



Sara Isabel dos Santos Jacinto

Análise e redução de pontas de sucata no sector de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Química, apresentada ao Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

julho/2016



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Sara Isabel dos Santos Jacinto

Análise e redução de pontas de sucata no sector de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Química, apresentada
ao Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Coimbra

Orientador:

Professor Doutor Marco Paulo Seabra Reis

Coorientadores:

Engenheiro José António Gonçalves dos Santos

Engenheiro Nélcio Ricardo Sebastião Mourato

Colaboração institucional:

Böllinghaus Steel, S.A.



Coimbra

2016

• U •



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

“I have noticed that even people who claim everything is predetermined and that we can do nothing to change it, look before they cross the road”

Stephen Hawking

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Marco Seabra por toda a dedicação e excelente capacidade de orientação.

Agradeço ao Engenheiro Nélio Mourato pela ajuda prestada durante o estágio curricular e conhecimento partilhado.

Agradeço ao Engenheiro José Santos por partilhar a sua opinião.

Agradeço aos colegas do departamento e trabalhadores da Böllinghaus Steel pela paciência e apoio concedido.

Agradeço ao colega e amigo Rui Telmo pelo incentivo.

Agradeço aos meus colegas e amigos, com quem pude partilhar tristezas e alegrias nestes últimos anos. Aos mais próximos, o meu muito obrigada do fundo do coração.

Agradeço a toda a minha família pela atenção.

Por tudo e a todos, o meu muito obrigada.

RESUMO

Esta dissertação foi realizada na sequência de um estágio efetuado na Böllinghaus Steel S.A., uma empresa de produção de perfis de aço inoxidável. A sua finalidade principal é avaliar a possibilidade de reduzir a percentagem de sucata produzida no sector de estiragem, através de um estudo Seis Sigma baseado na metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*). Este tema tem sido alvo de vários estudos realizados ao longo do tempo no sentido de reduzir o desperdício associado à sua manufatura.

A estiragem é um processo de acabamento dos perfis de aço, o qual consiste na passagem da barra através de uma fieira com dimensões tais que permite obter menor tolerância dimensional, maior resistência mecânica, bem como melhores características de superfície.

Seis Sigma é uma filosofia de gestão, criada pela Motorola nos anos 80 e popularizada mais tarde pelas empresas AlliedSignal e General Electric. É usada pelas organizações com o intuito de melhorar a sua produtividade e lucro, através da identificação de oportunidades de melhoria e redução de desperdícios. Esta metodologia decompõe-se em cinco etapas principais.

O procedimento consistiu, numa primeira fase, na identificação de áreas com interesse para a empresa e que são suscetíveis de execução de ações de melhoria com impacto financeiro. Nesta fase, decidiu-se rastrear a secção de estiragem, particularmente as pontas de sucata, definindo como meta a redução em 3% da percentagem de sucata de estirados até 31 de maio de 2016, sendo que o ponto de partida é 4,8%. Esta redução corresponde a 24 k€.

Na fase de medição, foram recolhidas amostras de pontas de sucata de vários perfis isoladamente, a partir das quais se recolheu informação sobre a distribuição do seu comprimento perante as principais fontes de variação do processo (equipamento, dia, turno, operador, dimensão antes e após estirar). Tal permitiu identificar o seu comportamento e estudar a possibilidade de redução de sucata devido a pontas. As medições focaram-se no registo de valores dos comprimentos das barras finais para cliente e das pontas da frente e de trás (total e considerado útil), assim como do vinco ou fresa.

Na fase de análise, estudou-se a existência de tendências e o comportamento para as várias variáveis, onde se concluiu que perfis diferentes têm comportamentos distintos, o mesmo acontecendo com perfis semelhantes de *grades* diferentes. Esta variação pode ser gerada devido à elevada variabilidade associada ao processo. A partir desta análise, verificou-se que a maioria das causas identificadas estão relacionadas com erro humano, o que é considerado normal uma vez que o processo é fortemente dependente de ações realizadas pelo operador pelo que, numa hipotética situação de automação, alguns dos erros detetados poderiam ser eliminados.

Além disto, foram procuradas soluções para os problemas reconhecidos e foi estimada a percentagem de sucata mínima tendo em conta o comprimento da ponta considerado bom segundo os requisitos do cliente. A partir desta estimativa verificou-se que a redução possível não apresenta grande impacto financeiro, sendo imprescindível, numa primeira fase, a redução da variabilidade das barras de modo a obter uma previsão melhor ajustada ao real. Concluiu-se também que muita da variabilidade observada na estiragem está associada à metodologia usada em processos anteriores, visto se situar a jusante da cadeia de produção.

Por fim, foi definida uma metodologia baseada em SPC (*Statistical Process Control*) que permite a deteção de situações que levem à destabilização do processo, as quais devem ser alvo de estudo com o intuito de serem encontradas ações capazes de evitar casos semelhantes.

Na fase de Melhoria, foram delineadas metodologias e ações com interesse a nível de redução de sucata ou estabilidade do processo. Para finalizar o *roadmap* de Seis Sigma seria necessário a normalização do processo recorrendo a metodologias de controlo. No entanto, este estudo não alcançou a etapa de controlo, deixando apenas oportunidades em aberto e recomendações para o futuro.

Assim, o objetivo definido inicialmente não foi satisfeito, sendo que a percentagem de sucata atingida a 31 de maio foi 4,79%. O perfil no qual foi implementada a melhoria apresentou uma variação negativa, sendo favorável para o projeto. No entanto, a razão desta variação deve ser questionada, pois pode estar associada à variabilidade do processo. Assim, esta redução deve ser validada a longo prazo.

Palavras-Chave: Seis Sigma; aço inoxidável; estiragem; sucata; melhoria de processos.

ABSTRACT

The present master's thesis was created under the scope of an internship at Böllinghaus Steel S.A., a stainless steel manufacture company. Its main goal was to investigate the possibility of minimizing the amount of scrap produced at the cold-drawing division, by a Six Sigma study based on DMAIC methodology (Define, Measure, Analyse, Improve, Control). Several studies have been made over time on this specific topic, aiming to reduce waste associated with stainless steel production.

Cold drawing is a finishing process of steel profiles, which the steel bar is drawn through a die hole, stretching into a desired thickness. It results in improved tensile strength, close tolerances as well as a bright and smooth surface.

Six Sigma is a management philosophy. Motorola developed it in the 80's, having been popularized by AlliedSignal and General Electric. It is meant for enterprises targeting to improve their productivity and profit over recognizing improvement opportunities and decreasing waste. The scheme is divided into 5 main stages.

The first stage of the procedure consists in looking for areas the company finds relevant and are liable to improvement actions with financial impact. In this step, the cold-draw section was inquired, with the purpose of reducing scrap generation by 3%, wherein the starting point is 4,8%. It corresponds to 24 k€ in annual gains up until 31st of May 2016.

In the measurement phase, scrap samples from distinct profiles were collected separately, which were used to get information on the length distribution and relate it to the main sources of process variability (equipment, day, shift, operator, and size, pre and post drawing). Thanks to this, it was possible to identify the system behaviour and look into the potential for decreasing the amount of scrap. The measurements focused on the recording the length values for the finished bars, its front and back tips (total and useful size).

Advancing to the next step, analysis, the variables' behaviour and the possibility of trends were studied. Conclusion was that different profiles exhibit different patterns and the same happens to similar profiles with different grades. This fluctuation may be due to the inherent

high variability of the process. From this analysis, it's learned that main sources of variability are related to human error, deemed normal, considering the fact that the process is strongly dependent on the operator's actions. In a hypothetical use of automation, some of the detected errors could be cut out.

Apart from this, solutions for the known issues were sought and minimum scrap percentage was estimated. The estimation was made following the customer's solicitations on the bar length. From this, it was confirmed that the possible reduction doesn't have a great financial impact, being absolutely necessary the minimization of bar variability initially, thus obtaining a prediction closer to the reality. It was also concluded that a lot of the variability in cold-drawing relates to methodologies used in previous processes, since it's located after the production section.

Finally, to further detect situations that contribute to process disturbances, it was established a Statistical Process Control based method. These situations must be investigated and understood, in order to identify actions to avoid similar cases.

On the Improvement phase, strategies with relevance regarding scrap reduction or process stability were planned. In order to end the Six Sigma roadmap, a process normalization using control methodologies would be required. However, the study didn't go that far, only pointing possible opportunities and future recommendations.

Thus, the original goal was not fulfilled since the scrap percentage on 31st of May 2016 was 4,79%. The profile to which was applied the improvement action had a negative variation, being favourable to the project. Nevertheless, the reason for this variation should be questioned, as it can be associated to process variability. Thereby, this reduction must be validated on long term.

Keywords: Six Sigma; stainless steel; cold drawing; scrap; process improvement.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABELAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
NOMENCLATURA.....	xxiii
SIGLAS	xxiii
SÍMBOLOS.....	xxiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo e motivação	2
1.2. Böllinghaus Steel S.A. - A Empresa	3
1.3. Estrutura da dissertação.....	5
2. SEIS SIGMA	7
2.1. Fase I – Definir	9
2.2. Fase II – Medir.....	9
2.3. Fase III – Analisar	10
2.4. Fase IV – Melhorar.....	11
2.5. Fase V – Controlar.....	12
3. ESTIRAGEM DE PERFIS DE AÇO INOXIDÁVEL	15
3.1. Aço Inoxidável	15
3.2. Aplicações	17
3.3. Produção de Estirados.....	19
3.3.1. Estiragem	21
3.3.2. Material estirado.....	23
3.3.3. Defeitos.....	23
4. CASO DE ESTUDO: REDUÇÃO DE SUCATA DEVIDO A PONTAS	25
4.1. Fase I – Definir	25

4.1.1.	Especificação do problema e objetivos.....	25
4.1.2.	Delimitação das fronteiras do sistema	26
4.1.3.	Caracterização do processo.....	26
4.1.4.	Recolha e análise da voz do cliente, VOC	27
4.1.5.	Definição dos aspetos críticos para o cliente	27
4.1.6.	Análise de <i>stakeholders</i>	27
4.1.7.	Definição da equipa de melhoria	28
4.1.8.	Definição detalhada do plano de melhoria	28
4.2.	Fase II – Medir.....	29
4.2.1.	Seleção e definição dos KPIs	29
4.2.2.	Análise dos dados referentes a 2015	29
4.2.3.	Seleção e descrição do sistema de recolha de dados.....	41
4.3.	Fase III – Analisar	44
4.3.1.	Diagrama de blocos de decisões de corte.....	44
4.3.2.	Análise das medições	48
4.3.3.	Deteção de situações que devem ser alvo de análise	64
4.4.	Fase IV – Melhorar.....	66
4.5.	Fase V – Controlar.....	75
5.	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	77
	REFERÊNCIAS	79
	Anexos.....	81
	Anexo I - Processo de estiragem	83
	1.1. Diagramas SIPOC para cada etapa do processo de estiragem	83
	1.2. Condições usadas nas linhas de estiragem	85
	1.3. Esquema global do processo de produção de estirados.....	86
	Anexo II - Organograma da empresa.....	87
	Anexo III - Planeamento do projeto de melhoria.....	89
	III.1. Plano de melhoria	89
	III.2. Project Charter	90
	Anexo IV - Análise de dados de sucata referentes a 2015.....	91

IV.1. CD1 - Perfis Retangulares	91
IV.2. CD1 - Perfis Quadrangulares	96
IV.3. CD1 - Perfis Hexagonais	98
IV.4. CD2 - Perfis Retangulares	100
IV.5. CD2 - Perfis Quadrangulares	103
IV.6. CD2 - Perfis Hexagonais	105
Anexo V - Ficha de Medição	107
Anexo VI - Medições realizadas	109
VI.1. CD1 - 4571 RET 30x4	109
VI.2. CD1 - 4305 RET 35x15	110
VI.3. CD1 - 4307 RET 40x10	111
VI.4. CD1 - 4307 RET 50x15	112
VI.5. CD2 - 4305 RET 50x40	113
VI.6. CD2 - 4307 RET 80x20	113
VI.7. CD2 - 4305 QUA 38,10	114
VI.8. CD2 - 4104 QUA 40	114
VI.9. CD2 - 4307 QUA 40	115
VI.10. CD2 - 4305 QUA 50	116
VI.11. CD2 - 4307 QUA 50	117
Anexo VII - Modelo descritivo do processo de previsão do produto final	119
VII.1. Receção da matéria-prima	120
VII.2. Corte da matéria-prima	120
VII.3. Corte da laminagem	121
VII.4. Corte da Estiragem	122
Anexo VIII - Análise estatística da informação recolhida	123
VIII.1. CD1 - 4571 RET 30x4	123
VIII.2. CD1 - 4305 RET 35x15	126
VIII.3. CD1 - 4307 RET 40x10	127
VIII.4. CD1 - 4307 RET 50x15	130
VIII.5. CD1 - 4307 HEX 32	133
VIII.6. CD2 - 4305 RET 50x40	135

VIII.7. CD2 - 4307 RET 80x20	137
VIII.8. CD2 - 4305 QUA 38,10	140
VIII.9. CD2 - 4104 QUA 40.....	142
VIII.10. CD2 - 4307 QUA 40	145
VIII.11. CD2 - 4305 QUA 50	148
VIII.12. CD2 - 4307 QUA 50	151
Anexo IX - Melhoria	153
IX.1. Hierarquização de erros.....	153
IX.2. Interpretação de cartas de controlo.....	153
IX.3. Ponto de situação das ações.....	154
Anexo X - Metodologia SPC proposta.....	155
Anexo XI - Matriz de causa-efeito	157

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fluxos e exportação a nível mundial de sucata de aço inox em 2014 em milhares de toneladas. Adaptado de International Stainless Steel Forum, 2016.....	2
Tabela 2 - Funções dos elementos da equipa de acordo com as suas posições hierárquicas. ...	9
Tabela 3 - Descrição das ferramentas usadas ao longo do projeto de melhoria.	11
Tabela 4 - Ação perante cada tipo de erro humano. Adaptado de Nogueira, 2010.	12
Tabela 5 - Designação de algumas grades segundo diferentes normas e respetiva classificação.....	15
Tabela 6 - Comparação entre as principais classificações de aços inox.....	16
Tabela 7 - Comparação entre as principais classificações de aços inox. (continuação).....	17
Tabela 8 - Aplicações para os diferentes tipos de aço produzidos pela Böllinghaus Steel Lda.. ..	18
Tabela 9 - Variáveis do processo de estiragem que influenciam no seu desempenho.	22
Tabela 10 - Variáveis medidas para análise do comportamento do processo de estiragem.	42
Tabela 11 - Variáveis medidas para análise do comportamento do processo de estiragem. (continuação).....	43
Tabela 12 - Metodologia para medição de pontas de sucata de estirados.	43
Tabela 13 - Variáveis determinadas.	49
Tabela 14 - Modelos que descrevem a variação das variáveis analisadas.....	50
Tabela 15 - Esquema do posicionamento das barras dependendo do número de barras produzidas por lingote e do número de atados formados.	52
Tabela 16 - Síntese de resultados obtidos nas medições e respetiva estimativa de redução de sucata para as medições realizadas.	63
Tabela 17 - Plano de amostragem.....	66
Tabela 18 - Quadro descritivo de um OCAP.....	66
Tabela 19 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes aos produtos estirados retangulares da linha CD1.	67
Tabela 20 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes aos produtos estirados da linha CD1. (continuação).....	68
Tabela 21 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes aos produtos estirados da linha CD2.....	69
Tabela 22 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes a alguns produtos estirados da linha CD2. (continuação).....	70

Tabela 23 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes aos produtos estirados retangulares da linha CD2. (continuação)	71
Tabela 24 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes aos produtos estirados retangulares da linha CD2. (continuação)	72
Tabela 25 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1 com maiores percentagens de sucata dependendo da espessura.	92
Tabela 26 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1 com maiores percentagens de sucata dependendo da largura.	93
Tabela 27 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.	94
Tabela 28 - Lista dos 5 comprimentos mais críticos relativamente à percentagem de sucata a eles associada para perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1.....	95
Tabela 29 - Lista dos 10 perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD1 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.	97
Tabela 30 - Lista dos 10 perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD1 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.	99
Tabela 31 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2 com maiores percentagens de sucata dependendo da espessura.	101
Tabela 32 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2 com maiores percentagens de sucata dependendo da largura.	101
Tabela 33 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.	102
Tabela 34 - Lista dos 10 perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD2 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.	104
Tabela 35 - Lista dos 10 perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD2 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.	106
Tabela 36 - Produtos produzidos na linha CD1 sujeitos a medição de pontas de sucata.	109
Tabela 37 – Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4571 RET 30x4.	109
Tabela 38 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4305 RET 35x15.....	110
Tabela 39 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4307 RET 40x10.....	111
Tabela 40 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4307 RET 50x15.....	112
Tabela 41 - Produtos produzidos na linha CD2 sujeitos a medição de pontas de sucata	113
Tabela 42 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4305 RET 50X40.	113
Tabela 43 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4307 RET 80x20.....	113
Tabela 44 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4305 QUA 38,10.....	114
Tabela 45 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4104 QUA 40.....	114
Tabela 46 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4307 QUA 40.....	115

Tabela 47 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4305 QUA 50.....	116
Tabela 48 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4307 QUA 50.....	117
Tabela 49 - Principais variáveis do modelo de otimização.	119
Tabela 50 - Exemplo de aplicação das matérias-primas disponíveis.	120
Tabela 51 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4571 RET 30x4.	123
Tabela 52 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4305 RET 35x15.	126
Tabela 53 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 RET 40x10.	127
Tabela 54 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 RET 50x15.	130
Tabela 55 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 HEX 32.....	133
Tabela 56 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4305 RET 50x40.	135
Tabela 57 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 RET 80x20.	137
Tabela 58 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4305 QUA 38,10.	140
Tabela 59 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4104 QUA 40.	142
Tabela 60 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 QUA 40.	145
Tabela 61 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4305 QUA 50.	148
Tabela 62 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 QUA 50.	151
Tabela 63 - Hierarquização das causas e respetivos erros por frequência e importância.....	153
Tabela 64 - Descrição do estado em que se encontram as ações.....	154
Tabela 65 - Plano de amostragem.....	155
Tabela 66 - Metodologia.....	156
Tabela 67 - Matriz de causa-efeito.	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Sucata de estirados de grade 1.4307 da linha de estiragem CD2.	2
Figura 2 - Comparação da média de produção de sucata de cada linha de estiragem.....	3
Figura 3 - Exemplos de perfis produzidos pela Böllinghaus.....	3
Figura 4 - Instalações da fábrica em Reimscheid.	4
Figura 5 - Instalações da fábrica em Portugal.	4
Figura 6 - Sede de Hilden.	4
Figura 7 - Vendas realizadas em 2014.	5
Figura 8 - Roadmap da metodologia DMAIC aplicada ao processo Seis Sigma. Adaptado de Reis, 2016.	8
Figura 9 - Utilização do aço inoxidável em vários sectores em 2013. Adaptado de International Stainless Steel Forum, 2015.	17
Figura 10 - Fluxograma para produção de estirados.	19
Figura 11 - Saída do forno de um lingote para trem aberto.	19
Figura 12 - Produção de barras por laminagem a quente.	19
Figura 13 - Barras laminadas incandescentes na estenderia.....	19
Figura 14 - Sequência de etapas referentes à estiragem.	21
Figura 15 - Passagem da barra através da fieira da linha CD2.....	22
Figura 16 - Mordente.....	22
Figura 17 - Mordente a auxiliar a passagem da barra pela fieira da linha CD2.	22
Figura 18 - Comparação do comércio de vários produtos de aço inoxidável em 2013 e 2014 a nível mundial.	23
Figura 19 - Defeitos que não são aceites num produto estirado final.	23
Figura 20 - Fluxograma para produção de estirados.	26
Figura 21 - Equipa de melhoria deste projeto.	28
Figura 22 - Ponte rolante com balança.	29
Figura 23 - Representação dos passos de análise de dados de estirados referentes ao ano de 2015.	30
Figura 24 - Material laminado em <i>stock</i> da linha CD1.	31
Figura 25 - Exemplos de perfis retangulares produzidos na linha CD1.....	31
Figura 26 - Contribuição de cada grade de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis retangulares produzidos na linha CD1.	32

Figura 27 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis retangulares produzidos na linha CD1.	32
Figura 28 - Exemplo de um perfil quadrangular produzidos na linha CD1.	33
Figura 29 - Contribuição de cada grade de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.	33
Figura 30 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.	33
Figura 31 - Variabilidade dos perfis produzidos na linha de estiragem CD1 em termos de percentagem de sucata produzida.	33
Figura 32 - Exemplos de perfis hexagonais produzidos na linha CD1.	34
Figura 33 - Contribuição de cada grade de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis hexagonais produzidos na linha CD1.	34
Figura 34 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis hexagonais produzidos na linha CD1.	34
Figura 35 - Variabilidade dos perfis produzidos na linha de estiragem CD1 em termos de percentagem de sucata produzida.	35
Figura 36 - Material laminado em stock da linha CD2.	35
Figura 37 - Exemplos de perfis retangulares produzidos na linha CD2.	35
Figura 38 - Contribuição de cada grade de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis retangulares produzidos na linha CD2.	36
Figura 39 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis retangulares produzidos na linha CD2.	36
Figura 40 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis retangulares produzidos na linha CD2.	37
Figura 41 - Exemplo de um perfil quadrangular produzidos na linha CD2.	37
Figura 42 - Contribuição de cada grade de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.	38
Figura 43 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.	38
Figura 44 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis quadrangulares produzidos na linha CD2.	38
Figura 45 - Exemplos de perfis hexagonais produzidos na linha CD2.	39
Figura 46 - Contribuição de cada grade de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.	39
Figura 47 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.	39

