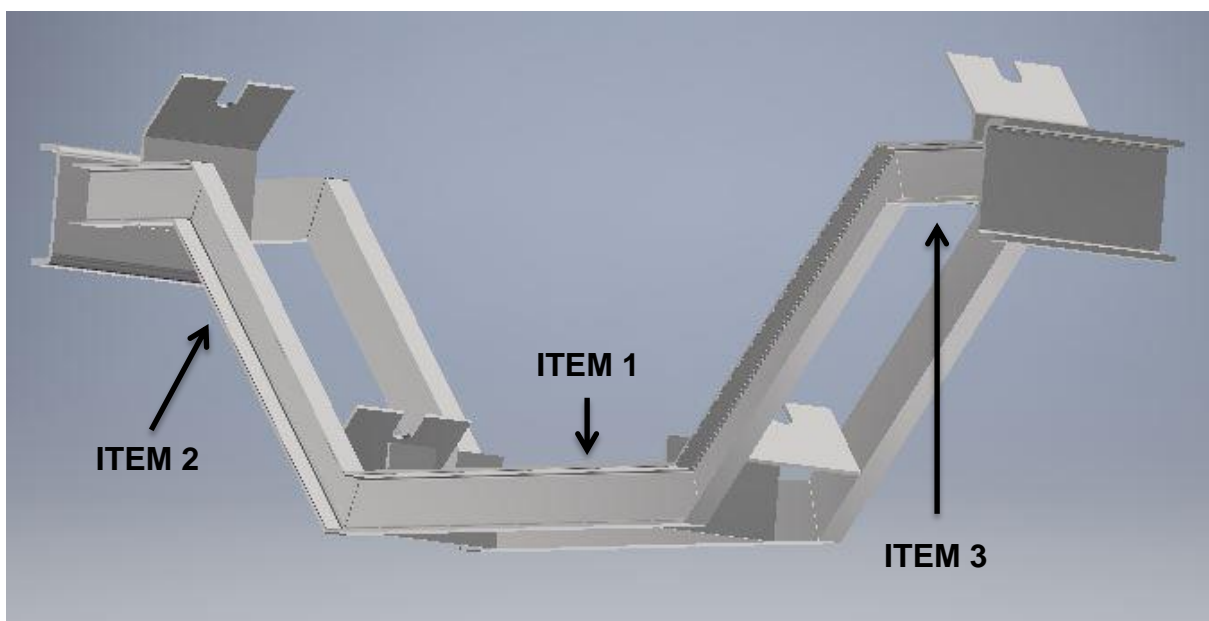
$$\begin{aligned} \text{Equa.3} = & X1 + 5 \cdot X2 + 9 \cdot X3 + 13 \cdot X4 + 17 \cdot X5 + 22 \cdot X6 + 26 \cdot X7 + 30 \cdot X8 + 34 \cdot X9 + 39 \cdot X10 + 2 \cdot X11 \\ & + 3 \cdot B12 + 6 \cdot X13 + 10 \cdot X14 + 14 \cdot X15 + 17 \cdot X16 + 21 \cdot X17 + 25 \cdot X18 + 28 \cdot X19 + 32 \cdot X20 + 36 \cdot X21 \\ & + 39 \cdot X22 + 43 \cdot X23 + 2 \cdot X24 + X25 + 3 \cdot X28 + 3 \cdot X29 + 2 \cdot X30 + 2 \cdot X31 + BX2 + 6 \cdot X33 + 9 \cdot X34 + 13 \\ & \cdot X35 + 17 \cdot X36 + 20 \cdot X37 + 23 \cdot X38 + 28 \cdot X39 + 31 \cdot X40 + 35 \cdot X41 + 5 \cdot X42 + 9 \cdot X43 + 13 \cdot XB44 + 1 \\ & 6 \cdot X45 + 20 \cdot X46 + 23 \cdot X47 + 27 \cdot X48 + 31 \cdot X49 + 34 \cdot X50 + X51 + 5 \cdot X52 + 8 \cdot X53 + 12 \cdot X54 + 16 \cdot B \\ & 55 + 19 \cdot X56 + 23 \cdot X57 + 26 \cdot X58 + 30 \cdot X59 + 4 \cdot X60 + 8 \cdot X61 + 11 \cdot X62 + 15 \cdot X63 + 19 \cdot X64 + 22 \cdot X \\ & 65 + 26 \cdot X66 + 3 \cdot BX8 + 7 \cdot X69 + 11 \cdot X70 + 14 \cdot X71 + 18 \cdot X72 + 22 \cdot X73 \geq 200 \end{aligned}$$