Figura 48 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis quadrangulares produzidos na linha CD2.....	40
Figura 49 - Seleção dos perfis com análise prioritária.	40
Figura 50 - Interação entre alguns componentes do processo.....	44
Figura 51 - Representação das zonas do processo onde são tomadas decisões.....	45
Figura 52 - Diagrama de causa-efeito para o comprimento da barra estirada.....	47
Figura 53 - Sequência de passos para analisar os dados obtidos na fase de medição.	48
Figura 54 - Pontas de sucata do produto 4307 QUA 50.....	49
Figura 55 - Pontas de sucata do produto 4305 QUA 50.....	49
Figura 56 - Série temporal do comprimento da ponta da frente, do vinco, da parte da ponta da frente considerada boa, da ponta de trás e respetiva parte boa, determinadas usando o sistema de medição definido, para o produto 4307 QUA 50, laminado em TA.	50
Figura 57 - Série temporal do comprimento das primeira e segunda barras finais e limites de especificação para o produto 4307 QUA 50, laminado em TA.....	51
Figura 58 - Comparação entre a dispersão do comprimento das barras estiradas antes do corte das pontas para diferentes atados.....	53
Figura 59 - Pontas de sucata de estirados do atado que continha a barra curta.....	53
Figura 60 - Pontas de sucata de estirados do atado 3051768.01, que continha a barra comprida.	53
Figura 61 - Comparação entre a média do comprimento da ponta da frente para as várias situações de entrada da barra no processo de estiragem e atado.	54
Figura 62 - Comparação entre média do comprimento da ponta da trás para as várias situações de entrada da barra no processo de estiragem e atado.	54
Figura 63 - Comparação entre a média do comprimento do total danificado para as várias situações de entrada da barra no processo de estiragem e atado.	55
Figura 64 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 QUA 50.	56
Figura 65 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o para o produto 4307 QUA 50.	57
Figura 66 - Pontas de sucata do produto 4305 RET 35x15.....	57
Figura 67 - Série temporal das variáveis medidas usando o sistema de medição definido para o produto 4305 RET 35x15, laminado em TC.	58
Figura 68 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o perfil retangular 35x15 de grade 1.4305.	59
Figura 69 - Série temporal do comprimento das primeira e segunda barras finais e limites de especificação para o produto 4305 RET 35x15, laminado em TC.....	60
Figura 70 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4305 RET 35x15.....	60

Figura 71 - Fluxograma do sistema de controlo sugerido.	64
Figura 72 - Instrução de trabalho para as fresas antes do projeto.	74
Figura 73 - Instrução de trabalho para as fresas depois do projeto.	74
Figura 74 - Diagrama SIPOC para o processo de pre-coating das linhas CD1 e CD2.....	83
Figura 75 - Diagrama SIPOC para o processo de estiragem das linhas CD1 e CD2.	83
Figura 76 - Esquema de entradas e saídas do processo de lavagem da linha CD1.	84
Figura 77 – Diagrama SIPOC para o processo de corte de estirados das linhas CD1 e CD2.	84
Figura 78 - Esquema de entradas e saídas do processo de lavagem da linha CD2.	84
Figura 79 - Sequência e condições de operação da linha de estiragem CD1, usada para perfis com uma secção reta menor do de 2000 mm ²	85
Figura 80 - Sequência e condições de operação da linha de estiragem CD2, usada para perfis com uma secção reta menor do de 1200 mm ²	85
Figura 81 - Diagrama de blocos do processo global de produção de estirados.....	86
Figura 82 - Organograma da empresa Böllinghaus Steel S.A. em 2016.....	87
Figura 83 - Percentagem em que cada grade foi usada em 2015.	91
Figura 84 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis retangulares na linha de estiragem CD1.	91
Figura 85 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usadas em perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1.	92
Figura 86 - Fração de grade usada nos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1.....	92
Figura 87 - Percentagem de sucata média para os vários valores de espessura dos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1.	92
Figura 88 - Percentagem de sucata média para os vários valores de largura dos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1.	93
Figura 89 - Variabilidade dos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1 em termos de percentagem de sucata produzida.	93
Figura 90 - Percentagem de sucata média para os vários perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1	94
Figura 91 - Percentagem de sucata média para os vários perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1.	95
Figura 92 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis quadrangulares na linha de estiragem CD1.	96
Figura 93 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usadas em perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.....	96
Figura 94 - Fração de grade usada nos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD1.....	96

Figura 95 - Percentagem de sucata média para os vários valores de dimensão dos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD1.	97
Figura 96 - Variabilidade dos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD1 em termos de percentagem de sucata produzida.	97
Figura 97 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis hexagonais na linha de estiragem CD1.....	98
Figura 98 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usados em perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD1.....	98
Figura 99 - Fração de grade usada nos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD1.....	98
Figura 100 - Variabilidade dos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD1 em termos de percentagem de sucata produzida.	99
Figura 101 - Percentagem de sucata média para os vários valores de dimensão dos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD1.....	99
Figura 102 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis retangulares na linha de estiragem CD2.....	100
Figura 103 - Fração de grade usada nos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2.....	100
Figura 104 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usados em perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2.	100
Figura 105 - Percentagem de sucata média para os vários valores de espessura dos perfis retangulares para a linha de estiragem CD2.	101
Figura 106 - Percentagem de sucata média para os vários valores de largura dos perfis retangulares para a linha de estiragem CD2.	101
Figura 107 - Variabilidade dos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2 em termos de percentagem de sucata produzida.	102
Figura 108 - Percentagem de sucata média para os vários perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2.	102
Figura 109 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis quadrangulares na linha de estiragem CD2.	103
Figura 110 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usados em perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD2.....	103
Figura 111 - Fração de grade usada nos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD2.....	103
Figura 112 - Percentagem de sucata média para os vários valores de espessura dos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD2.	104
Figura 113 - Variabilidade dos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD2 em termos de percentagem de sucata produzida.	104

Figura 114 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis hexagonais na linha de estiragem CD2.....	105
Figura 115 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usados em perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD2.....	105
Figura 116 - Fração da grade usada nos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD2.....	105
Figura 117 - Percentagem de sucata média para os vários valores de dimensão dos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD2.....	106
Figura 118 - Variabilidade dos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD2 em termos de percentagem de sucata produzida	106
Figura 119 - Matéria-prima e produtos resultantes de cada etapa de produção de estirados.	119
Figura 120 - Representação da operação de corte de matéria-prima.....	120
Figura 121 - Representação da operação de corte após laminagem.	121
Figura 122 - Representação da operação de corte após estiragem.	122
Figura 123 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4571 RET 30x4.....	124
Figura 124 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4571 RET 30x4.....	124
Figura 125 - Pontas de sucata do produto 4571 RET 30x4.....	125
Figura 126 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 RET 40x10.....	128
Figura 127 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4307 RET 40x10.....	129
Figura 128 - Comparação da variabilidade das barras estiradas provenientes de atados distintos do produto 4307 RET 50x15.	130
Figura 129 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 RET 50x15.....	131
Figura 130 - Pontas de sucata do produto 4307 RET 50x15.....	131
Figura 131 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4307 RET 50x15.....	132
Figura 132 - Pontas de sucata do produto 4307 HEX 32.	133
Figura 133 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 HEX 32.....	134
Figura 134 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4307 HEX 32.....	134
Figura 135 - Validação dos limites de especificação usados para a variável TOTAL_Dan para o produto 4305 RET 50x40.	136

Figura 136 - Variação do comprimento das barras estiradas antes e depois do corte para produto 4305 RET 50x40.....	136
Figura 137 - Pontas de sucata do produto 4305 RET 50x40.....	136
Figura 138 - Pontas de sucata do atado 3052449.01 do produto 4307 RET 80x20.	137
Figura 139 - Pontas de sucata do atado 3052447.01 do produto 4307 RET 80x20.	137
Figura 140 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 RET 80x20.....	138
Figura 141 - Comparação entre a dispersão do comprimento das barras estiradas antes do corte das pontas para diferentes atados para o caso do produto 4307 RET 80x20.....	138
Figura 142 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4307 RET 80x20.....	139
Figura 143 - Pontas de sucata do produto 4305 QUA 38,10.....	140
Figura 144 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4305 QUA 38,10.	141
Figura 145 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4305 QUA 38,10.	141
Figura 146 - Pontas de sucata do produto 4104 QUA 40.....	142
Figura 147 - Comparação entre a dispersão do comprimento das barras estiradas antes do corte das pontas para diferentes atados para o caso do produto 4104 QUA 40.	142
Figura 148 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o caso do produto 4104 QUA 40..	143
Figura 149 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4104 QUA 40.	144
Figura 150 - Pontas de sucata do atado 3052500.01 do produto 4307 QUA 40.....	145
Figura 151 - Pontas de sucata do atado 3052503.02 do produto 4307 QUA 40.....	145
Figura 152 - Comparação entre a dispersão do comprimento das barras estiradas antes do corte das pontas para diferentes atados para o caso do produto 4307 QUA 40.	146
Figura 153 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 QUA 40.	146
Figura 154 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4307 QUA 40.	147
Figura 155 - Pontas de sucata do atado 3051683.01 do produto 4305 QUA 50.....	148
Figura 156 - Pontas de sucata do atado 3051682.01 do produto 4305 QUA 50.....	148
Figura 157 - Comparação entre a dispersão do comprimento das barras estiradas antes do corte das pontas para diferentes atados para o caso do produto 4305 QUA 50.	148
Figura 158 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4305 QUA 50.	149

Figura 159 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4305 QUA 50.	150
Figura 160 - Pontas de sucata do atado 3051682.01 do produto 4307 QUA 50.....	151
Figura 161 - Sequência de utilização e interpretação de cartas de controlo.....	154
Figura 162 - Nova visão de uma metodologia para redução da variabilidade do processo. .	157

NOMENCLATURA

SIGLAS

DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Implement, Control</i>
DPMO	Defeitos por Milhão de Oportunidades
DPU	Defeitos por unidade
DOE	<i>Design of Experiment</i>
IT	Instrução de Trabalho
JIS	<i>Japanese Industrial Certification</i>
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSE	Limite Superior de Especificação
MP	Matéria-prima
NAFTA	<i>North American Free Trade Agreement</i>
PME	Pequenas e médias empresas
PPM	Partes por milhão
SIPOC	<i>Suppliers-inputs-process-outputs-costumers</i>
SPC	<i>Statistical Process Control</i>
SQC	<i>Statistical Quality Control</i>
TA	Trem Aberto
TC	Trem Contínuo
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
VOC	<i>Voice Of the Customer</i>

SÍMBOLOS

Barra_ideal	Comprimento da barra considerado útil
CD1	Linha de estiragem 1
CD2	Linha de estiragem 2
Comp_bar_1	Comprimento da primeira barra estirada final
Comp_bar_2	Comprimento da segunda barra estirada final
C_p	Capacidade potencial de um processo
C_{pi}	Capacidade potencial inferior
C_{pk}	Capacidade efetiva do processo
C_{ps}	Capacidade potencial superior
n₁	Número de lingotes após corte de matéria-prima
n₂	Número de barras após corte na laminagem
n₃	Número de barras após corte na estiragem
n_c	Número da encomenda
N_v	Número do varão
PM_boa	Parte boa da ponta do mordente
PM_tot	Ponta total do mordente
P_{M5}	Excesso de barra útil (kg)
P_p	Índice de desempenho do processo
P_{pk}	Índice de desempenho do processo
PT_boa	Parte boa da ponta de trás
PT_tot	Ponta total de trás
TOTAL_Dan	Comprimento total da ponta danificada
TOTAL_boa	Comprimento total da ponta considerado bom
y	Representa o produto numa determinada quantidade
μ	Média
σ	Desvio padrão

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação compreende um estudo da quantidade de sucata produzida no sector de estiragem e ações de redução da mesma, realizado na sequência de um estágio curricular na Böllinghaus Steel S.A., uma empresa do sector metalúrgico.

O sucesso de uma organização assenta no êxito simultâneo dos três pilares da sustentabilidade. O equilíbrio entre a aceitação social, sucesso económico e proteção ambiental deve ser o objetivo de qualquer empresa, uma vez que lhe permite fazer frente à crescente competitividade do mercado, garantindo lhe uma boa posição no mesmo. Esta competitividade está associada à pressão de produzir produtos de boa qualidade nas quantidades requeridas, com o menor custo e, conseqüentemente, a preços baixos. Por outro lado, a posição em que uma empresa se situa e a sua capacidade de responder aos requisitos do mercado são dependentes do nível sigma alcançado (ver secção 2.2.). Isto obriga à sua atualização constante e conseqüente realização contínua de estudos e aplicação de melhorias nos seus processos.

Recentemente tem havido muito interesse na aplicação de diferentes abordagens à melhoria, quer por parte desta ou de outras empresas. Metodologias como Seis Sigma, *Lean Manufacturing*, Lean-Seis Sigma e Benchmarking são cada vez mais usadas com um objetivo comum. Por este motivo, a metodologia Seis Sigma e Lean-Seis Sigma serão usados neste projeto.

Foi então proposto um estudo da percentagem de sucata produzida, com o intuito de alcançar um aumento das receitas e redução de custos em matéria-prima. Pretende-se assim estudar a quantidade e variabilidade da sucata produzida e detetar meios de as reduzir e, desta forma, aumentar o nível sigma alcançado. Neste seguimento, recorrer-se-á a metodologias de melhoria da qualidade adequadas.

O capítulo 1 contextualiza e expõe o objetivo deste estudo de caso; a apresentação da empresa, bem como a estrutura da dissertação.

1.1. Objetivo e motivação

Como em qualquer indústria, a manufatura de perfis de aço também gera produtos secundários (Figura 1), e cabe a cada entidade fazer a gestão desses subprodutos e resíduos. Apesar do aço inoxidável ser 100% reciclável (SSINA, 2016), permitindo a sua fundição várias vezes, nem todas as indústrias metalúrgicas estão munidas com equipamentos que permitam a recuperação do material por este método. A nível mundial ocorrem, por isso, fluxos de exportação, os quais têm a tendência a aumentar, em consequência do aumento da produção global. Os fluxos de 2014 estão representados na Tabela 1.



Figura 1 - Sucata de estirados de grade 1.4307 da linha de estiragem CD2.

Tabela 1 - Fluxos e exportação a nível mundial de sucata de aço inox em 2014 em milhares de toneladas. Adaptado de International Stainless Steel Forum, 2016.

Destino \ Origem	África	Ásia	Europa Oriental	América Latina	Médio Oriente	NAFTA	Austrália /Oceânia	Europa Ocidental	Total
África	0,0	29,6	0,0	0,0	0,9	0,0	0,2	2,8	33,4
Ásia	0,0	561,2	0,0	0,1	0,2	1,9	0,0	21,6	585,0
Europa Oriental	0,0	4,8	3,3	2,3	0,0	0,0	0,0	109,2	119,6
América Latina	0,0	18,5	0,0	0,0	0,0	14,8	0,0	33,3	66,6
Médio Oriente	0,0	96,3	0,0	0,0	n/a	0,5	0,0	16,5	113,3
NAFTA	0,1	573,9	0,0	1,4	1,1	278,7	0,0	24,1	879,3
Austrália/Oceânia	0,0	50,9	0,0	0,0	0,5	0,2	0,4	1,1	53,0
Europa Ocidental	0,1	382,4	2,9	0,0	1,3	32,4	0,1	3080,1	3499,4
Total	0,3	1717,6	6,2	3,8	3,8	328,5	0,8	3288,6	5349,7

Nesta empresa, a sucata produzida é posteriormente vendida a um sucateiro ao preço a que o respetivo material se apresenta cotado em bolsa. Aqui, a percentagem geral de sucata produzida é de cerca de 8,5% da matéria-prima usada. Atualmente não tem sido possível reduzir este valor porque, para além de se ter iniciado recentemente uma nova linha de estiragem (com elevada produção de sucata), o processo de estiragem apresenta crescente ocupação devido ao aumento da venda de estirados, os quais apresentam uma produção de sucata maior face aos

produtos laminados. Isto leva a um aumento da sua contribuição na quantidade de sucata produzida. Como se pode ver na Figura 2, o equipamento da linha CD2 apresenta maior produção de sucata nos últimos meses de 2015.

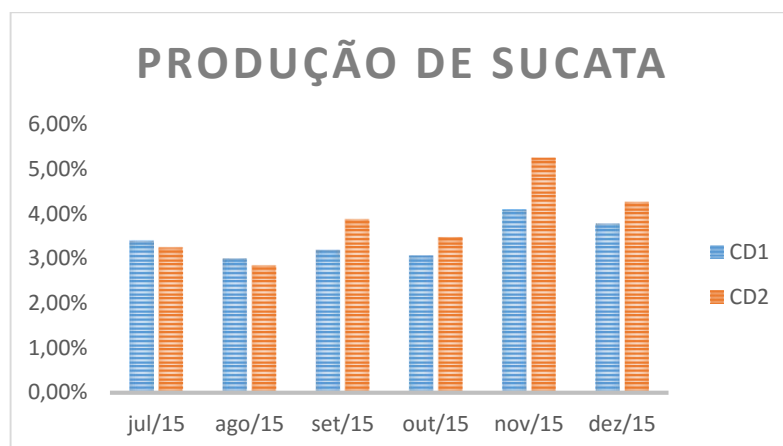


Figura 2 - Comparação da média de produção de sucata de cada linha de estiragem.

Neste estudo, o foco será direcionado para o processo de estiragem uma vez que é uma secção da fábrica recentemente estruturada, cuja produção corresponde atualmente a cerca de 50% dos produtos por ela comercializados. Pretende-se assim reduzir a percentagem de sucata de estirados em 3%, bem como a variabilidade desta variável.

1.2. Böllinghaus Steel S.A. - A Empresa

Böllinghaus Steel S.A. é uma empresa especializada em produtos de aço inoxidável de elevada qualidade e, de forma a satisfazer as expectativas dos clientes, a sua produção é realizada apenas a partir de encomendas. Está habilitada a produzir uma elevada variedade de produtos – cerca de 700 perfis dos quais quadrados, hexagonais, retangulares e especiais (Figura 3) – alcançando uma capacidade anual de vários milhares de toneladas. Conta atualmente com uma experiência de 126 anos nesta área.



Figura 3 - Exemplos de perfis produzidos pela Böllinghaus.

Em 1889, deu-se o início da atividade da Böllinghaus Steel S.A. por Hermann Böllinghaus e Johann Ludwig Härtel, em Remscheid, Alemanha. Cerca de meio século depois, realizou-se a reconstrução da laminagem e produção de ferramentas. Na década de 60, ocorreu a expansão da produção de perfis especiais e, em 1980, iniciou-se a produção de aço inoxidável. Já em 1996, após celebração dos 100 anos da empresa, fundou a Böllinghaus Portugal Aços Especiais Lda., a partir da aquisição de uma unidade de laminagem em território português. Esta expansão teve como principal motor a ambição de aumentar as exportações.



Figura 4 - Instalações da fábrica em Remscheid.



Figura 5 - Instalações da fábrica em Portugal.

A fábrica, localizada em Portugal, molda o aço inoxidável de alta qualidade em várias linhas de produção semi-automatizadas a partir de material que chega sob a forma de barras de maiores dimensões, também conhecido por varões, lingotes ou biletos, dependendo das suas características. Ao longo do processo, o produto é sujeito a um controlo de qualidade o que garante a certificação pelos padrões internacionais.

No início do século XXI, a fábrica em território alemão encerrou, mas, por outro lado, foram realizados vários investimentos em máquinas, equipamentos de laboratório e num forno de trem aberto nas instalações portuguesas. Em 2012 deu-se o início da produção de barras hexagonais estiradas, realização do tratamento térmico e da certificação pelo JIS (*Japanese Industrial Certification*).



Figura 6 - Sede de Hilden.

Em 2013, efetuou-se a mudança da sede de Remscheid para Hilden e aquisição do forno de tratamento térmico contínuo. Neste ano, a empresa recebeu o estatuto de PME Excelência e, um ano depois, destacou-se como PME Líder. Para além disto, comemorou os seus 125 anos e tornou o seu processo contínuo, o qual já incluía as etapas de jateamento, decapagem química, estampagem e embalagem. Finalmente, em 2015 investiu-se numa segunda linha de produção de estirados.

Atualmente apresenta uma elevada contribuição para as exportações de aço inox realizadas em Portugal, sendo que cerca de 99% dos produtos produzidos por ela são exportados (Figura 7). Os seus principais clientes são armazenistas, mas também vendem diretamente a algumas indústrias tais como indústria naval, química, automóvel, construção e maquinaria. A elevada variedade de perfis permite uma melhor adaptação a tendências do mercado e flexibilidade face a pedidos, contudo requer uma complexa gestão de encomendas e de fluxos de produção.

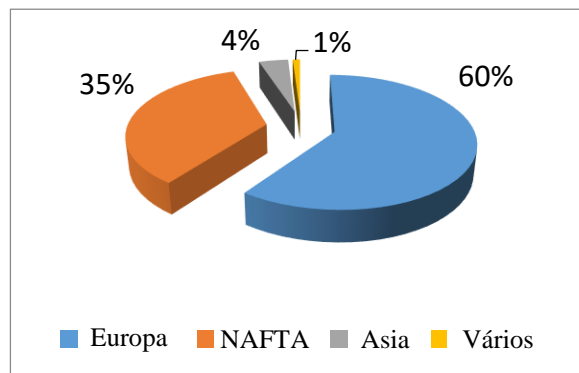


Figura 7 - Vendas realizadas em 2014.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação de mestrado está dividida em 5 secções. A segunda secção apresenta uma visão geral da estratégia Seis Sigma, a qual segue a sequência base DMAIC (sigla correspondente a *Define, Measure, Analyse, Improve e Control*, da nomenclatura anglo-saxónica). Nesta secção é apresentada uma síntese dos objetivos de cada uma das etapas desta estratégia.

A secção 3 resume os vários tipos de aço inoxidável usados pela empresa e respetivas aplicações e o processo de estiragem de aços, incidindo no funcionamento deste processo na empresa.

Na secção 4 é apresentado o estudo de caso, relacionado com a necessidade de redução de sucata associada a pontas de estirados, e respetiva aplicação da metodologia Seis Sigma, com apresentação do problema, metodologia utilizada, resultados e respetiva análise, bem como possíveis melhorias. Neste, encontra-se o estudo da influência de características (como a *grade*, a dimensão e, no caso de perfis retangulares, a largura e espessura) na média de percentagem de sucata e a avaliação do comportamento de algumas variáveis relacionadas com as pontas para alguns perfis.

Finalmente na secção 5 são apresentadas as principais conclusões e algumas recomendações.

2. SEIS SIGMA

A necessidade de melhorar a qualidade dos produtos e a satisfação dos clientes levou o engenheiro da Motorola, Mikel Harry, em 1986, a realizar estudos de variações de processos produtivos e de aumento da qualidade dos seus produtos. Isto deu origem à abordagem designada Seis Sigma, a qual apresentou resultados muito positivos e rapidamente se difundiu para outras áreas da organização. Esta filosofia é, por isso, um modo da organização gerir as suas atividades e que geralmente leva a um processo com níveis mínimos de defeito, próximo do ideal zero-defeitos. Foi também esta estratégia que fez com que a Motorola alcançasse, em 1999, o Prémio Malcom Baldrige da Qualidade (Junior, 2006).

Outras empresas, como a *AlliedSignal* e a *General Eletric*, também obtiveram sucesso com a aplicação desta metodologia depois de se tornar pública. Todo este sucesso levou ao seu reconhecimento como uma forma bem estruturada de eliminar a variabilidade de processos e reduzir os desperdícios através do uso de ferramentas e técnicas estatísticas poderosas (Junior, 2006).

Por esta razão, as empresas que ambicionam garantir a sua sobrevivência, alcançar uma posição estável no mercado ou adquirir vantagem face aos seus concorrentes têm apostado, cada vez mais, em maneiras de alcançar o sucesso ligadas diretamente à satisfação do cliente, nomeadamente o uso de Seis-Sigma. Para processos de nível seis sigma, espera-se 1 defeito em 1000 milhões de oportunidades (Domingues, 2015) ou, noutra perspetiva 3,4 ppm (Távora, 2009). Esta permite ainda adquirir mais informação acerca da organização usando menos recursos e, por isso, tem sido cada vez mais usada com o intuito de reduzir erros, ciclos excessivos, processos ineficientes e custos relacionados; tudo com o objetivo último de maximizar a sua rentabilidade e produtividade. Perante estes casos de sucesso, muitas outras empresas aplicaram e continuam a aplicar esta metodologia. Contudo, muitas outras não tiveram o sucesso esperado, pelo que ter a consciência de que é necessário percorrer um caminho árduo para conseguir os resultados alcançados pela *General Electric* ou *AlliedSignal* é importante.

A estratégia Seis Sigma faz uso de ferramentas e métodos bastante conhecidos na realização de caracterização de processos e é organizada de acordo com a sequência DMAIC. Quando usada no âmbito de mudança da cultura da organização, tem a finalidade de alcançar, maximizar e manter o sucesso comercial através do conhecimento das necessidades dos clientes. Quando orientada para o processo produtivo, esta aborda a melhoria contínua dos mesmos com foco no aumento da qualidade sem incremento de custos (Junior, 2006).

A metodologia Seis Sigma apresenta várias vantagens: providencia uma infraestrutura sistemática e um mecanismo que permite alcançar a melhoria contínua através de um forte compromisso da gestão de topo; recorre a ferramentas já conhecidas; providencia um trajeto claro e de fácil implementação para diferentes áreas da organização; fornece ainda uma estrutura geral para identificação, análise e resolução de problemas; a contínua aprendizagem e treino de Black Belt, Green Belts e Yellow Belts fornece um sistema de cultura de talento efetivo e eficiente; e, por fim, permite a integração com outras metodologias de qualidade, como por exemplo *Lean Manufacturing* e TPM (*Total Productive Maintenance*) (Zhang & He, 2015). É aconselhado o seu uso quando a causa do problema é desconhecida, pois permite um estudo orientado e focado no problema.

Contudo, a sua utilização pode-se tornar bastante complexa. É essencial ter a noção de que um projeto deste género requer algum tempo e, muitas vezes, mudança da cultura da própria empresa (Gonçalves, 2015). Por este motivo, o facto de este projeto ser limitado no tempo pode levar a um tratamento muito superficial da informação recolhida e conhecimento do processo pouco profundo.

De seguida será descrito as principais ações nas várias etapas percorridas pela metodologia seguida. A Figura 8 esquematiza o percurso que é necessário percorrer segundo a estrutura DMAIC.

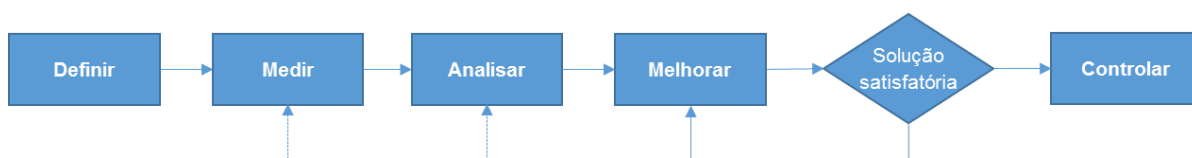


Figura 8 - Roadmap da metodologia DMAIC aplicada ao processo Seis Sigma. Adaptado de Reis, 2016.

2.1. Fase I – Definir

Numa primeira fase é importante compreender qual o problema a analisar e a dar resposta. A fase de seleção do projeto é um dos principais fatores que afetam o sucesso de um projeto Seis Sigma. A seleção de um projeto muito amplo pode gerar uma grande perda de tempo útil e elevado esforço dos elementos da equipa. É ainda importante anexar os projetos a um objetivo correto e quantificar o seu impacto.

É então na fase Definir que se descreve claramente o âmbito do projeto de melhoria e onde se identifica as questões-chave, os problemas envolvidos e respetivo impacto e o objetivo a atingir. A equipa que contribuirá para o projeto é também definida, a qual deve ser multidisciplinar de modo a tornar mais eficaz o esforço realizado. Esta diversidade de conhecimentos é indispensável devido à diversidade das necessidades do problema. As funções estão descritas na Tabela 2. Deve ainda ser orientada por elementos chave designados por *Champion* e *Black Belt* (ou *Master Black Belt*), os quais possuem conhecimentos aprofundados desta matéria (Endeavor Brasil, 2015).

Tabela 2 - Funções dos elementos da equipa de acordo com as suas posições hierárquicas.

Cargo	Função	Referência
Champion	Para além de fornecer recursos necessários, tem o poder de aceitar ou rejeitar projetos/ações de melhoria que poderão surgir.	(Endeavor Brasil, 2015)
Master Black Belt	É alguém com conhecimentos em ferramentas, técnicas e conceitos associados ao Seis Sigma. Tem como função orientar a equipa de melhoria, atuando como consultor da qualidade interna, treinando os membros e providenciando tutoriais.	(Eckes, 2001)
Black Belt	Corresponde ao líder tático de uma equipa de melhoria e, como tal, é responsável por orientar a equipa de melhoria.	(Eckes, 2001)
Green Belt	Apresenta uma função semelhante à do Black Belt, sendo que pode estar destacado a vários projetos em simultâneo.	(Eckes, 2001)
Team members	Auxiliam na realização de determinadas tarefas e contribuem com conhecimentos do processo.	

2.2. Fase II – Medir

Na fase Medir, o foco encontra-se em caracterizar o estado atual através da recolha de dados. Muitas vezes recorre-se à descrição do estado do processo através da identificação do

seu nível sigma. Este pode ser determinado a partir do número de defeitos por milhão de oportunidades, DPMO, ou a partir da capacidade do processo, C_{pk} , através da equação 1 (Grupta & Sri, 2012) (Reis, 2016). Esse último índice é determinado pela equação 2, o qual avalia a dispersão dos dados abaixo e acima da média, μ . Na determinação destes índices, a partir das equações 3 e 4, C_{pi} e C_{ps} referem-se à capacidade potencial inferior e superior, respetivamente, assim como LIE e LSE é o limite inferior e superior de especificação. O principal objetivo é então identificar áreas onde o processo necessita de ser melhorado e, por esta razão, é fundamental a obtenção de dados sólidos.

$$\sigma = 3 * C_{pk} \quad (1)$$

$$C_{pk} = \min(C_{pi}, C_{ps}) \quad (2)$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (3)$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (4)$$

2.3. Fase III – Analisar

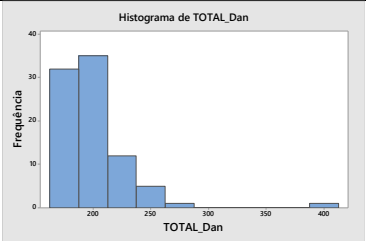
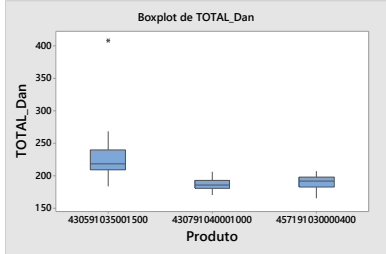
A análise da informação recolhida na fase anterior é agora o próximo passo e tem como finalidade a procura de possíveis tendências, padrões e correlações entre variáveis de entrada e saída do processo (Grupta & Sri, 2012). Para tal, recorre-se geralmente a ferramentas de base estatística para fundamentar as possíveis ações futuras. Alguns exemplos de ferramentas da qualidade usadas posteriormente na interpretação de resultados são sumariados na Tabela 3.

Pretende-se então identificar formas de eliminar as lacunas entre os valores dos índices usados para definir o problema e as metas definidas na fase de definição. E, por esta razão, nesta fase, é importante conhecer detalhadamente o processo.

Segundo Grupta e Sri (2012), por vezes, quando o processo apresenta variabilidade excessiva ou inconsistências, é avaliada a capacidade do processo e a necessidade de se proceder à sua reestruturação. A determinação da capacidade é realizada através do cálculo de índices de capacidade potencial do processo, C_p , para variáveis específicas, onde se compara a amplitude da tolerância definida pela especificação do cliente e a variabilidade do processo. Valores superiores à unidade remetem para um processo potencialmente capaz ou a sua capacidade máxima. Uma vez que este índice não é referente à capacidade real, mas potencial,

surge também a necessidade de definir outro indicador que tenha em consideração a hipótese de a variabilidade do processo não estar centrada face à tolerância. Perante isto, é definido o índice de capacidade efetiva do processo, C_{pk} , com valor mínimo admissível de 1,33 (Reis, 2016) (Minitab Inc, 2016). Para projetos de Seis Sigma, é usada a igualdade $C_{pk}=2$ como indicativo de um processo com elevado desempenho (Reis, 2016). Em algumas situações a caracterização é realizada através da determinação do índice de desempenho (P_p e P_{pk}) cujo valor mínimo é dependente do número de itens. Segundo Ming-Wei Lu e Rody (2002) para determinar os índices é recomendado a realização de uma recolha aleatória de um número de itens superior a 25. Nesta situação o limite mínimo é 1,67 (Orfão, 2016).

Tabela 3 - Descrição das ferramentas usadas ao longo do projeto de melhoria.

Ferramenta da Qualidade	Descrição	Exemplo
Histograma	Esta representação gráfica dos dados obtidos permite a interpretação da distribuição dos dados. O exemplo descrito demonstra a frequência do comprimento da parte danificada da ponta da barra destinada a sucata.	
Diagrama de caixa e bigodes	Este diagrama permite detetar visualmente diferenças entre a distribuição dos dados para características/situações diferentes. Indica a posição dos percentis e da mediana, permitindo perceber onde se encontram 25, 50 e 75% dos dados e ainda detetar a existência de outliers. O exemplo descrito demonstra a diferença no comprimento da parte danificada da ponta para diferentes produtos.	

2.4. Fase IV – Melhorar

A finalidade é melhorar o processo, ou seja, reduzir desperdícios, aumentar a qualidade segundo a visão do cliente. Para tal, é necessário recorrer à criatividade, lógica, conhecimentos e, muitas vezes, a analogias. É, por isso, a fase mais crítica de todo o processo, na qual são elaborados de planos de ação, determinação da nova capacidade do processo e definição de tolerâncias operacionais de sistemas em potencial (Junior, 2006).

Geralmente, são usadas várias metodologias dependendo do problema que se pretende suprimir. Soluções para cada tipo de erro como origem humana, definidas segundo Shingo, estão descritas na Tabela 4. Por exemplo, quando existe um erro associado à mão-de-obra que pode ser considerado como erros não intencionais (distração) são embutidos nas operações sistemas anti-erro (*poka-yoke*) que reduzem a necessidade de atenção por parte do operador (Nogueira, 2010). Quando o problema não é bem conhecido, ou a solução não é direta, são usadas outras metodologias, tais como *brainstorming e benchmarking*.

Tabela 4 - Ação perante cada tipo de erro humano. Adaptado de Nogueira, 2010.

Tipos de erros	Descrição	Possíveis soluções
Erros inadvertidos	Erros não intencionais devido a falta de atenção (com frequência aleatória).	Redução da necessidade de atenção por parte do operador: eliminação de fontes de distração; rotatividade de tarefas; períodos de descanso e utilização de dispositivos à prova de erros.
Erros de natureza técnica	Falta de conhecimento, formação ou capacidade técnica para realizar a operação de forma correta.	Formação e alteração tecnológicas. Melhorias do processo.
Erros intencionais	Operadores cometem erros propositados, resultante de problemas com pessoas, com chefias, sociedade e com a empresa.	Soluções de índole psicológica.

2.5. Fase V – Controlar

A finalidade desta etapa é garantir que as melhorias realizadas são mantidas através de métodos bem definidos. Para tal, validam-se as novas métricas e estabelecem-se sistemas de medição e controlo. Geralmente, são criados documentos, como protocolos de operações; são realizadas formações e usadas técnicas para controlo de processos.

Muitas vezes recorre-se a metodologias de controlo com base na análise estatística dos dados retirados do processo, como é o caso de controlo estatístico da qualidade ou SQC. Este inclui várias ferramentas, tais como métodos de aceitação por amostragem, técnicas de SPC (*Statistical Process Control*), DOE (*Design of Experiment*) e análise de capacidade. Por

influência de Deming, a aceitação por amostragem tem decaído contrariamente ao DOE, cuja utilização tem crescido, influenciada por Genichi Taguchi (Orfão, 2016).

No âmbito industrial é comum o uso de SPC, pois permite gerir processos de modo a orientá-lo para a produção de produtos cujas características se encontram o mais próximo possível do seu valor nominal e com menor dispersão. Esta técnica contempla as 7 ferramentas da qualidade (Reis, 2016) e, através do uso de cartas de controlo, permite investigar a existência de causas especiais. Por fim, também é útil conhecer o nível de capacidade do processo ou o seu desempenho e compará-lo com valores precedentes.

3. ESTIRAGEM DE PERFIS DE AÇO INOXIDÁVEL

3.1. Aço Inoxidável

O aço inoxidável, conhecido pela sua capacidade de não oxidar em ambientes normais, razão pela qual está presente em variadas estruturas modernas, é uma liga cuja base apresenta ferro e crómio. É este segundo elemento, presente em 10,5% no mínimo, que lhe confere a resistência à corrosão tão desejada (Andrade M. L., Cunha, Gandra, & Ribeiro, 2000). Isto acontece porque promove a formação de um óxido protetor na superfície do metal base – a chamada camada passiva (Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011) (Andrade M. L., Cunha, Gandra, & Ribeiro, 2000).

Adicionalmente, o aço contém outros metais que atuam como elementos de liga (Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011). Geralmente são usados níquel, molibdénio e/ou cobre, os quais melhoram a resistência à corrosão e as propriedades mecânicas (Andrade M. L., Cunha, Vieira, & Keller, 1996). Dependendo da sua composição, ou seja, do tipo de metais adicionais, respetivas proporções e microestrutura, o aço inox pode ser classificado em cinco categorias: aços Austeníticos, Ferríticos, Martensíticos, Duplex e Endurecidos por precipitação. As suas características estão descritas nas tabelas 6 e 7. Os exemplos aqui apresentados, conforme a norma europeia, são os utilizados pela empresa na qual decorreu o estágio, encontrando-se em destaque (negrito) os mais usados a nível mundial. A Tabela 5 apresenta a transcrição entre as normas americana e europeia, bem como a simbologia usada no presente trabalho.

Tabela 5 - Designação de algumas grades segundo diferentes normas e respetiva classificação.

AISI	EN	Símbolo	AISI	EN	Símbolo
303	1.4305	4305	410	1.4006	4006
304	1.4301	4301	420	1.4021	4021
304L	1.4307	4307	409	1.4512	4512
316	1.4401	4401	430	1.4016	4016
316L	1.4404	4404	444	1.4521	4521
316Ti	1.4571	4571	630	1.4542	4542

Na verdade, existem mais de 100 tipos de aço inoxidável, cada um com propriedades mecânicas e físicas únicas, produzidos de acordo com a especificação nacional ou internacional (International Stainless Steel Forum, 2016).

Tabela 6 - Comparação entre as principais classificações de aços inox.

Classificação	Composição	Propriedades	Exemplos	Referências
Austeníticos	Ligas de ferro, cromo e níquel (8%) com baixo teor de carbono	Têm boas propriedades mecânicas, boa soldabilidade, fáceis de trabalhar a frio e resistentes à corrosão; são não-magnéticas, mas quando endurecidos por deformação apresentam propriedades magnéticas ligeiras. A adição de elementos de liga e a redução do teor de carbono melhoram a resistência à corrosão.	1.4305, 1.4301 , 1.4307, 1.4401 e 1.4404	(Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011) (SSINA, 2016)
Ferríticos	Ligas de ferro e cromo (12 a 17%) com baixo teor de carbono	São magnéticas e resistentes à corrosão em meios menos agressivos; apresentam boa ductilidade e soldabilidade razoável. Não são endurecíveis por tratamento térmico, mas endurecem moderadamente por trabalho a frio.	1.4016 , 1.4512, 1.4521	(Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011) (Andrade M. L., Cunha, Gandra, & Ribeiro, 2000) (SSINA, 2016)
Martensíticos	Ligas de ferro e cromo (12 a 14%) com alto teor de carbono	São magnéticas e endurecíveis por tratamento térmico. Quando temperados tornam-se muito duros e pouco dúcteis, mas resistentes à corrosão em ambientes normais. Quando recozidos são suscetíveis à corrosão atmosférica.	1.4006 , 1.4021	(Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011) (SSINA, 2016) (Mathers, 2016)
Duplex	Liga de cromo (18% a 28%), níquel (4,5% a 8%) e molibdênio (2,5% a 4%)	Apresentam duas fases distintas com características de ambos os grupos: austenítico e ferrítico. São duas vezes mais fortes do que aços inox regulares do tipo austenítico e ferrítico. Apresentam melhor tenacidade e ductilidade do que materiais ferríticos e boa resistência à fratura face ao aço austenítico.		(Andrade M. L., Cunha, Gandra, & Ribeiro, 2000) (OMICS, 2015) (Domingues, 2015)

Tabela 7 - Comparação entre as principais classificações de aços inox. (continuação)

Classificação	Composição	Propriedades	Exemplos	Referências
Endurecidos por precipitação	Liga de ferro com crómio (12% a 17%), níquel (4% a 8%) e molibdéneo (0% a 2%)	A matriz base é martensítica, austenítica ou semi-austenítica, de baixo carbono, endurecida pela precipitação de compostos devido à adição de alumínio, cobre, titânio e nióbio isolados ou combinados. A sua resistência à corrosão é semelhante à dos austeníticos e resistência mecânica comparável à dos martensíticos.	1.4542	(Mathers, 2016)

3.2. Aplicações

Este material é encontrado em diversas áreas, sob diversas formas, como descrito na Tabela 8. No quotidiano, vemos a sua aplicação em cozinhas, eletrodomésticos, automóveis e outros veículos, em fachadas, elevadores e escadas rolantes. Ainda em instalações industriais e na medicina, como equipamentos e ferramentas cirúrgicas, na indústria alimentícia e construção civil (Andrade M. L., Cunha, Gandra, & Ribeiro, 2000). A Figura 9 apresenta a distribuição do aço inoxidável segundo os vários setores, a nível mundial.

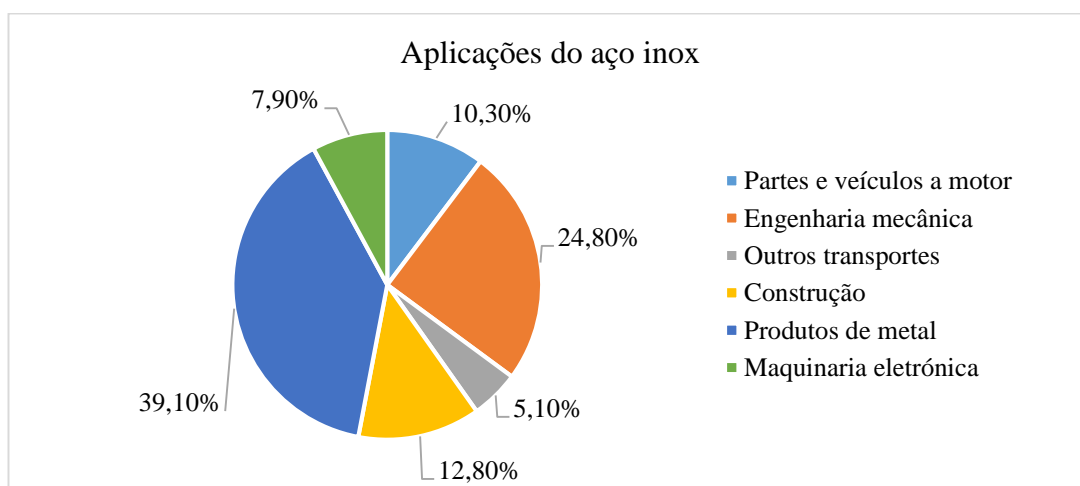


Figura 9 - Utilização do aço inoxidável em vários sectores em 2013. Adaptado de International Stainless Steel Forum, 2015.

Tabela 8 - Aplicações para os diferentes tipos de aço produzidos pela Böllinghaus Steel Lda..

Classificação	Tipo de aço EN	Aplicações	Referência
Austeníticos	1.4305	<i>Hardware</i> , parafusos, <i>zíperes</i> , partes de válvulas e <i>nozzles</i> .	(303 stainless steel material property data sheet - product availability and request a quote, s.d.)
	1.4301	Utensílios domésticos; fins estruturais; equipamentos para várias indústrias: química, naval, farmacêutica, têxtil, entre outras; válvulas, peças de tubulações e tubos de vapor; instalações criogênicas; permutadores de calor; tanques de fermentação e de depósito de cerveja.	(Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011)
	1.4307	Tanques de pulverização de fertilizantes líquidos, de armazenamento de polpa de tomate; aplicações em que é necessário um baixo teor de carbono para restringir a precipitação de carbonetos resultantes de operações de soldagem.	(Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011)
	1.4401	Peças que exigem alta resistência à corrosão localizada; equipamentos de indústrias química, farmacêutica, têxtil, de petróleo, de pasta e papel e de borracha; componentes diversos usados na construção naval.	(Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011)
	1.4404	Peças de válvulas; bombas; tanques; evaporadores e agitadores; condensadores; peças expostas à atmosfera marítima; tanques soldados para armazenamento de produtos químicos e orgânicos; bandejas.	(Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011)
Ferríticos	1.4512	Sistema de exaustão de veículos automotores; tanques de combustível; banco de condensadores.	(Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011)
	1.4016	Adornos de automóveis; calhas; máquinas de lavar roupa; revestimento da câmara de combustão para motores diesel; equipamentos para fabricação de ácido nítrico; aquecedores; portas para cofres; moedas; utensílios domésticos; revestimentos de elevadores.	(Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011)
Martensíticos	1.4021	Cutelaria; instrumentos hospitalares, cirúrgicos e dentários; réguas; medidores; engrenagens; eixos; pinos; rolamentos de esferas; disco de freio.	(Manual Técnico de Aço Inoxidável, 2011)

3.3. Produção de Estirados

Para se produzir barras de aço com determinadas características, quer dimensionais, quer estruturais, o material é processado segundo os passos descritos na Figura 10. Descreve-se de seguida brevemente cada uma das etapas.

A gama de matéria-prima, que chega à receção, sob a forma de varões, é posteriormente cortada, de modo planeado, de acordo com a lista de perfis a produzir, formando lingotes ou biletos. Esta gama varia consoante o processo de laminagem - trem aberto ou trem contínuo.