Restrições de Não Negatividade:

$$X1, X2, X3, X4 \dots X69, X70, X71, X72, X73 \geq 0$$

A Tabela 4 demonstra o tamanho necessário para os perfis, e suas quantidades para um cavalete de rolos e para o projeto total.

Figura 18: Representação em 3D do Cavalete de Rolos.



Fonte: Autor

Tabela 4: Procedimento de fabricação de cavaletes.

Item	Quant. 1 cavalete	Largura das abas (pol)	Espessura da alma (mm)	Comprimento (mm)	Quant. Peças totais
1	2	4"	6.57	1005	100
2	4	4"	6.57	1175	200
3	4	4"	6.57	275	200

Fonte: Autor

A partir da Tabela 4, iniciou o projeto de otimização do perfil, com a elaboração de todas as configurações possíveis para o corte; como o corte de perfis "U" é feito na serra fita, e esta possui uma perda de 2 mm por corte, esta perda foi adicionada no projeto de otimização; depois disto, tendo em vista a minimização de desperdício, ou seja, o máximo aproveitamento do perfil no corte, através do Solver se obteve os resultados.

Vinte e três perfis de 12000 mm foram cortados seguindo a configuração de corte X_{31} , conforme a tabela 5.

Tabela 5: Configuração de corte de Perfis X_{31} .

23 Perfis na configuração X_{31}	Item 1	Item 2	Item 3	Compr. do Perfil (mm)	Sobra (mm)
Quant. de Peças	2	8	2	12000	16
Tamanho da Peça (mm)	1005	1175	275		
Perda para o corte na serra (mm)	2*2	8*2	2*2		
Compr. Total (mm)	2014	9416	554		

Fonte: Autor

Um perfil de 12000 mm foi cortado seguindo a configuração de corte X₂₁, conforme a tabela 6.

Tabela 6: Configuração de corte de Perfis X₂₁.

1 Perfil na configuração X₂₁	Item 1	Item 2	Item 3	Compr. do Perfil (mm)	Sobra (mm)
Quant. de Peças	2	-	36	12000	14
Tamanho da Peça (mm)	1005	-	275		
Perda para o corte na serra (mm)	2*2	-	36*2		
Compr. Total (mm)	2014	-	9972		

Fonte: Autor

Nove perfis de 12000 mm foram cortados seguindo a configuração de corte X₄₄, conforme a tabela 7.

Tabela 7: Configuração de corte de Perfis X₄₄.

9 Perfis na configuração X₄₄	Item 1	Item 2	Item 3	Compr. do Perfil (mm)	Sobra (mm)
Quant. de Peças	6	2	13	12000	3
Tamanho da Peça (mm)	1005	1175	275		
Perda para o corte na serra (mm)	6*2	2*2	13*2		
Compr. Total (mm)	6042	2354	3061		

Fonte: Autor

Para a fabricação de 50 cavaletes conforme Figura 19, foi necessário a compra de 33 perfis de 12000 mm, utilizando as configurações que foram consideradas ótimas pelo Solver a quantidade de sobra após a fabricação de 50 cavaletes foi de 409 mm com aproveitamento total de perfis de 99.89%.

5.4. APLICAÇÃO DE MÉTODO PRODUTIVO DE MONTAGEM

A solicitação de fabricação constava que fosse fabricado 6 chutes circulares completos, sendo três destes fabricados para o dia 25/01/2018 e outros três para o dia 25/02/2018, data de suas respectivas paradas preventivas da recuperadora.