Na laminagem, a matéria-prima previamente aquecida (Figura 11) sofre uma elevada redução da secção transversal (figuras 12 e 13). Também é nesta fase que a barra adquire a forma geométrica pretendida. As dimensões do produto laminado são superiores ao que se pretende alcançar no produto estirado, pois ainda sofrerão uma segunda redução. Para a Böllinghaus, cada lingote tem a capacidade de produzir 2 a 6 barras.

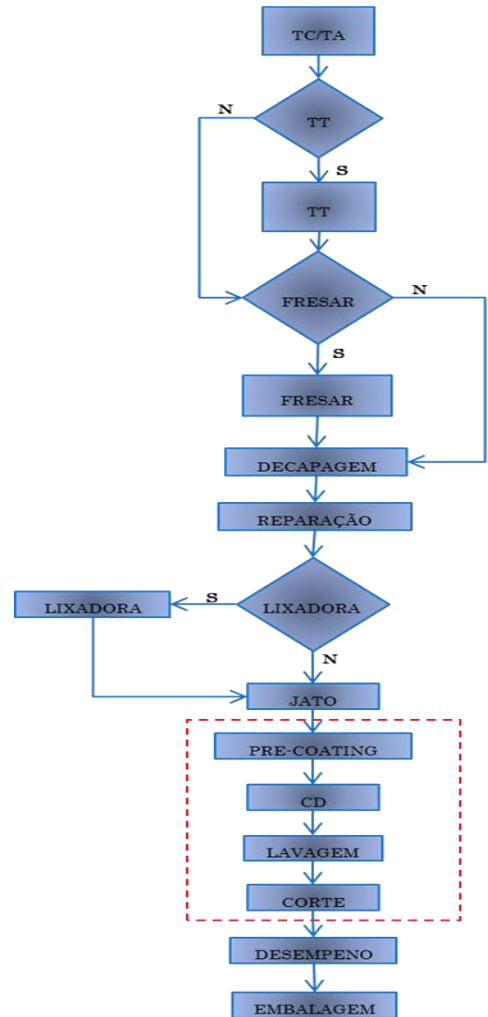


Figura 10 - Fluxograma para produção de estirados.



Figura 11 - Saída do forno de um lingote para trem aberto.



Figura 12 - Produção de barras por laminagem a quente.



Figura 13 - Barras laminadas incandescentes na estenderia.

De seguida, o conjunto de barras pode, ou não, passar pelo tratamento térmico dependendo da necessidade de adquirir maciez. Aqui, o aço ganha óxidos na superfície devido às elevadas temperaturas a que está sujeito e, por isso, algumas *grades* (austeníticos e alguns martensíticos) atravessam a decapagem. Algumas dimensões passam ainda pela fresagem para remover massa de uma das extremidades, o que aumenta a produtividade do setor de estiragem.

A decapagem, estudada por Domingues (2015), tem então como principal função remover impurezas da superfície das barras via química. Este processo baseia-se num banho ácido controlado (solução aquosa de ácido sulfúrico e ácido fluorídrico), durante um determinado período de tempo (variável com a *grade* e área de superfície).

As barras, previamente lavadas e secas, são encaminhadas para a secção de reparação onde são detetados e reparados defeitos pontuais. Riscos, folhamento (tipo escama) e calamina (rugosidade acentuada) são exemplos de defeitos verificados nesta etapa, os quais estão apresentados na secção 3.3.2. Quando o defeito se prolonga ao longo de uma grande área da superfície, o material passa pela lixadora. Esta passagem permite a homogeneização da superfície da barra ao longo do seu comprimento.

Posteriormente, o material passa pelo jato onde ocorre o processo de jateamento. Tal consiste numa decapagem mecânica conseguida pelo bombardeamento com granalha, o que promove a remoção das restantes impurezas presentes na superfície, uniformizando-a ao mesmo tempo que cria rugosidade. Este processo, estudado por Nabeiro (2015), é automático e tem capacidade para jatear várias barras em simultâneo. Do jato, as barras de aço são levadas para a linha de estiragem mais adequada de acordo com a dimensão.

A imersão do material num banho de estiragem – *pre-coating* – a uma temperatura superior a 40 °C e inferior a 60 °C, durante um determinado período de tempo, facilita a adesão do óleo de estiragem na sua superfície. As condições deste banho são muito importantes e, por isso, devem ser acompanhadas de controlo de composição e temperatura.

O processo de estiragem é fundamental na empresa e, apesar de não fazer parte do sector de acabamento, também tem a função de finalização estrutural. Neste processo a barra de aço inoxidável laminada atravessa um orifício, designado por fieira, a qual apresenta dimensões tais que permitem a redução da dimensão inicial. Esta redução é previamente determinada de modo

a que o produto adquira as propriedades desejadas de um material estirado, nomeadamente as propriedades mecânicas (Stahleisen, 2013).

De seguida, a barra é lavada para que seja removido o óleo e levada para a secção de corte. Este procedimento consiste em remover as extremidades, de modo a obter secções transversais lisas e barras sem defeitos. Esta operação pode ser realizada barra a barra ou várias barras em simultâneo. A sequência está representada na Figura 14.



Figura 14 - Sequência de etapas referentes à estiragem.

Finalmente, o material produzido é levado para a secção de desempenho devido à elevada probabilidade de apresentarem empenos – ondulação da barra na direção da face lisa e/ou dos cutelos. Esta é uma deformação plástica, a qual é removida através da introdução de tensões que compensem as já existentes (internas localizadas) originadas em processos anteriores (Teixeira, 2014). A probabilidade de ocorrência de empeno ao longo da barra é maior em perfis de menores dimensões. Este defeito pode ser removido num equipamento que aplica forças em toda barra, segundo uma estrutura aberta. No caso de ondulações pontuais é removido num equipamento nomeado prensa, o qual exerce força nesses mesmos pontos.

3.3.1. Estiragem

A estiragem é um dos processos mais antigos usados na deformação de metais e, por isso, apresenta uma elevada relevância a nível industrial. É realizado à temperatura ambiente e baseia-se na utilização da deformação plástica associada ao material permitindo a mudança da forma do metal (Kumar & Agnihotri, 2013).

Este processo reduz a área da secção transversal da barra original, através da passagem pela fieira (descrita em Kumar & Agnihotri, 2013) aumentando o seu comprimento e, em alguns

casos, alterando a sua forma. É usado na manufatura de barras, tubos e arames (Kumar & Agnihotri, 2013). Quando aplicado a barras laminadas a quente, permite aumentar a resistência à tração de 17 a 27%. Todavia, o material torna-se mais frágil e o alongamento diminui (Zhang H. , 2011).

Nesta fase, é usado óleo para reduzir a tensão superficial aquando da sua passagem pela fieira, tal como demostra a Figura 15. O movimento é auxiliado por um mordente que puxa a barra, como demonstram as figuras 16 e 17, provocando marcas na extremidade da barra, as quais estão apresentadas na secção 3.3.3.. Na Tabela 9 estão descritas algumas das variáveis inerentes ao processo.



Figura 15 - Passagem da barra através da fieira da linha CD2.

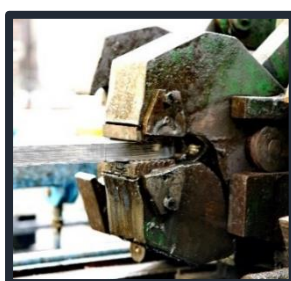


Figura 16 - Mordente.



Figura 17 - Mordente a auxiliar a passagem da barra pela fieira da linha CD2.

Tabela 9 - Variáveis do processo de estiragem que influenciam no seu desempenho.

Variável	Comentário	Referência
Pressão hidráulica ou mecânica	Ambas podem ser usadas na operação de estiragem, mas a pressão hidráulica é preferencial porque permite um controlo apertado da velocidade e pressão aplicadas.	(SSAS, 2001)
Raio nominal da fieira	Deve ser 5 a 10 vezes a espessura do material pois permite um processo mais suave.	(SSAS, 2001)
Condições de atrito	Deve ser minimizada, pois a pressão de contacto geralmente elevada influencia o fluxo do material, as tensões realizadas pela ferramenta e a força necessária para realizar deformação. Por outro lado, a sua minimização leva ao aumento da vida útil da ferramenta; redução do tempo de estagnação, do desgaste de ferramentas e do consumo energético; aumento da produtividade e, por fim, diminuição dos custos de produção.	(Kumar & Agnihotri, 2013)

3.3.2. Material estirado

A passagem ou não pela estiragem distingue um material laminado de um estirado. Este último apresenta uma cor cinzenta uniforme com uma superfície lisa e brilhante. Esta técnica permite uma maior exatidão dimensional de forma consistente, ou seja, na barra ou entre barras; maior resistência à tensão; melhor maquinabilidade bem como melhor qualidade da superfície do produto (Stahleisen, 2013) (Precision Kidd Steel Co. Inc.). Os produtos estirados têm apresentado um aumento no seu consumo, nomeadamente estirados retangulares, como demonstra a Figura 18, o que torna este produto cada vez mais interessante numa visão económica.

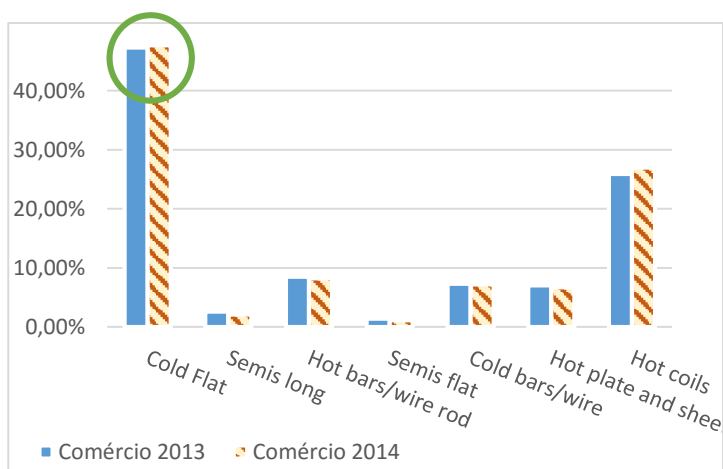


Figura 18 - Comparação do comércio de vários produtos de aço inoxidável em 2013 e 2014 a nível mundial. Adaptado de International Stainless Steel Forum, 2015.

3.3.3. Defeitos

O manuseamento do material pode causar danos mecânicos como arranhões e ranhuras, as quais, por sua vez, resultam na danificação da camada passiva natural do material. Isto diminui a resistência à iniciação da corrosão da superfície. Em adição, a corrosão em algumas áreas pode ser acelerada pelo efeito da corrosão galvânica (SSINA, 2016). Os defeitos, por sua vez, devem ser minimizados antes do processamento, pois a estiragem torna-os mais nítidos (SSINA, 2016). Alguns exemplos de defeitos visíveis antes e depois de estirar estão referenciados na Figura 19.

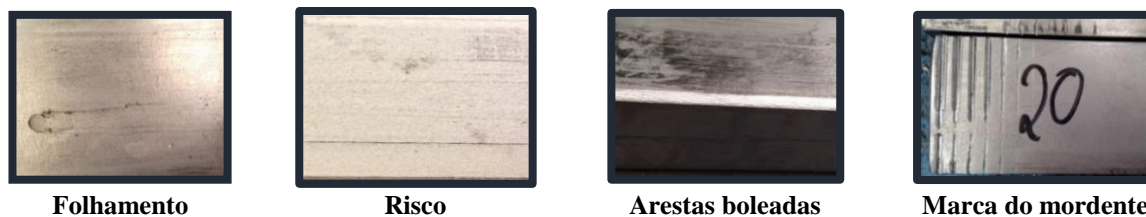


Figura 19 - Defeitos que não são aceites num produto estirado final.

4. CASO DE ESTUDO: REDUÇÃO DE SUCATA DEVIDO A PONTAS

Nesta secção será apresentado com grande detalhe toda a trajetória percorrida no projeto Seis Sigma com foco na análise e redução de pontas no sector de estiragem.

4.1. Fase I – Definir

4.1.1. Especificação do problema e objetivos

O objetivo fundamental associado à redução/eliminação de resíduos durante a manufatura é diminuir a percentagem de sucata de estirados relativamente à atingida pela empresa em 2015, obtendo desta forma um processo mais eficiente. Define-se por percentagem de sucata de um atado, o índice determinado pela equação 2. O KPI (*Key Performance Indicator*) analisado ao longo do projeto será a média aritmética desta percentagem, a qual será também comparada com a média ponderada determinada pela equação 3.

$$\% \text{ Sucata}_i = \frac{\text{peso do atado i laminado} - \text{peso do atado estirado}}{\text{peso do atado i laminado i}} * 100\% \quad (2)$$

$$\% \text{ Sucata ponderada} = \sum_{i=1}^{i=l} \frac{\text{peso do desperdício do atado i}}{\text{peso total de desperdício}} * \% \text{ Sucata}_i \quad (3)$$

É importante referir que a diferença entre o peso do atado estirado após o corte de pontas e o peso do atado laminado deve-se, para além do corte dessas pontas, a outras perdas do processo intermédias. Para efeitos de análise, estas serão consideradas pouco significativas. No entanto, algumas dessas fontes terão impacto no comprimento da barra antes do corte e na variabilidade do processo. Este tema será abordado com maior detalhe na secção 4.3.1..

Outro problema com ainda mais impacto financeiro do que a sucata produzida e que se estende às pontas de sucata assenta na produção de barras curtas (um produto não conforme). No entanto, neste momento, as barras só são removidas no setor seguinte, não contribuindo, por isso, para o peso final de desperdício.

Descrição do problema	Em 2015, foram produzidas grandes quantidades de sucata no processo de estiragem, as quais perfizeram 4,8% da matéria-prima que deu entrada no processo de estiragem. Isto corresponde a uma perda de 845 mil euros neste período.
Objetivo	Pretende-se então reduzir a percentagem de sucata produzida no processo de estiragem de 4,8% para 4,66% (redução em 3%) e a sua variabilidade até 31 de maio de 2016. Isto corresponde a uma redução de perdas de 24 k€.

4.1.2. Delimitação das fronteiras do sistema

Existem vários *inputs* que podem interferir com a sucata produzida, visível no diagrama SIPOC para cada linha em estudo, presente no Anexo I.1.. As condições destas operações (ver Anexo I.2.) e das anteriores devem ser otimizadas com a finalidade de obter produtos de elevada precisão e qualidade. O Anexo I.3. apresenta o processo e a fronteira selecionada.

Fronteira	Para o processo de estiragem, Figura 20, estão disponíveis duas linhas de produção, cada uma com uma máquina de estiragem adequada a uma determinada gama de perfis (Anexo I.2.) havendo intersecção de parte dessa gama. A máquina designada CD1, destinada a perfis de menores dimensões, até 2000 mm ² , apresenta uma maior taxa de ocupação comparativamente à CD2 e produz mais de 80% dos produtos estirados.
------------------	---

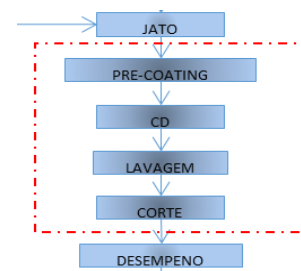


Figura 20 - Fluxograma para produção de estirados.

4.1.3. Caracterização do processo

Verificou-se que o processo é definido, ou seja, existe uma sequência de procedimentos efetuada por operadores de turnos diferentes. Contudo, devido à enorme dependência de mão-de-obra, a variabilidade na execução do processo é acentuada, nomeadamente na fase de corte. Esta influencia posteriormente a repetibilidade do processo. Outro facto relacionado com a variabilidade é, muitas vezes, a troca de pessoal entre setores que, quando realizada entre pessoas com pouca experiência pode por em causa a boa execução das operações.

4.1.4. Recolha e análise da voz do cliente, VOC

A Böllinghaus produz material por encomenda, não havendo qualquer *stock* final de que não se conheça o cliente. Este modo de funcionamento permite, à partida, responder ao cliente de forma satisfatória. Exceções ocorrem quando a necessidade de produção é muito grande e a capacidade da empresa em dar resposta a problemas internos inesperados não é suficiente. Exemplos destes acontecimentos são a produção de barras curtas e falha no fornecimento das etapas intermédias.

Como qualquer processo intermédio, a estiragem deve providenciar o regular abastecimento da secção seguinte para precaver tempos de espera, ou quebras de produção, por falta de material, impedindo atrasos face aos prazos de entrega inicialmente estabelecidos, o que, por sua vez, evita insatisfação dos clientes.

O cliente interno mais próximo do processo de estiragem é a secção de desempenho, ou seja, é um processo interdepartamental, cuja função está descrita anteriormente na secção 3.3. Para corresponder aos seus requisitos é necessário responder de forma adequada às seguintes características: dimensão e comprimento dentro dos requisitos do cliente final (externo) e presença de defeitos na superfície (ver secção 3.3.3.). Assim, o objetivo do processo de estiragem contempla satisfazer todos os requisitos do setor de desempenho com a menor quantidade possível de desperdício.

4.1.5. Definição dos aspetos críticos para o cliente

Aspetos críticos	✓ Dimensão e comprimentos de acordo com a norma/certificação JIS dependendo do cliente final
	✓ Defeitos na superfície existentes devem ser aceitáveis, pouco profundos e a sua quantidade depende da <i>grade</i> do material
	✓ Fornecimento de material ao processo seguinte em quantidades adequadas de modo a impedir a paragem ou reduzir tempos de espera

4.1.6. Análise de *stakeholders*

É essencial avaliar cada componente da organização, Anexo II, relativamente à sua posição na empresa, o que pode implicar um maior ou menor poder de decisão/ação, bem como

ao seu interesse por um determinado assunto. Esta análise serviu então de base para constituir a equipa de melhoria, permitindo incluir os elementos necessários ao bom desenvolvimento do projeto. Definiu-se o formato e frequência de contacto a cada elemento e decidiu-se realizar uma apresentação no início de cada mês, onde seria apresentado o trabalho realizado e conclusões alcançadas.

4.1.7. Definição da equipa de melhoria

Após uma avaliação dos elementos da empresa que poderiam valorizar este projeto, de acordo com o seu interesse no tema e nível de formação, constituiu-se a equipa de melhoria. A Figura 21 demonstra a lista de elementos que a constituem. Inicia-se pela gestão de topo, a qual deve ser informada e englobada em qualquer equipa de melhoria, como citado na secção 2.1.. Para tal, a ponte será feita através do *Champion*, José Santos, diretor de produção. Cada um destes elementos se destaca pelo seu conhecimento a nível do processo e/ou experiência em projetos desta índole. A função dos elementos da equipa está descrita na *Project Charter* presente no Anexo III.2..

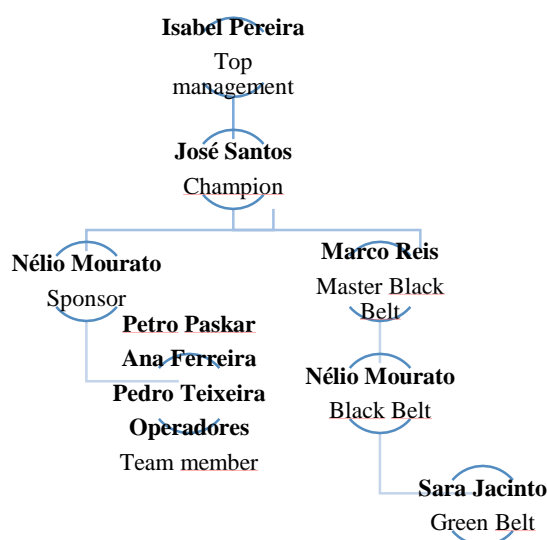


Figura 21 - Equipa de melhoria deste projeto.

4.1.8. Definição detalhada do plano de melhoria

O plano de execução deste projeto foi realizado de modo a delimitá-lo a um período de 3 meses (março, abril e maio). A estrutura segue a sequência DMAIC e as etapas a realizar, bem como datas planeadas, são indicadas no Anexo III.1.. Este plano apresenta indicação dos dias estabelecidos para realizar determinadas tarefas. A época destinada à medição foi repartida com a análise dos dados relativos a 2015 e, por isso, decidiu-se, numa fase inicial, seguir apenas os perfis (a serem produzidos) cuja percentagem de sucata (presente no histórico) era superior a 4,5%. Aquando a finalização desta análise seguiram-se os perfis aqui seleccionados. Por fim,

pode-se encontrar toda a informação referente a esta fase de definição, de forma simplificada e estruturada numa *Project Charter*, no Anexo III.2..

4.2. Fase II – Medir

Na fase Medir, o objetivo é recolher os dados que caracterizem o sistema atual segundo o plano estruturado na fase anterior. De seguida, será apresentado um resumo dos dados registados pela empresa, em 2015, relativos à percentagem de sucata produzida em cada atado.

4.2.1. Seleção e definição dos KPIs

O KPI usado neste projeto é a percentagem de sucata definida na secção 4.1.1., a qual é calculada para cada atado. Considera-se um atado, um conjunto de barras semelhantes, as quais passaram pelas mesmas condições ao longo do processo. A medição dos pesos necessários para a determinação deste índice é realizada pelos operadores através de pontes rolantes acopladas com balanças (Figura 22) e lançada no sistema.

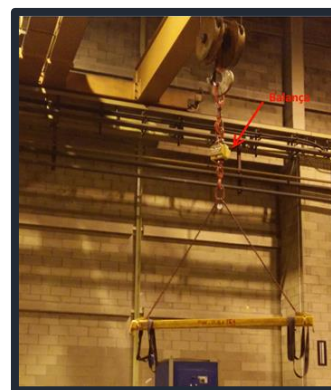


Figura 22 - Ponte rolante com balança.

Para determinação do impacto financeiro, considerou-se que a perda monetária é constante e proporcional ao peso, sendo 2,5 €/kg de sucata produzida. Este indicador será referido de modo a aumentar a perceção do seu efeito na organização.

4.2.2. Análise dos dados referentes a 2015

Antes de iniciar a caracterização das pontas de sucata, de modo a verificar a possibilidade de reduzir a quantidade produzida, é relevante analisar a informação referente ao ano de 2015. Numa fase inicial, será realizada uma análise e síntese do impacto de cada um dos atributos definidos pelas especificações do cliente. Apenas posteriormente, será realizada a análise das pontas de sucata para perfis específicos, os quais apresentem uma contribuição significativa na percentagem global de estirados.

Uma vez que atualmente são produzidos cerca de 700 perfis na empresa em quantidades variáveis, a contribuição na percentagem global de sucata do sector de estiragem de forma isolada é pequena. Por esta razão, a comparação do impacto da sucata produzida por cada um usando um gráfico de Pareto não traria qualquer vantagem. Assim, a metodologia de interpretação desses resultados seguiu o esquema representado na Figura 23, onde se encontra também indicado em que percentagens são produzidos cada perfil. A fração restante para perfazer 100% corresponde a produtos noutras condições (externos, retrabalho, entre outros). Para além disto, está indicado também as componentes que serão avaliadas para cada um dos perfis.

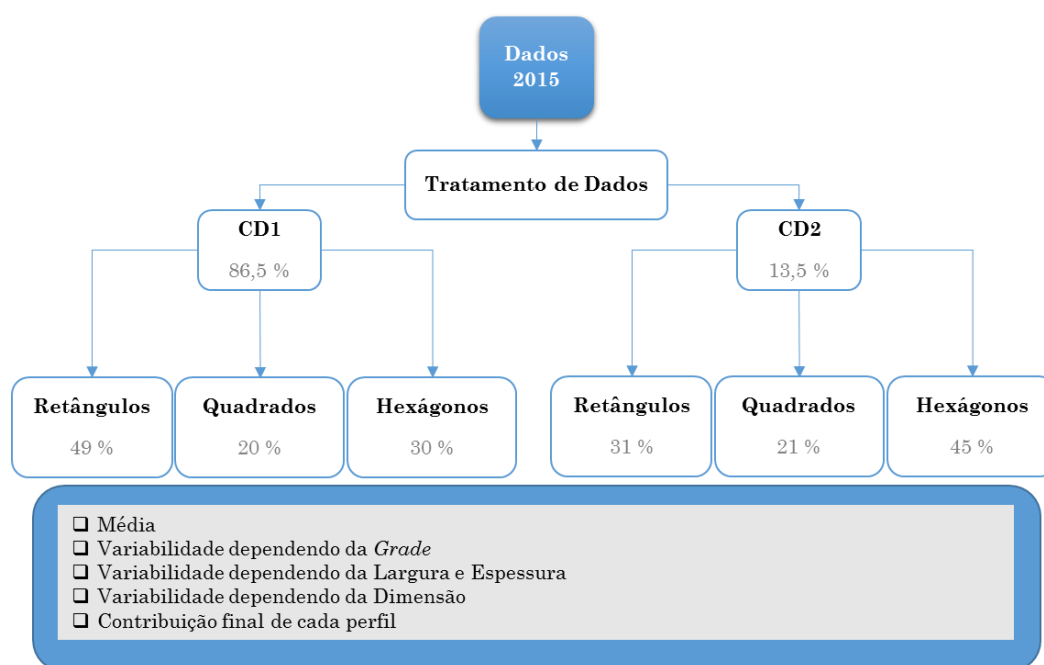


Figura 23 - Representação dos passos de análise de dados de estirados referentes ao ano de 2015.

Neste seguimento, foram estudadas ambas as linhas de estiragem em paralelo (ver Anexo I.3.). Esta opção faz todo o sentido, uma vez que as condições e características dos perfis produzidos em cada linha são distintas (Anexo I.2.). Isto permite ainda verificar se, na verdade, os perfis que têm sido mais estudados pela organização são aqueles que merecem esforço por parte desta, em processos de melhoria.

No que se refere à análise de dados industriais é muito importante ter atenção ao conceito e credibilidade da informação com a qual estamos a lidar, ou seja, compreender o seu significado e perceber se podem ser válidos, ou não. Nestes casos práticos ocorrem muitas vezes

erros de coleta de dados, quer devido à má inserção pelo operador, quer a eventuais erros de programação/conecção com o servidor. Por este motivo, foi necessário fazer uma seleção dos dados relativos ao corte de estirados referentes ao ano civil de 2015. Neste sentido, apenas foram eliminados valores nos quais havia garantia de que estariam associados a erros. Decidiu-se manter os restantes dados uma vez que a sua exclusão não tinha justificação.

Tal como se encontra representado na Figura 23, pretende-se compreender se a *grade* do material está associada à percentagem de sucata produzida; se a geometria é um fator importante, ou mesmo, se existe alguma relação entre largura ou espessura e o KPI.

É relevante citar que perfis de *grade* 1.4305 provenientes do TA (trem aberto) de grandes dimensões (espessura maior do que 30 mm) foram retirados desta análise. Esta decisão deve-se ao facto de já ser sabido, por experiência interna, que esta *grade* apresenta muitos problemas durante a sua produção, levando a uma elevada quantidade de sucata. Em alguns casos, como se verifica de seguida, ainda assim esta *grade* apresenta uma elevada contribuição na sucata produzida, o que demonstra que perfis de *grade* 1.4305, provenientes de TC (trem contínuo), apresentam elevadas produções de sucata.

LINHA DE ESTIRAGEM CD1

Esta linha de estiragem é a mais antiga, com cerca de 6 anos, e está capacitada para produzir perfis cuja área de secção reta é menor do que 2000 mm², ou seja, concebe os perfis de menores dimensões (Figura 24).



Figura 24 - Material laminado em stock da linha CD1.

Retângulos

Esta designação insere todo e qualquer perfil cuja largura difere da espessura (Figura 25). Para este grupo, a média aritmética da percentagem de sucata obtida é de 4,44% e a média ponderada alcança os 5,55%.



Figura 25 - Exemplos de perfis retangulares produzidos na linha CD1.

No que se refere à influência da *grade* na percentagem de sucata, verificou-se que se a análise tiver em conta a quantidade de sucata produzida, a *grade* 1.4307 é aquele que mais contribui para a percentagem de sucata ponderada. No entanto, se for observada a média

aritmética, o KPI definido, observa-se que não apresenta destaque. Isto é demonstrado na Figura 26 e o estudo com mais detalhe encontra-se no Anexo IV.1.. Em anexo encontram-se ainda a análise da variação da percentagem de sucata consoante a largura e espessura, na qual se observou que na zona intermédia da gama para o qual o equipamento está especificado, o índice de sucata tende a ser menor.

Na Figura 27 é possível verificar a existência de muitos *outliers*, com exceção das *grades* 1.4005 e 1.4006, os quais também apresentam um menor valor de percentagem de sucata média. Por isso, é essencial direcionar os esforços para as *grades* mais usados; aqueles que também apresentam um número significativo de *outliers*. A determinação destes valores atípicos considera que o valor de sucata obtido é superior a 1,5 vezes a amplitude interquartil (Q3-Q1) (Minitab Inc, 2016).

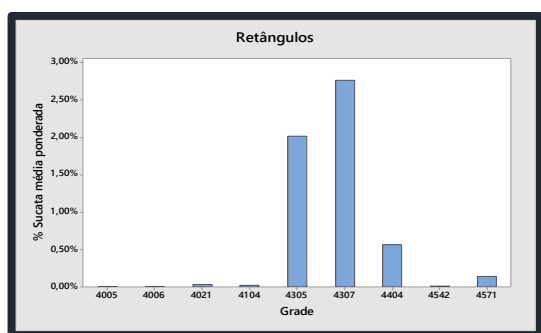


Figura 26 - Contribuição de cada grade de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis retangulares produzidos na linha CD1.

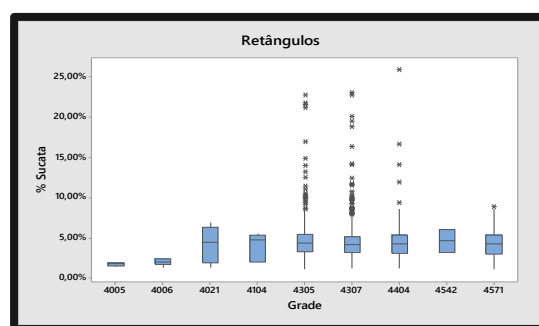


Figura 27 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis retangulares produzidos na linha CD1.

Após cada análise, registou-se uma lista com os 10 perfis e os 5 comprimentos que demonstravam maior percentagem de sucata (ver Anexo IV.1.). Conclui-se, por fim, que não existe nenhuma tendência de produção de sucata associada às características dimensionais do produto. No entanto, existem perfis que devem ser alvo de análise, assim que possível, de modo a verificar se existe a possibilidade de reduzir a percentagem de sucata.

Quadrados

Os quadrados (Figura 28) produzidos na linha CD1 apresentaram uma percentagem de sucata ponderada de 7,44%. No entanto, a média aritmética é de 5,01%. Isto deve-se ao perfil mais produzido apresentar uma percentagem média de sucata considerável, fazendo aumentar este valor.

Para além disto, 37,64% dos quadrados produzidos apresentaram uma percentagem de sucata superior a 7%. Na produção de perfis quadrados, a *grade* 1.4305 é a que apresenta maior destaque (Figura 29). A média de percentagem de sucata desta é superior às restantes, com exceção das que são pouco produzidas (1.4005 e 1.4401). Esta está também acoplada a um elevado número de *outliers* à semelhança do 1.4307, como revela a Figura 30. Observou-se ainda que a *grade* usada nos produtos mais vendidos é 1.4307 e, no entanto, não é esta que mais contribui para a percentagem de sucata, pelo que é corroborada a dificuldade de produção de produtos de *grade* 1.4305, pois indica que este conduz a um maior desperdício.



Figura 28 - Exemplo de um perfil quadrangular produzidos na linha CDI.

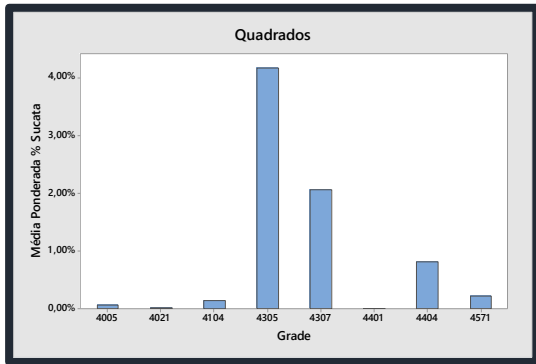


Figura 29 - Contribuição de cada *grade* de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis quadrangulares produzidos na linha CDI.

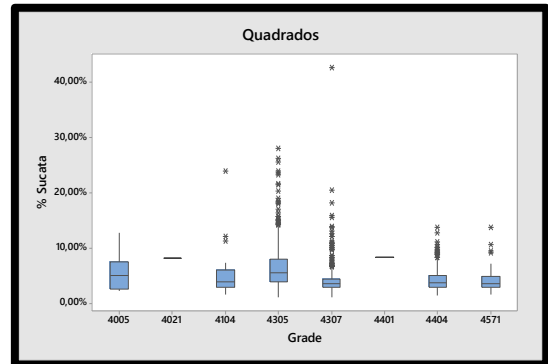


Figura 30 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes *grades* de aço inox para perfis quadrangulares produzidos na linha CDI.

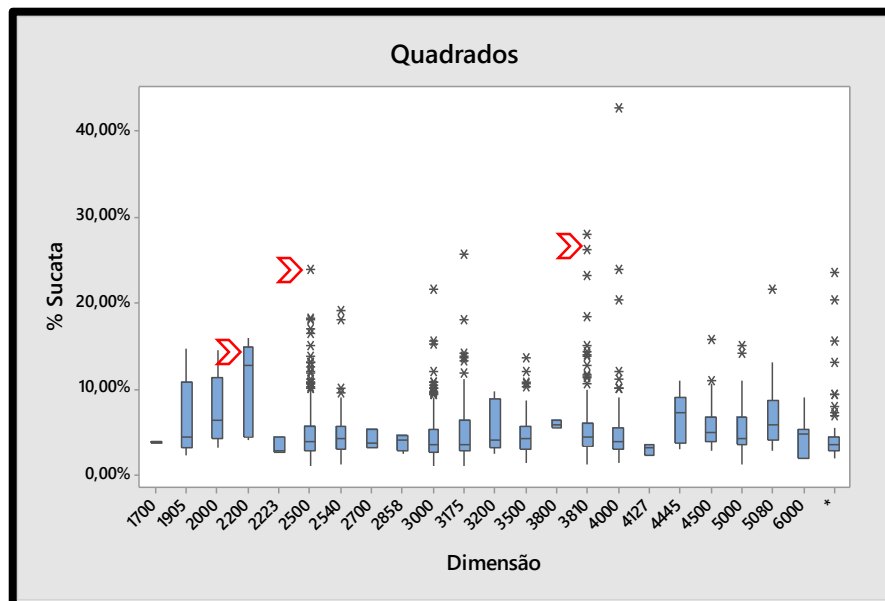


Figura 31 - Variabilidade dos perfis produzidos na linha de estiragem CDI em termos de percentagem de sucata produzida.

Quando avaliado o efeito da dimensão nestes produtos, nota-se uma variação da média de percentagem de sucata (ver Anexo IV.2.). A Figura 31 demonstra não só essa variação, mas também a instabilidade do processo detetada pela presença de *outlier*.

Hexágonos

No caso dos hexágonos produzidos na linha de estiragem CD1 (Figura 32) a percentagem de sucata média foi de 4,41%. Contudo, se se considerar a taxa de produção de desperdício, referida na secção 4.1.1., a percentagem ponderada é de 6,23%.

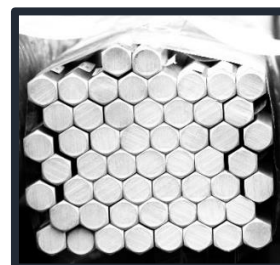


Figura 32 - Exemplos de perfis hexagonais produzidos na linha CD1.

A Figura 33 mostra que a *grade* 1.4404 apresenta maior contribuição, o que provavelmente se deve ao facto de ser o mais produzido. Isto pode ser concluído, uma vez que a sua média é semelhante à dos perfis 1.4305 e 1.4307. Estes também apresentam uma elevada quantidade de *outliers* (Figura 34).

Relativamente à percentagem de sucata associada a cada dimensão, representado na Figura 35, esta apresenta, no geral, variabilidade dentro do mesmo produto e entre produtos diferentes também evidente, em alguns casos. Esta variação está demonstrada no Anexo IV.3..

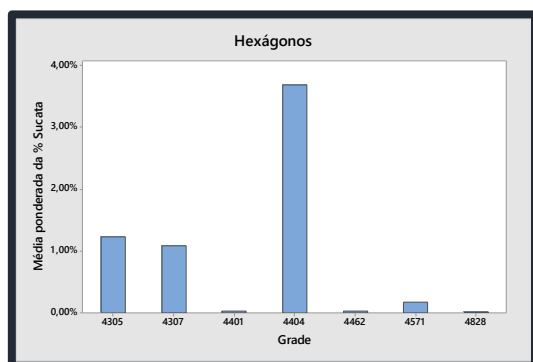


Figura 33 - Contribuição de cada grade de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis hexagonais produzidos na linha CD1.

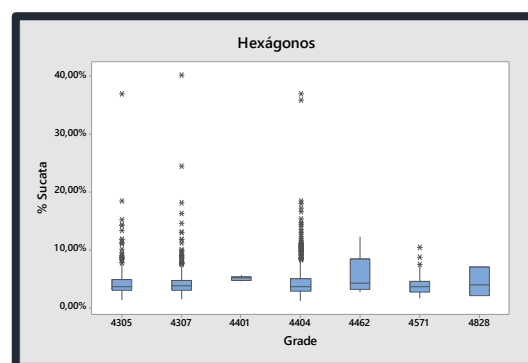


Figura 34 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis hexagonais produzidos na linha CD1.

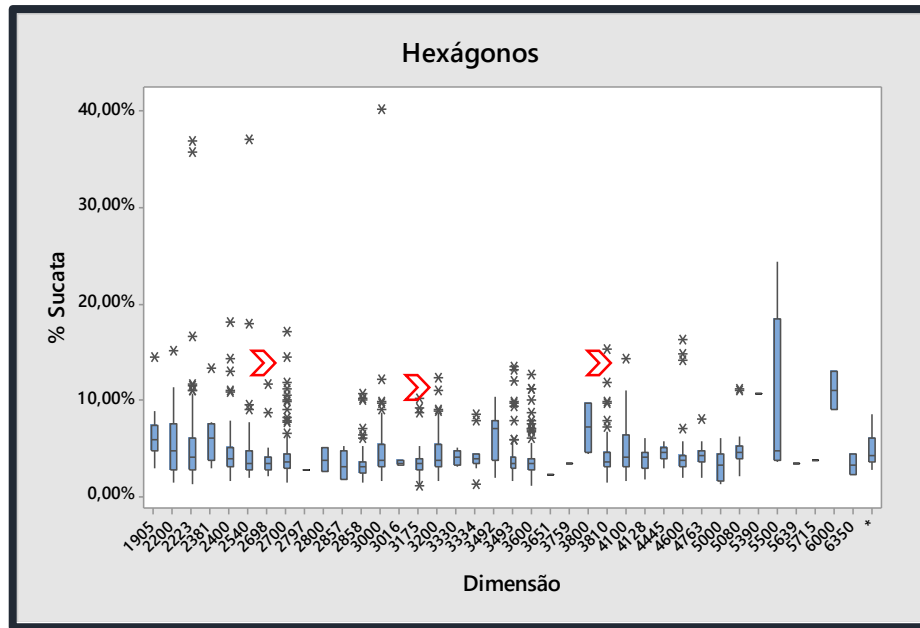


Figura 35 - Variabilidade dos perfis produzidos na linha de estiragem CD1 em termos de percentagem de sucata produzida.

LINHA DE ESTIRAGEM CD2

O equipamento foi adquirido recentemente, sendo a gama de perfis produzidos menor do que na linha CD1. A gama a que opera permite a produção de perfis de maiores dimensões (áreas de secção transversal superiores a 1200 mm²).



Figura 36 - Material laminado em stock da linha CD2.

Retângulos



Figura 37 - Exemplos de perfis retangulares produzidos na linha CD2.

Exemplos de perfis retangulares produzidos na linha CD2 estão representados na Figura 37. Estes apresentaram uma percentagem de sucata média ponderada de 6,73%, em 2015, e uma percentagem de sucata média de 4,23%. Neste caso, os perfis de *grade* 1.4404 foram os mais produzidos e, mesmo nestas circunstâncias, são dos que contribuíram menos para a percentagem de sucata. Isto porque a gama de valores de percentagem de sucata alcançada é menor comparativamente às *grades* 1.4307 e 1.4305.

As *grades* com maior contribuição são, mais uma vez e à semelhança dos retângulos da linha CD1, os mais usados; no entanto, a *grade* 1.4305 tem aqui maior relevância (Figura 38). Na Figura 39, observa-se que os perfis desta *grade* apresentam maior variabilidade do que os outros, à exceção de 1.4571.

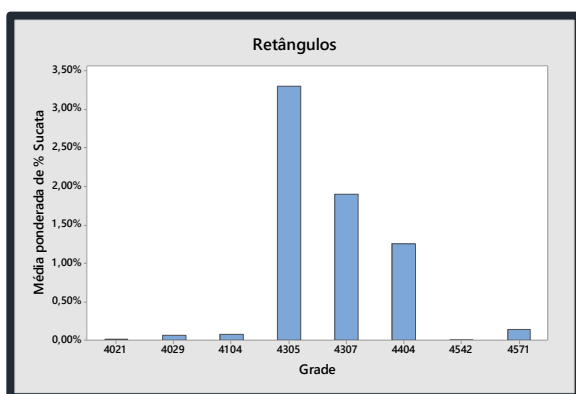


Figura 38 - Contribuição de cada *grade* de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis retangulares produzidos na linha CD2.

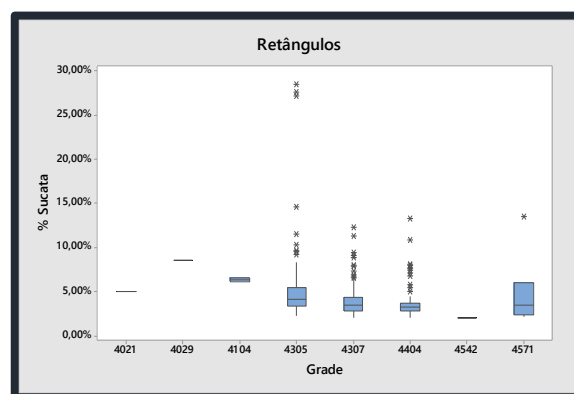


Figura 39 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes *grades* de aço inox para perfis retangulares produzidos na linha CD2.

Quando se realizou a análise dos valores relativamente à dimensão, apresentado na Figura 40, observou-se a existência de menos *outliers*. Todavia, a gama de valores de percentagem de sucata aqui alcançada é efetivamente superior à da linha mais antiga.

No Anexo IV.4., encontra-se a análise dos perfis relativamente ao efeito da espessura e da largura. Neste estudo, verificou-se que, de forma semelhante à CD1, a zona intermédia da gama de operação apresenta valores de percentagem de sucata menores e abaixo da média. Por outro lado, quando investigado o impacto da largura, não se observa o mesmo resultado, sendo que perfis casuais apresentam grande destaque (quase o dobro da média).

6,39%. Por outro lado, a *grade* 1.4104, com elevada variação da percentagem de sucata do atado, pouco contribui para a percentagem global.

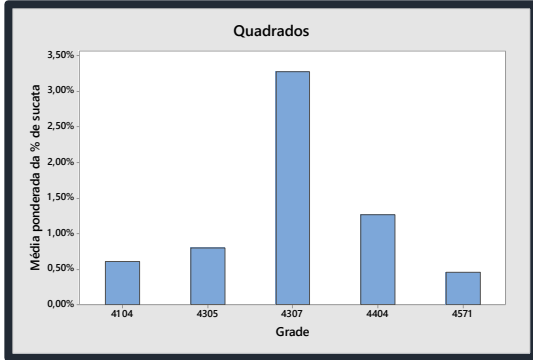


Figura 42 - Contribuição de cada grade de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.

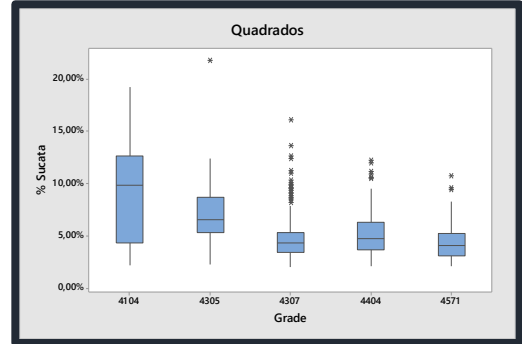


Figura 43 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.

Observando o efeito da dimensão na Figura 44, nota-se uma zona da gama cuja variabilidade é semelhante entre si (acima do quadrado de 40 mm de largura). Este mesmo perfil é um dos mais produzidos e apresenta um elevado número de *outliers*. Verifica-se também que o perfil quadrado de dimensão 19,05 mm apresenta uma média muito superior aos restantes. Todavia, este é produzido na linha CD1 atualmente.