Durante a fabricação dos primeiros chutes houve problemas com a logística de entrega por parte da empresa Gerdau em virtude da chuva nas estradas; assim, após a chegada de toda a matéria prima, o tempo gasto segundo o planejamento de montagem para a fabricação de três chutes circulares, levando em consideração outras obras acontecendo simultaneamente com a obra do chute, seria de no máximo 4 dias. A partir disto, com informações sobre os principais erros de planejamento de fabricação de uma obra passada semelhante, iniciou a fabricação dos chutes.

Neste planejamento o principal fator levado em consideração foi a competência dos caldeireiros e a linha de produção. Devido esta obra ter certo grau de dificuldade pelo fato de algumas peças serem em arcos, outras precisarem dobrar, além de sua montagem ser complexa, outro fator importante na montagem foi o uso de marcações de itens e separação destes por etapas na montagem. No planejamento, uma equipe foi selecionada para fabricar o escopo do projeto, que é considerada a etapa mais complexa: os caldeireiros selecionados foram aqueles que mais tinham *know-how* e estes eram responsáveis apenas pela montagem do escopo. Montado este, era passado para a etapa de pontiamento da chapa calandrada que é uma etapa simples; em seguida era feita a pré-montagem do revestimento e pré-montagem do conjunto completo do chute, assim, seguindo uma linha contínua de produção foi fabricado os três chutes circulares em apenas um dia, entregue no prazo e com o selo de qualidade da empresa.

6. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- As composições compatíveis entre o arame de soldagem e a chapa de aço resultaram visualmente em um ótimo cordão de solda;
- A implementação do software Corte Certo Plus a otimização de chapas teve um ótimo aproveitamento e o dinheiro investido na compra do software trouxe um retorno em curto prazo para a empresa.
- O planejamento de otimização no corte de perfis trouxe um excelente aproveitamento dos perfis, reduzindo custos com compra desnecessária e contribuindo com o meio ambiente reduzindo a quantidade de sucata.
- A linha de produção adotada na fabricação dos chutes circulares teve um bom desempenho quando comparados com dados de planejamentos antigos, além de uma boa fabricação estes tiveram uma boa qualidade, satisfazendo o cliente.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS

- Otimização do planejamento de produção de toda a fábrica.
- Analisar a microestrutura das matérias-primas estudadas neste trabalho, bem como avaliar a composição química dos aços assim como resistência mecânica e tribologia de desgaste.
- Caracterização do revestimento utilizado CDP e testes de tribologia .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GROOVER, MIKELL P. **Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems**. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [2] KALPAKJIAN, S. **Manufacturing Engineering & Technology**. 4th ed. Addison Wesley, 2000.
- [3] CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica: Vol II**. 2th. ed. McGraw-Hill. 1986.
- [4] SILVA, J. S. **Siderurgia**. 1th. ed. Instituto Federal do Pará. 2011.
- [5] BRESCIANI, E. **Conformação plástica dos metais**. 6th. ed. EPUSP. 2011.
- [6] ESAB., **MIG/MAG, Welding Handbook**. ESAB Welding & Cutting Products. 1th. Ed. 2005.
- [7] ESAB., **Metalurgia da Soldagem**. ESAB Welding & Cutting Products. 1th. Ed. 2008.
- [8] **Welding Handbook**. 8th. ed. American Welding Society.
- [9] CHIAVERINI, V. **Tratamentos térmicos das ligas metálicas**. 1th. ed. ABM Brasil. 2008.
- [10] GOMES, J. A. **Planejamento e controle da produção (PCP): ferramenta estratégica de competição em pequenas empresas**. Faculdade de tecnologia e ciências do Norte do Paraná. 2014
- [11] CHIAVENATO, I. **Teoria geral da Administração**. Elsevier Editora Ltda. 7th. ed. 2004.
- [12] LARA JR., N. C. **Planejamento e Controle de produção**. São Paulo: Ática, 2th. ed. 1990.
- [13] ROCHA, D. **Fundamentos técnicos da Produção**. São Paulo: Makron Books, 1995.
- [14] MEREDITH, J. R., SHAFER, S. M. **Administração da produção para MBAs**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2002.

[15] COSTA, V. M. **Análise da tenacidade de uma junta soldada de um aço resistente à abrasão da série 450 HB.** 2015. 92 p. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.