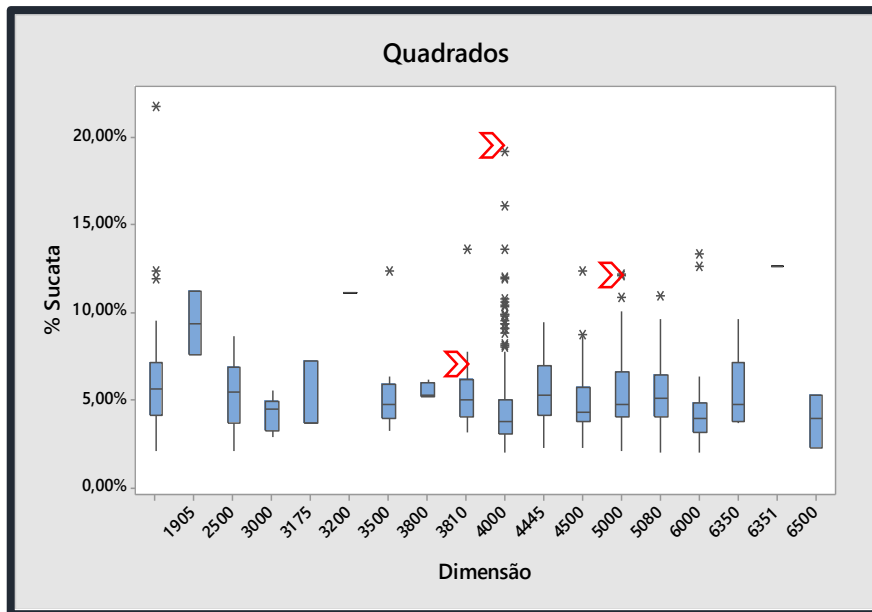


Figura 44 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis quadrangulares produzidos na linha CD2.

Hexágonos

Os hexágonos de maiores dimensões, Figura 45, por sua vez, apresentaram uma percentagem de sucata média de 5,02%. Quando ponderada com o desperdício produzido (secção 4.1.1.) o índice aumenta para 7,59%. Para além disto, 35,72% dos dados apresentavam uma percentagem de sucata superior a 7%.



Figura 45 - Exemplos de perfis hexagonais produzidos na linha CD2.

De forma análoga aos perfis anteriores, a *grade* 1.4404 apresenta grande impacto provocado pela sua elevada produção e pelos imensos *outliers*, como observado nas figuras 46 e 47. Esta *grade* apresenta o mesmo comportamento na linha CD1.

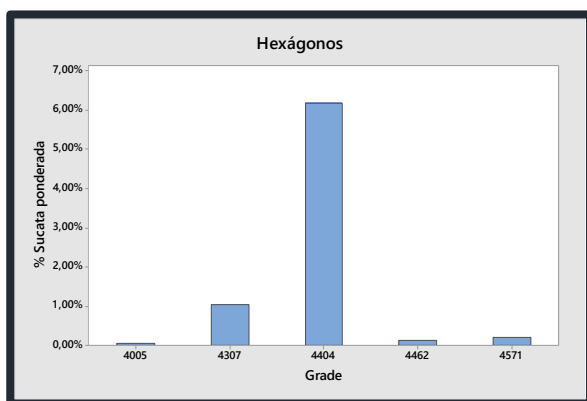


Figura 46 - Contribuição de cada grade de aço inox usado na produção de perfis para a percentagem de sucata média de estiragem de perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.

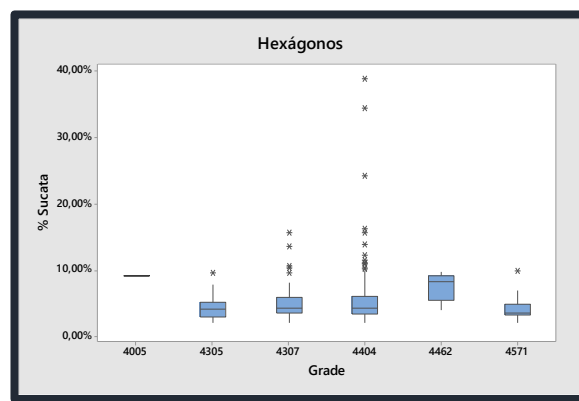


Figura 47 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.

Relativamente à dimensão, na Figura 48, alguns perfis apresentam grande destaque, principalmente por motivos associados à sua variabilidade. Os restantes perfis apresentam uma média de percentagem de sucata muito semelhante. Esta análise encontra-se descrita com mais pormenor no Anexo IV.6..

Por fim, nesta análise, definiram-se os produtos a estudar, os quais estão descritos na Figura 49. Aqui, também é resumida a percentagem de sucata média associada a cada perfil. A seleção dos produtos a analisar foi baseada no valor elevado da média de sucata, na existência de muitos *outliers* (*) ou devido à variabilidade dos perfis em causa (**).

Conclui-se, por fim, que, no geral, a variabilidade entre perfis e entre *grades*, deve ser então validada e compreendida. Verificou-se ainda que *outliers* para situações de desperdício muito baixo eram pouco frequentes.

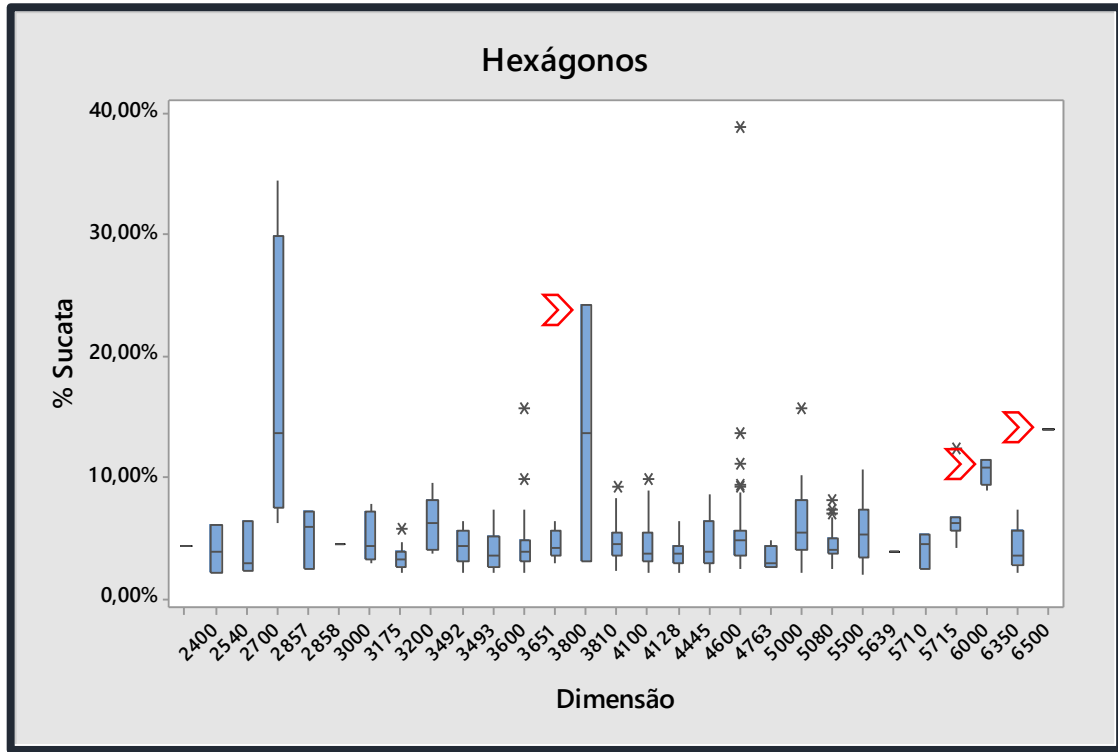


Figura 48 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades de aço inox para perfis quadrangulares produzidos na linha CD2.

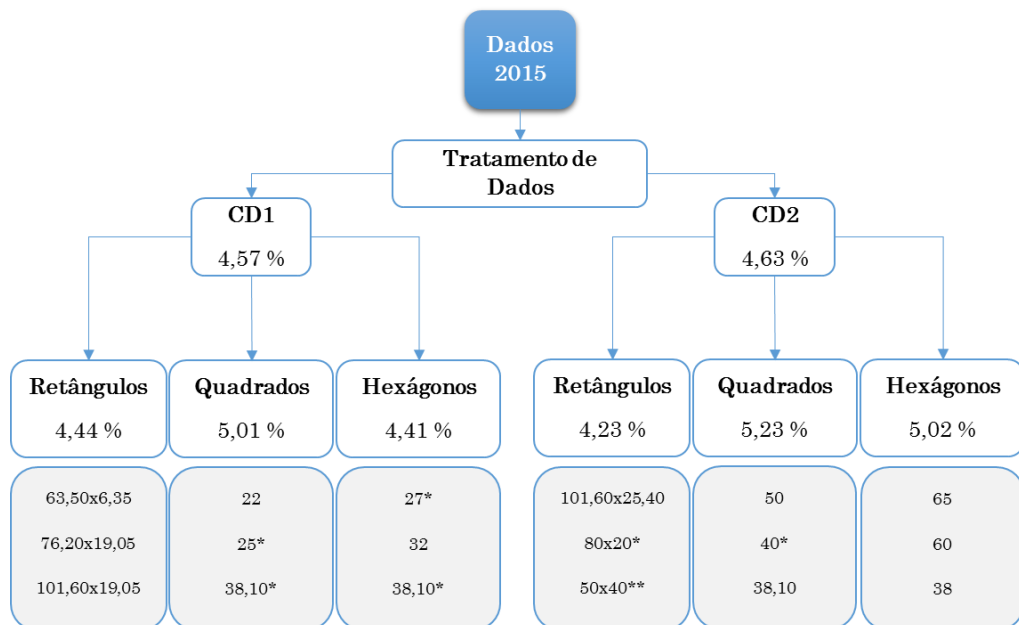


Figura 49 - Seleção dos perfis com análise prioritária.

4.2.3. Seleção e descrição do sistema de recolha de dados

A empresa abordou a caracterização dos perfis, mediante um problema de análise da sucata produzida, para conseguir compreender se há oportunidade de redução do comprimento das pontas de sucata e verificar se o processo de estiragem se encontra estabilizado. Nas tabelas 10 e 11, encontra-se a descrição das variáveis a medir, enquanto a folha de registo é apresentado no Anexo V. A grandeza usada neste sistema de medição foi o comprimento (das barras e das pontas), na qual foi considerada a escala milimétrica.

As medições foram realizadas para um só produto estirado de uma determinada *grade*, perfil, dimensão e especificação (externa) do comprimento, seguindo a metodologia definida para cada linha de estiragem (Tabela 12). O procedimento de medição do comprimento difere entre linhas de estiragem por motivos de *layout*. Este obstáculo levou à necessidade de medição de mais variáveis do que seria obrigatório se fosse possível medir a barra inteira antes do corte da barra. No entanto, esta situação iria reduzir a produtividade do processo de corte. É importante referir que, devido a muitas causas externas, o processo de medição não foi fácil e, por isso, teve de sofrer reestruturação ao longo da etapa de medição. Isto contribuiu, por outro lado, para a invalidação de algumas medições.

Para efeitos de medição, considerou-se essencial recolher amostras de modo contínuo até que o total de amostras para o mesmo produto estivesse entre 25 e 30 amostras. Em alguns casos, este valor não foi conseguido, uma vez que o número de atados e respetivas barras (do mesmo perfil) produzidos não o permitiu. Entende-se por atado um conjunto de barras com as mesmas características e produzido nas mesmas condições.

Definiu-se amostra cada medição de uma determinada característica de uma barra, obtendo-se assim uma observação individual. Esta decisão foi tomada de modo a permitir a deteção de alterações no processo quando as barras são processadas em etapas distintas. Em alguns casos, os atados apresentam a etapa de laminagem comum (afinações de trem) sendo produzidos sequencialmente, mas nas operações seguintes a mesma sequência não é garantida.

A medição das variáveis relacionadas diretamente com as pontas (PM_tot, PM_boa, PT_tot, PT_boa, vinco e fresa) realizou-se com uma fita métrica comum, a qual acarreta um erro de medição de cerca de 1 mm. Por outro lado, o comprimento das barras foi medido usando a régua acoplada ao equipamento de corte, o qual apresenta um erro de medição superior

Tabela 10- Variáveis medidas para análise do comportamento do processo de estiragem.

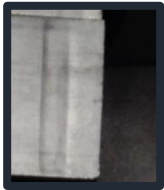

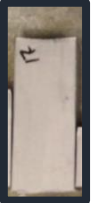
Sigla	Variável	Descrição
PM_tot	Ponta total do mordente	<p>A ponta do mordente (frente) é a primeira ponta a atravessar a fieira e é assinalada pela marca do mordente. Neste caso foi registado o comprimento total máximo da ponta obtido (da extremidade da frente da barra até ao corte).</p> 
vinco	Vinco	<p>Os perfis que passam em ambas as linhas de estiragem apresentam esta marca, a qual é característica da ponta da frente. Contudo, na linha CD2, o vinco apresenta maior contribuição em problemas existentes no desempenho – sector posterior ao corte de estirados – uma vez que dificulta a operação. Por este motivo, apenas foi medido nos perfis estirados na linha CD2.</p> <p>Para realizar a medição considerou-se a distância máxima, em milímetros, entre a extremidade da ponta da frente e a segunda marcação. Em situações de presença de 2 vincos, que ocorre quando o mordente não agarra a barra na primeira tentativa, considerou-se sempre a marcação mais distante da extremidade da barra.</p> 
fresa	Fresa	<p>O material (laminado) só é fresado caso a sua espessura seja menor do que 17 mm, o que faz com que grande parte dos perfis estirados na linha CD1 apresentem esta marcação. A fresa permite que o perfil seja estirado sem que se quebre a barra e evita um elevado esforço quer pelo equipamento quer pelo operador.</p> <p>A extremidade da fresa não é reta e, por este motivo, foi considerada a distância máxima. Nos perfis mais finos, a necessidade de fresa é maior e, por isso, são realizadas em duas faces. Da mesma forma, deve ser medido e registado o comprimento máximo referente à face fresada mais longa.</p>  
PM_boa	Parte boa da ponta do mordente	<p>O valor registado relativo à parte da ponta do mordente considerada boa/aceitável para venda foi o máximo obtido desde o corte até ao início do defeito. Esta variável, por ser subjetiva, apresenta uma validação de medição de 5 em 5 mm, sendo nula se o valor fosse menor que 10 mm. Para efeitos de medição, definiu-se parte boa todo o comprimento da ponta que não apresenta nenhum defeito descrito na secção 3.3.3..</p>
PT_tot	Ponta total de trás	<p>De forma análoga à ponta do mordente, a ponta total de trás corresponde ao comprimento máximo obtido na ponta de trás (desde o corte até à extremidade de trás). Esta ponta apresenta geralmente formas muito distintas entre perfis e até entre grades.</p> 

Tabela 11 - Variáveis medidas para análise do comportamento do processo de estiragem. (continuação)

Sigla	Variável	Descrição
PT_boa	Parte boa da ponta de trás	Esta variável é validada de forma semelhante à PM_boa. Para efeitos de medição, definiu-se parte boa todo o comprimento da ponta que não apresenta nenhum defeito descrito na secção 3.3.3..
Comp_bar_1	Comprimento da primeira barra	Corresponde ao comprimento da primeira barra final cortada a partir de uma barra estirada que origina duas barras finais (acima de 6 m) ou então corresponde à barra final cortada a partir da barra estirada que origina uma única barra (menor que 3-3,5 m).
Comp_bar_2	Comprimento da segunda barra	Corresponde ao comprimento da segunda barra final cortada a partir de uma barra estirada que origina duas barras finais (acima de 6 m).

Tabela 12 - Metodologia para medição de pontas de sucata de estirados.

CD1	CD2
<ol style="list-style-type: none"> 1. Marcar com uma caneta o número correspondente à ordem da barra estirada em ambas as extremidades; 2. Após o corte de cada barra, recolher ambas as pontas; 3. Proceder à sua organização segundo a ordem de corte; 4. No segundo e terceiro corte realizados pelo operador da linha CD1, retirar os valores individuais das barras finais; 5. Medir, com uma fita métrica, as variáveis descritas nas tabelas 10 e 11 referentes às pontas, excluindo o vinco; 6. Registrar valores, em milímetros. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Marcar com uma caneta o número correspondente à ordem da barra estirada em ambas as extremidades se possível; PLANO B: caso contrário, pedir ao operador para não trocar ordem das pontas de trás; 2. Medir Vinco; 3. Verificar comprimento total das barras (incluindo ambas as barras e a ponta de trás) aquando o corte da ponta da frente e registar em observações; PLANO B: caso não seja possível, verificar marcação realizada pelo operador e confirmar comprimento da segunda barra com ponta de trás após o corte da primeira barra; 4. Após o corte de cada barra, recolher ambas as pontas; 5. Proceder à sua organização segundo a ordem de corte; 6. Medir, com uma fita métrica, as variáveis descritas nas tabelas 10 e 11, referentes às pontas, excluindo a fresa; 7. Registrar valores, em milímetros.

4.3. Fase III – Analisar

A fase de análise é uma etapa morosa no sentido em que é necessário percorrer vários caminhos para encontrar informação relevante nos dados recolhidos na etapa anterior. Estes dados são apresentados no Anexo VI. É também nesta fase que o trabalho recai para conceitos de índole estatística. Porém, em primeiro lugar é fundamental compreender o processo e perceber as interações entre as variáveis em análise (Figura 50).

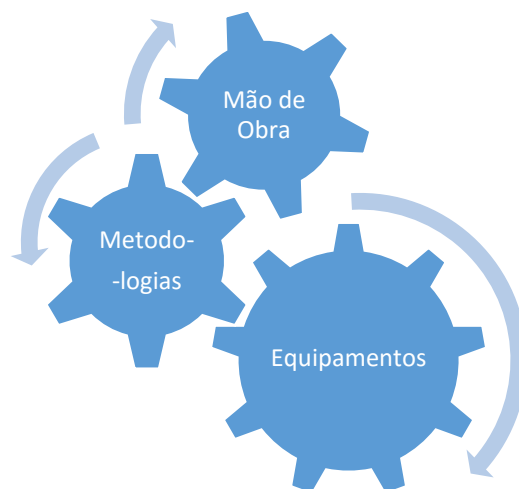


Figura 50 - Interação entre alguns componentes do processo.

Com o intuito de adquirir um maior conhecimento do processo decidiu-se estudar o que efetivamente acontece ao longo deste até ao final e que, por sua vez, pode interferir na percentagem de sucata de estirados.

4.3.1. Diagrama de blocos de decisões de corte

O objetivo deste projeto é, como referido anteriormente, minimizar a quantidade de sucata produzida no sector de estiragem sem aumentar a quantidade de sucata nos outros sectores. Como tal, o conhecimento de todo o processo, desde o início, nomeadamente a partir do planeamento e gestão de matérias-primas, pode ser determinante. Decidiu-se então analisar a metodologia usada para realizar esta gestão e previsão, sendo que o comprimento dos vários materiais (varões, lingotes, billetes, barras e pontas) é nesta um elemento chave.

Analisando apenas os processos com maior impacto no comprimento da barra, obteve-se o diagrama da Figura 51, no qual estão representadas as zonas com maior perda de massa e sinalizadas as potenciais fontes de variabilidade (a vermelho). Em todas as operações existe variação, mas certamente estas etapas são as que apresentam maior influência no comprimento das barras e onde ocorrem, de certa forma, as decisões mais importantes face ao produto a obter.

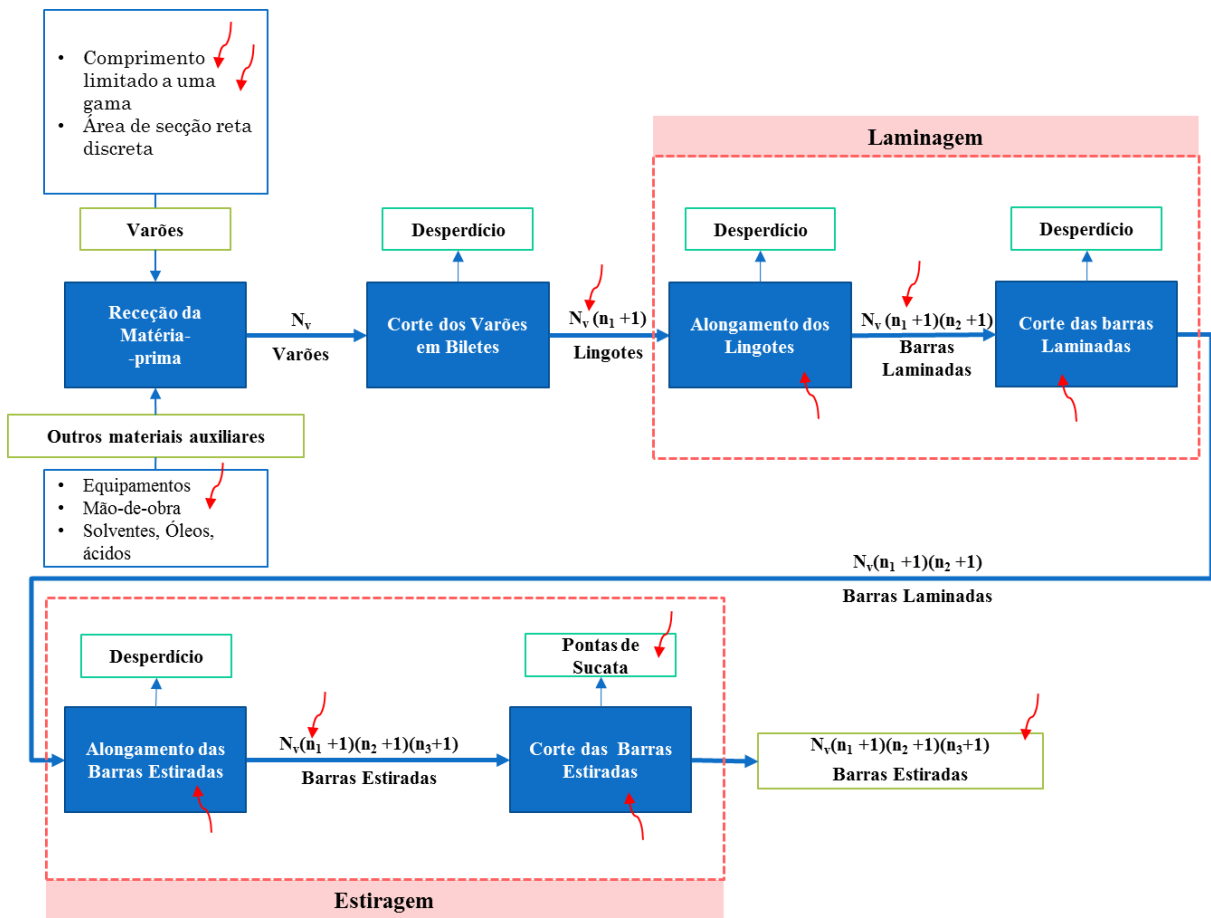


Figura 51 - Representação das zonas do processo onde são tomadas decisões.

Partindo, então, de uma lista definida de materiais, cuja utilização é destinada à linha de laminagem e, conseqüentemente, a uma gama de perfis, são seleccionadas as seguintes variáveis: tipo de varão (geometria e *grade*) e número de varões necessários para perfazer a encomenda. Estas variáveis estão relacionadas com o pedido da encomenda a qual indica, de grosso modo, qual o produto requerido (*grade*, perfil e dimensão); a quantidade, em quilogramas, associada a uma tolerância; e algumas restrições que variam de cliente para cliente (percentagem de curtas aceites, peso máximo de cada atado). Deste modo, e visto que se tem de interligar informação proveniente do final do processo com outra com origem a montante, é importante uma boa gestão de matérias-primas.

Este processo de otimização, com foco na redução do desperdício, D , pode ser descrito de uma forma simplificada, como se indica de seguida. N_v representa o número de varões usados, n_1 a n_3 , o número de cortes nas etapas de corte (matéria-prima, laminagem e estiragem

respetivamente); n_c a encomenda e y , o produto final. A descrição detalhada das etapas do processo apresentadas na Figura 51 encontra-se no Anexo VII.

min $custo = 2,5 * D$

N_v, n_1, n_2, n_3

s.a.

$y = (N_v, n_1, n_2, n_3)$

$y \in n_c$

Restrições de capacidade (Instalações)

Restrições de peso por atado (Cliente)

Para além disto, o comprimento das pontas de estirados é fortemente dependente do comprimento das barras estiradas associado ainda a uma certa variabilidade. Esta última pode ter origem no operador de corte ou noutra causa que interfira na forma e comprimento da parte danificada da ponta.

Procurou-se, por isso, recolher informação sobre as causas que influenciam, direta ou indiretamente, o comprimento da barra estirada. Para tal, recorreu-se aos operadores e outros trabalhadores da empresa para indicarem o que, na sua opinião, poderia influenciar esta variável.

Desta recolha obteve-se a informação descrita no diagrama de causa-efeito da Figura 52. Este diagrama demonstra, mais uma vez, que são muitas as causas intervenientes na variabilidade do comprimento da barra estirada antes do corte. Como conclusão desta análise recomenda-se uma avaliação de todo o processo de modo a quantificar a entrada de variabilidade, o que permite determinar em que fase(s) do processo tem lugar a entrada da maior variabilidade. Tal permitiria avaliar a possibilidade de reduzir essa variação.

O processo de laminagem é muito dependente de operadores, sendo vários os equipamentos controlados por eles. O TA, em particular, envolve seis operadores, o que torna um fator de peso na variabilidade observada do processo. Para além disto, é um processo que requer ritmo e agilidade por parte destes. Nesta operação é, por isso, indispensável o trabalho de equipa, quer por questões operacionais, quer por questões de segurança.

Análise e redução de pontas de sucata no sector de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço

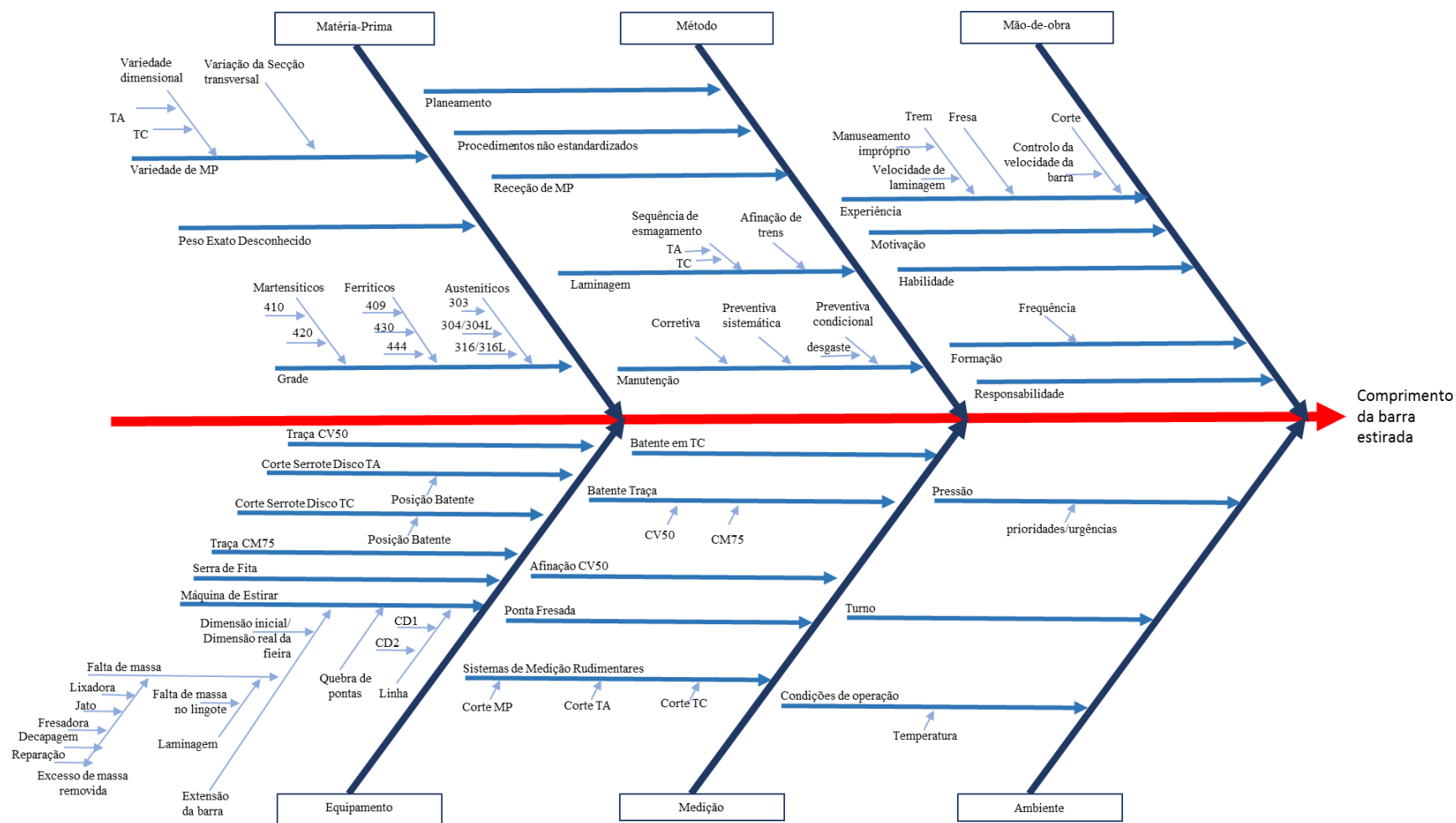


Figura 52 - Diagrama de causa-efeito para o comprimento da barra estirada.

4.3.2. Análise das medições

A etapa de medição caracterizou-se pela necessidade de compreender e caracterizar a variabilidade do comprimento das pontas de estirados e conhecer a possibilidade de redução da percentagem de sucata neste sector. O processo de análise concretizou-se seguindo a sequência descrita na Figura 53, na qual se fez uso dos seguintes *softwares*: Microsoft Office Excel ® e Minitab ®.

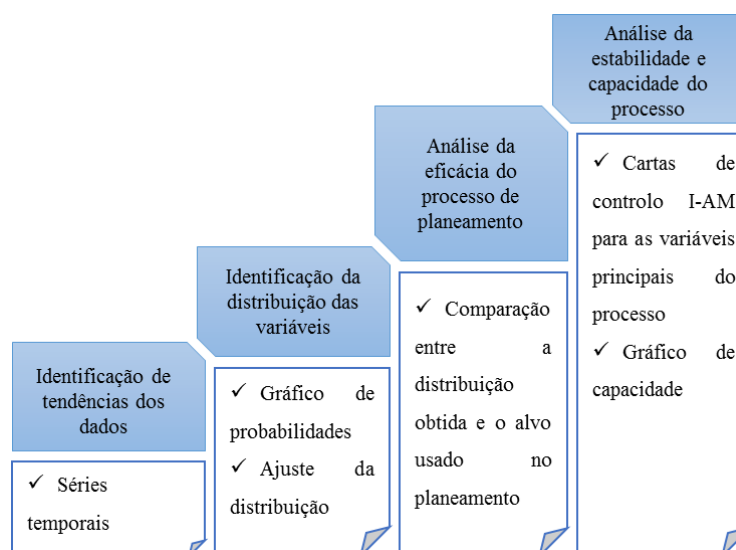


Figura 53 - Sequência de passos para analisar os dados obtidos na fase de medição.

Na primeira etapa da fase da análise, interpretou-se a variação dos dados recolhidos (através de séries temporais) segundo a sequência de processamento na fase de corte. No entanto, não há garantia de que esta ordem de processamento das barras no corte corresponda à mesma ordem no restante processo – aliás, muito provavelmente não foi a mesma.

De seguida, foi investigada a existência de uma possível tendência nas várias variáveis medidas para cada amostra. A falta de alguns dados de medições, nomeadamente do vinco, deve-se a limitações operacionais na fase de recolha de informação processual. A partir destas variáveis, medidas *in loco*, foram determinadas outras variáveis. A Tabela 13 sintetiza o seu significado e a sua fórmula de cálculo.

Após a segunda fase da análise, no qual se procurou caracterizar/modelar a distribuição de valores das variáveis, verificou-se que cada variável era melhor definida por um tipo de distribuição distinto. Comparando a mesma variável, para produtos com o mesmo perfil, mas

de *grades* diferentes (ver Tabela 14 e figuras 54 e 55) esta mudança também se verifica, assim como aquando da subdivisão dos dados devido à existência de alguma característica em apenas parte destes. Esta informação foi particularmente útil para a aplicação realizada posteriormente na análise de capacidade do processo.

Tabela 13 - Variáveis determinadas.

Variável	Descrição	Equação
TOTAL_pontas	Comprimento total das pontas	$TOTAL_pontas = PM_tot + PT_tot$
PARTE_DanM	Comprimento da parte danificada da ponta do mordente	$PARTE_DanM = PM_tot - PM_boa$
PARTE_DanT	Comprimento da parte danificada da ponta de trás	$PARTE_DanT = PT_tot - PT_boa$
TOTAL_boa	Comprimento total da parte boa da barra	$TOTAL_boa = PM_boa + PT_boa$
TOTAL_Dan	Comprimento total da parte danificada da barra	$TOTAL_Dan = PARTE_DanM + PARTE_DanT$
Barra_ideal	Comprimento da barra total considerado bom	$Barra_ideal = Comp_bar_1 + Comp_bar_3 + TOTAL_boa$



Figura 54 - Pontas de sucata do produto 4307 QUA 50.



Figura 55 - Pontas de sucata do produto 4305 QUA 50.

De seguida, serão apresentados dois exemplos de estudos realizados e respetivas conclusões. Os restantes serão apresentados no Anexo VIII, sendo que, no final, será apresentada uma tabela síntese com as conclusões retiradas. Este tipo de análise foi realizado individualmente para todos os produtos seguidos na fase de medição.

Tabela 14 - Modelos que descrevem a variação das variáveis analisadas.

variável	4307 QUA 50		4305 QUA 50	
	Modelo	Valor p	Modelo	Valor p
PM_tot	Transformação de Johnson	0,220	Transformação de Johnson	0,969
Vinco	Transformação de Johnson	0,853	Transformação Box-Cox	0,706
PM_boa	-	-	-	-
PT_tot	Transformação Box-Cox	0,265	-	-
PT_boa	-	-	-	-
TOTAL_pontas	Lognormal	0,274	Exponencial de 2 parâmetros	0,168
PARTE_DanM	Transformação de Johnson	0,107	Transformação de Johnson	0,727
PARTE_DanT	-	-	-	-
TOTAL_boa	-	-	-	-
TOTAL_Dan	Transformação de Johnson	0,642	Exponencial de 2 parâmetros	0,164
Comp_Bar_1	-	-	-	-
Comp_Bar_2	-	-	Transformação de Johnson	0,119
Comp_Barras	-	-	-	-
TOTAL_barra	Transformação de Johnson	0,203	Transformação de Johnson	0,798
Comp_Barr_ideal	Transformação de Johnson	0,321	Transformação de Johnson	0,487

O produto estirado 4307 QUA 50, apresentado na Figura 54, é um exemplo onde se nota a disposição diferenciada das pontas: umas com a parte irregular para o lado esquerdo e outras para o lado direito. O estudo deste caso será apresentado de seguida.

4307 QUA 50

A Figura 56 exibe uma série temporal na qual é apresentada a variação das diversas variáveis. Após análise dos resultados, constatou-se que a amostra 27 corresponde a um *outlier* relativamente ao comprimento da ponta de trás.

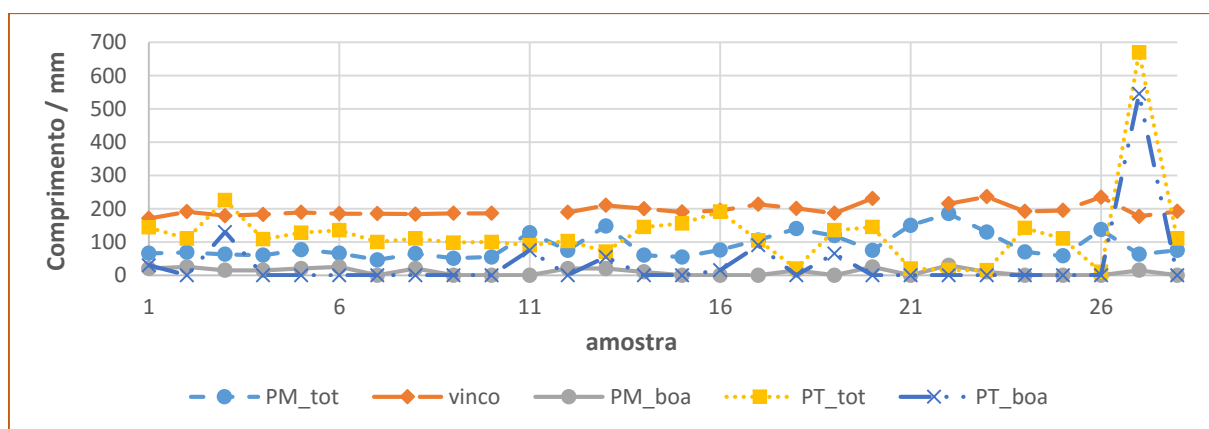


Figura 56 - Série temporal do comprimento da ponta da frente, do vinco, da parte da ponta da frente considerada boa, da ponta de trás e respetiva parte boa, determinadas usando o sistema de medição definido, para o produto 4307 QUA 50, laminado em TA.

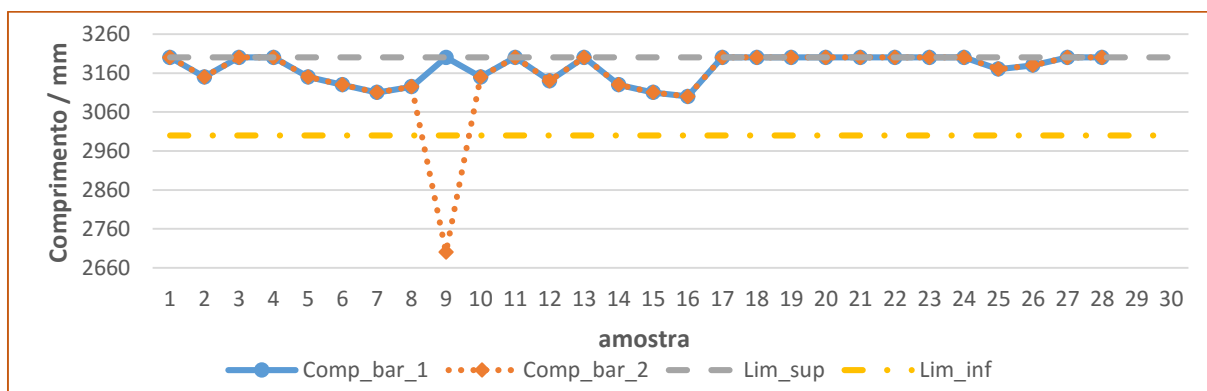


Figura 57 - Série temporal do comprimento das primeiras e segundas barras finais e limites de especificação para o produto 4307 QUA 50, laminado em TA.

Posteriormente, verificou-se que também existia outro valor anormal no comprimento da barra e, desta vez, abaixo do limite de especificação inferior (Figura 57). Tal configura uma situação em que foi produzida uma barra curta.


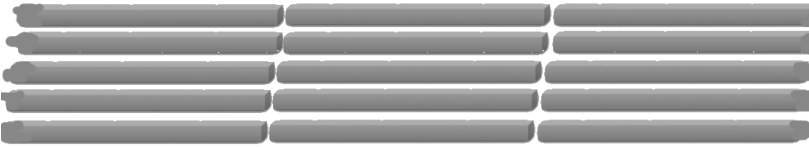

Após esta constatação, verificou-se ainda que ambas as barras, a curta e a comprida, eram provenientes do mesmo atado que foi dividido após o corte de laminados, na estenderia. Esta divisão é uma zona em que pode haver entrada de muita variabilidade no processo, nomeadamente, variabilidade associada a cada atado, como demonstra a Tabela 15. Aqui, são analisadas três situações distintas: na primeira situação, o lingote dá origem a duas barras que, por sua vez, são distribuídas em dois atados; na segunda, as três barras produzidas a partir de um lingote são divididas em três atados e, no último caso, um lingote origina três barras laminadas que são posteriormente agrupadas em dois atados.

Depois de se procurar possíveis explicações para o sucedido chegou-se às seguintes causas potenciais:

- i) Amostras 9 e 27 correspondiam a barras laminadas finais, as quais eram provenientes de biletos diferentes, cuja massa já estava fora da gama de especificação (um abaixo e outro acima). O corte destas barras com o comprimento definido inicialmente (considerando que os biletos tinham um peso adequado) faria com que as últimas barras laminadas ficassem com o que sobrava do biletos e, por isso, originaria uma barra curta e outra comprida, respetivamente.
- ii) Amostras 9 e 27 correspondiam ao mesmo biletos que, depois de ser laminado foi cortado em várias barras laminadas. Um erro no corte (falha no comprimento da barra cortada)

poderia ter ocorrido. Nesta situação, a distribuição destas barras em atados distintos levaria à propagação do efeito nos dois atados, ficando a barra curta num atado e a barra comprida no outro.

Tabela 15 - Esquema do posicionamento das barras dependendo do número de barras produzidas por lingote e do número de atados formados.

Número de barras por lingote	Número de atados formados	Representação
2	2	
3	3	
3	2	

Destas hipóteses, a segunda causa parece ser a mais provável, devido ao facto de ambas serem provenientes de atados com origem no mesmo atado inicial. Por outro lado, o comprimento que faltava numa das barras para perfazer o mínimo era o que estava a mais na outra.

Este perfil obteve uma percentagem de sucata média de 3,69%, no entanto, se se tiver em conta a diferenciação entre atados (Figura 58) a instabilidade do valor deste índice é acentuada, sendo que a percentagem varia entre 3,5 a 6,4%. Note-se que o planeamento de todos os atados apontava para o mesmo alvo.

A variação associada ao comprimento da ponta de sucata da frente, PM_tot, também é nítida numa fase final (Figura 56). Aqui entra a contribuição da posição da ponta que vem danificada dos processos anteriores. É possível verificar esta diferença entre as amostras 6 a 10, representada na Figura 59, e das amostras 11 a 19, na Figura 60.

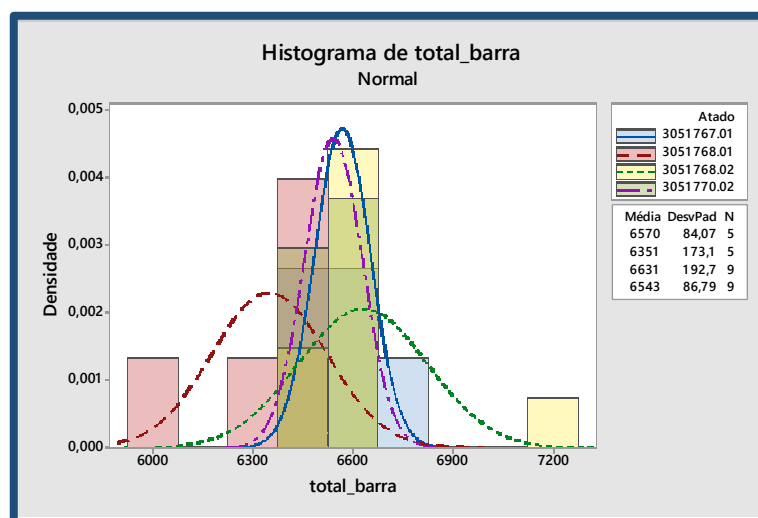


Figura 58 - Comparação entre a dispersão do comprimento das barras estiradas antes do corte das pontas para diferentes atados.



Figura 59 - Pontas de sucata de estirados do atado que continha a barra curta.



Figura 60 - Pontas de sucata de estirados do atado 3051768.01, que continha a barra comprida.

Perante este resultado decidiu-se realizar também um estudo da variação das mesmas variáveis, mas desta vez, tendo em conta a posição em que a barra dá entrada no processo de estiragem e o atado a que pertence. Neste estudo e através da comparação entre as figuras 61 e 62, observou-se que o tamanho da ponta da frente é menor e a de trás é maior quando a ponta menos danificada entra no processo primeiro. Isto era esperado, pois nesta situação o mordente marca uma parte da ponta já danificada.

A Figura 63 revela que, nas situações em que a ponta já danificada entra primeiro na feira (amostra 19, por exemplo), o comprimento total danificado é menor. Assim, pode-se concluir que, nesta situação, a percentagem de sucata final é menor e, por isso, poderia ser uma boa estratégia para reduzir a sucata produzida. No entanto, esta configuração acarreta alguns riscos a nível de processamento, nomeadamente relacionados com a quebra ou dano da feira.

Portanto, surge a necessidade de, no mínimo, definir este método de modo a reduzir a variabilidade e a obter uma maior eficácia na previsão das características do produto final.

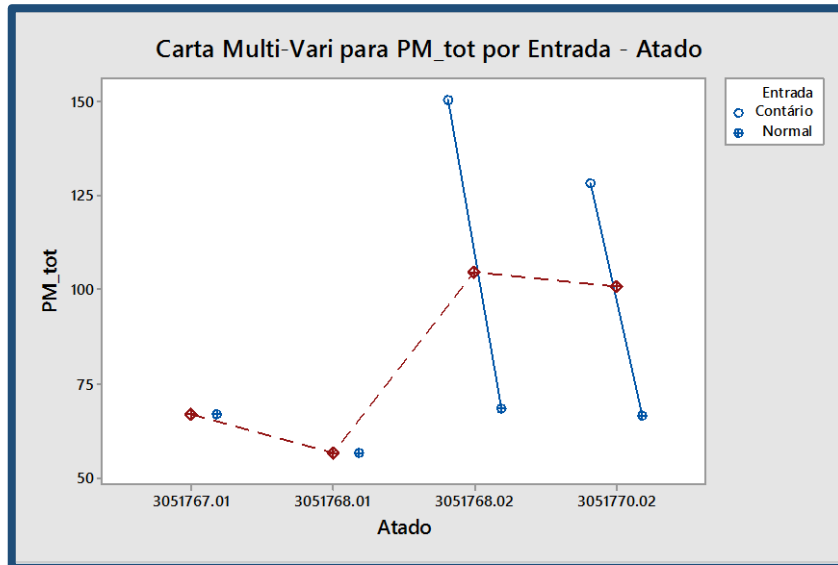


Figura 61 - Comparação entre a média do comprimento da ponta da frente para as várias situações de entrada da barra no processo de estiragem e atado.

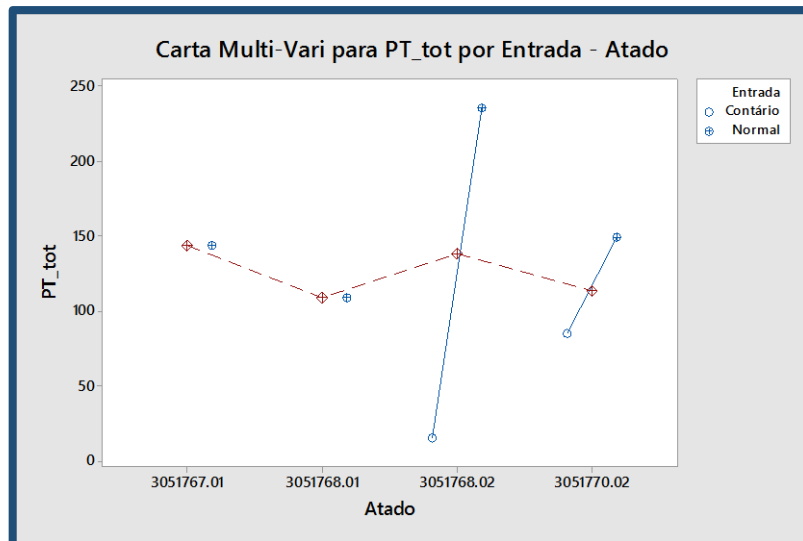


Figura 62 - Comparação entre média do comprimento da ponta da trás para as várias situações de entrada da barra no processo de estiragem e atado.

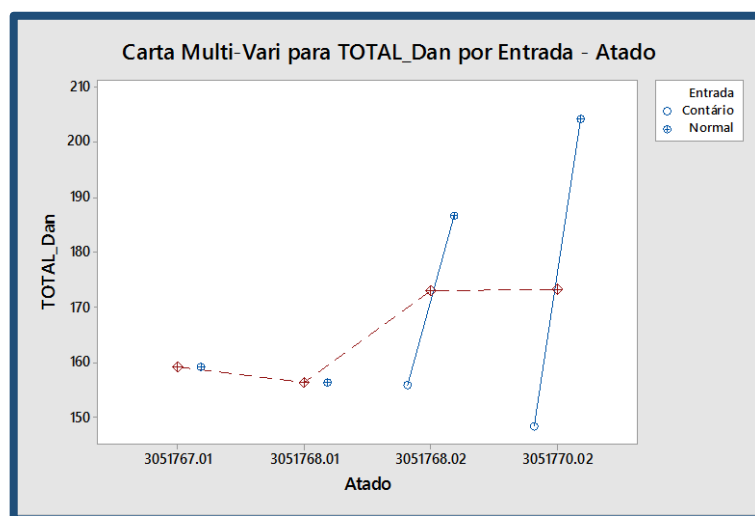


Figura 63 - Comparação entre a média do comprimento do total danificado para as várias situações de entrada da barra no processo de estiragem e atado.

Necessidade de definir qual a ponta que dá entrada no processo de estiragem em primeiro lugar.

Como se pode notar na Figura 64, a variável TOTAL_Dan apresenta uma distribuição normal apenas após ser realizada uma transformação de Johnson, sendo que a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que a encontrada é de 64,2% (valor p), permitindo aceitar a hipótese nula. O rendimento do processo, tendo em conta o limite desta variável usado no planeamento, é 58% e é determinado a partir do DPU (em PPM). Isto quer dizer que o valor definido deve ser avaliado ou devem ser tomadas outras medidas que permitam a redução desta variabilidade. Neste caso em particular, a alteração da especificação de 160 mm para 190 mm aumentaria o rendimento de 58% para 83%. No entanto, este aumento pode traduzir-se no acréscimo da quantidade de sucata no caso de o planeamento ser realizado para um comprimento alvo próximo do limite máximo.

Necessidade de avaliar a especificação do comprimento da parte danificada da ponta ou tomar outras medidas que permitam a redução da variabilidade associada a esta variável.

Na Figura 64, é também visível o aumento da instabilidade do processo nas últimas amostras face às primeiras que, como dito anteriormente, se deve à entrada de uma nova fonte de variabilidade – a alteração da extremidade da barra que entra no processo de estiragem.

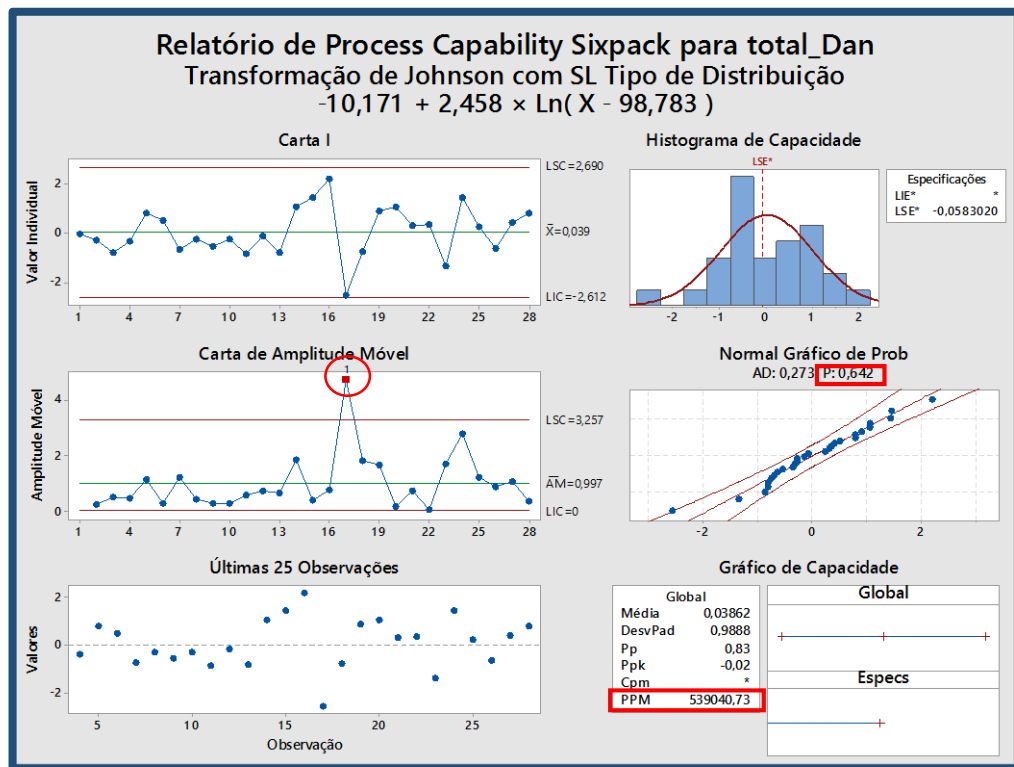


Figura 64 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 QUA 50.

Quando se compara os produtos com as especificações do cliente externo, Figura 65, verifica-se que estas também não são satisfeitas, resultado esperado devido à existência de barras curtas. Através da interpretação das cartas de controlo, deteta-se que o processo não está completamente sob controlo estatístico. Para o processo estar sob controlo, os pontos deveriam estar aleatoriamente distribuídos em torno da linha central e dentro dos limites de controlo.

É ainda vantajoso conhecer a capacidade ou o desempenho de um processo. O Minitab® possui uma ferramenta capaz de auxiliar a análise de processos quando a restrição de normalidade não se verifica; ferramenta esta designada por *Capability Sixpack (Nonnormal)*, a qual permite realizar uma boa estimativa nestas condições. Para tal é importante a utilização de uma distribuição adequada (Minitab Inc, 2016). Neste caso prático, a análise está condicionada pela qualidade de ajuste dos dados à distribuição normal. A estimativa alcançada remete para um processo não capaz ($P_p=0,5$) e descentralizado ($P_p \neq P_{pk}$).

É importante reter que a análise baseada no uso da ferramenta *Capability Sixpack*, quando aplicada na primeira fase de análise (início do projeto), permite apenas a determinação preliminar do desempenho do processo, sendo necessária uma reavaliação e confirmação da

informação aqui relatada após aplicação de melhorias e ainda após implementação das metodologias de controlo (Minitab Inc, 2016).

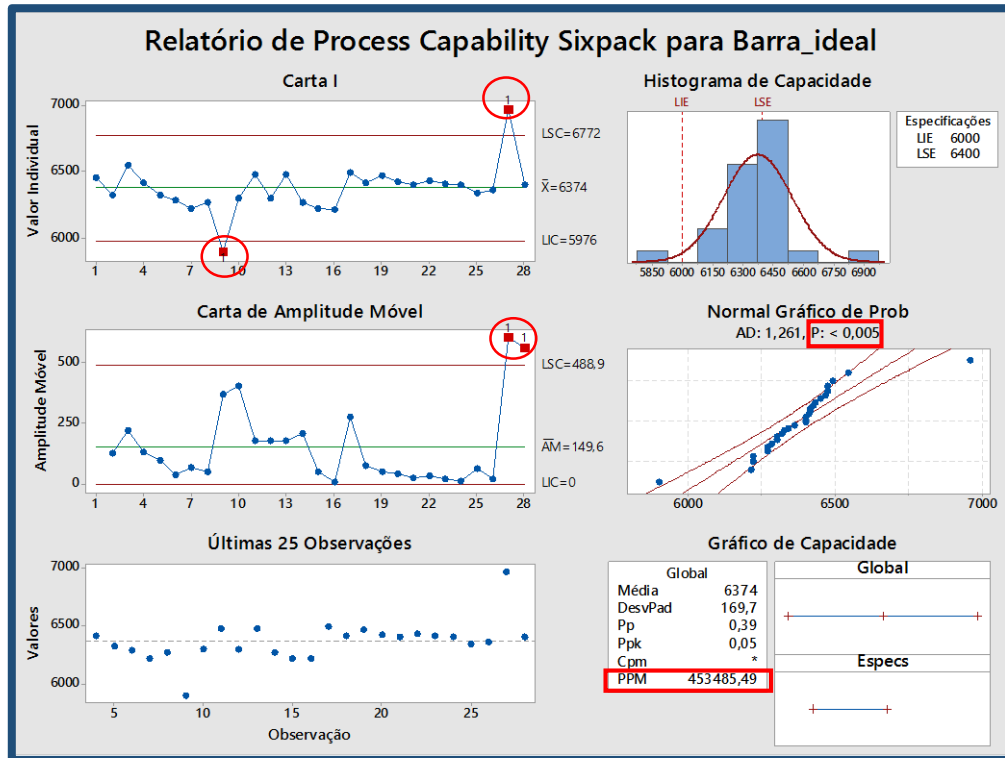


Figura 65 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o para o produto 4307 QUA 50.

4305 RET 35x15

Analisa-se de seguida a redução de pontas relativas ao produto 4305 RET 35x15, Figura 66, que é laminado no TC e estirado na linha CD1. Este produto apresentou uma percentagem de sucata de 6,13%, sendo que este valor, apesar de ser superior à média de sucata de estiragem, não se encontra muito distante da média apresentada em 2015 para o mesmo produto, a qual atingiu os 6,51%.

De forma análoga ao estudo anterior, a Figura 67 apresenta a variação de cada variável. Neste perfil, a variabilidade das variáveis associadas à ponta da frente é relativamente baixa. Isto pode ser justificado por duas razões:



Figura 66 - Pontas de sucata do produto 4305 RET 35x15.

a primeira é a existência da fresa; a segunda causa é a metodologia usada na operação de corte desta linha de estiragem, ou seja, o corte de várias barras em simultâneo. Esta segunda razão aumenta, por outro lado, a variabilidade associada à parte boa da ponta da frente.

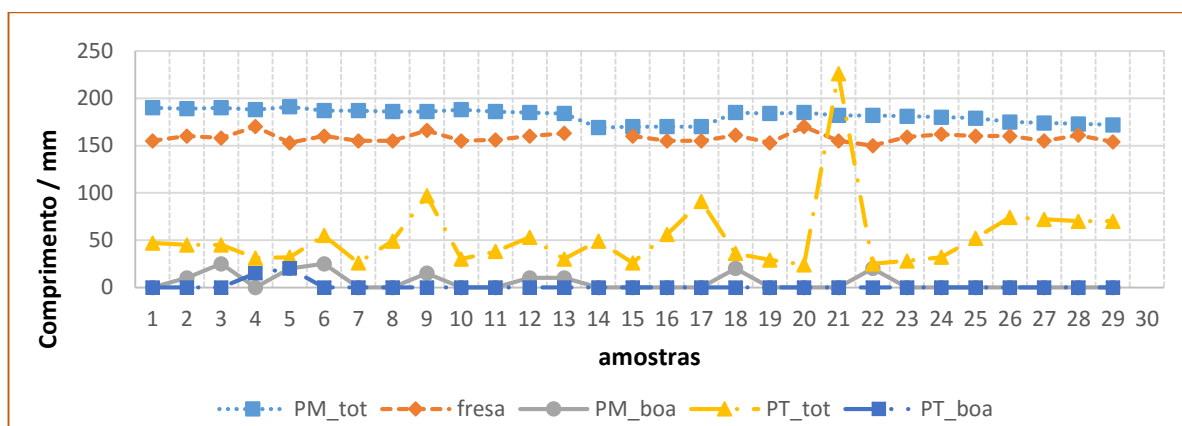


Figura 67 - Série temporal das variáveis medidas usando o sistema de medição definido para o produto 4305 RET 35x15, laminado em TC.

Nesta análise, verificou-se que a barra foi fresada com 150 mm, o que, na verdade, não corresponde à especificação estipulada. Devido ao erro operacional, a especificação para o comprimento da ponta de sucata danificada também não foi satisfeita (Figura 68). De modo a evitar que esta situação se volte a repetir foram apontadas causas do possível erro. Uma causa que poderia gerar esta troca de especificações é a existência de duas denominações do produto: uma do produto intermédio – laminado – e outra do produto final – estirado. Neste caso em particular, se o operador se orientasse pela denominação do produto laminado, a especificação seria de 75 mm (a correta), caso utilizasse a designação do material estirado, a especificação seria 150 mm. Desta ambiguidade, surge então a necessidade de deixar bem definido por que denominação se deve guiar o operador. Uma segunda causa poderia ser o fluxo de pessoal com menor experiência provenientes de outros sectores, em épocas de maior carência. Após esta deteção, confirmou-se que o mesmo erro também ocorreu noutras situações.

Para além disto e observando os dados obtidos referentes à variável “fresa”, verificou-se que, geralmente, o operador observava a especificação como um valor mínimo, chegando aos 170 mm (para o caso da especificação ser 150 mm). Todavia, este valor corresponde ao máximo, uma vez que já considera um fator de segurança. Neste seguimento, torna-se pertinente a definição da especificação de forma clara e exata e posterior transposição para os operadores mediante formação.

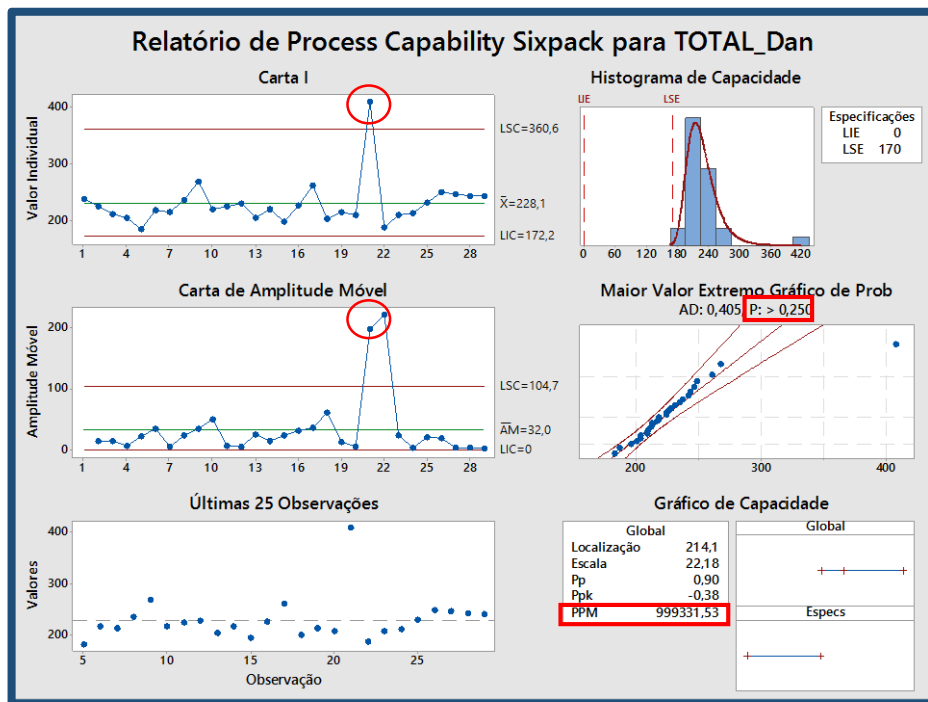


Figura 68 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o perfil retangular 35x15 de grade 1.4305.

Necessidade de reformular a instrução de trabalho com a indicação das especificações de fresagem de modo claro e sem ambiguidade.

Na Figura 69, pode ser analisada a alteração dos valores do comprimento das barras finais ao longo do tempo. Verificou-se que as barras finais não apresentaram o comprimento máximo e que toda a parte boa poderia ter sido utilizada. Este comprimento útil está associado à variabilidade introduzida pelo sistema operador-máquina. A amostra 21, a qual apresentou o valor mínimo em ambas as barras, ocorreu devido à parte de trás da ponta da barra estar bastante danificada (rebarbada).

Considerando agora toda a parte útil – designada Barra_ideal – pode-se avaliar a capacidade do processo comparando-a com as especificações externas (Figura 70). Note-se que as especificações estão ao dobro das especificações usadas na Figura 69. Isto deve-se ao facto de uma barra laminada originar duas barras estiradas finais.

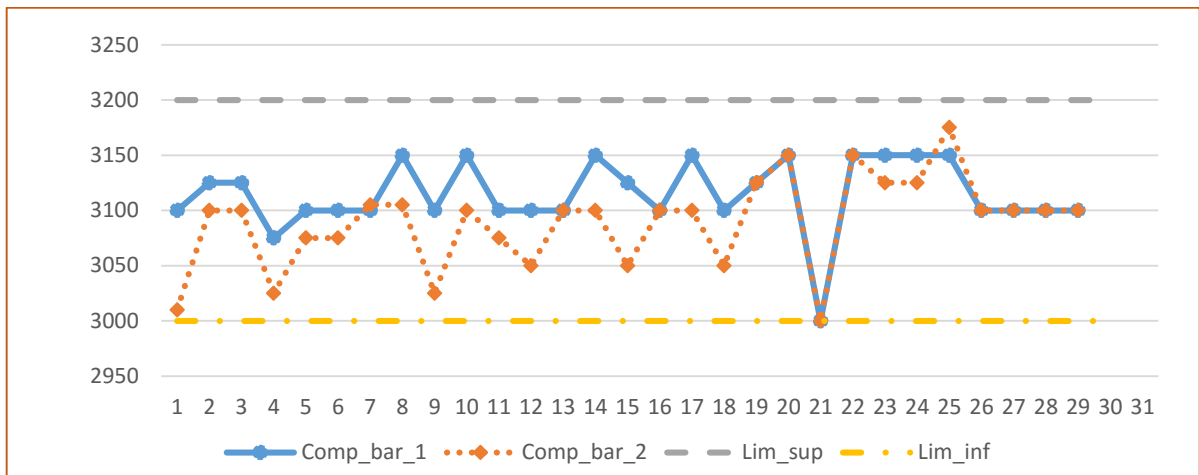


Figura 69 - Série temporal do comprimento das primeira e segunda barras finais e limites de especificação para o produto 4305 RET 35x15, laminado em TC.

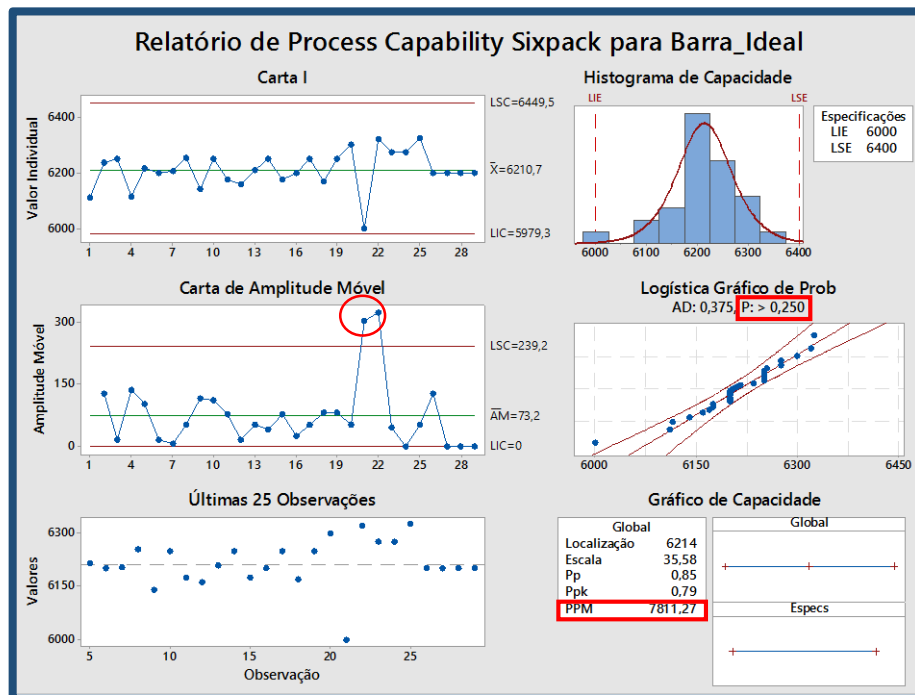


Figura 70 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4305 RET 35x15.

Verifica-se ainda que uma vez que a variação associada ao comprimento da barra útil é melhor definida pelo modelo logístico (e não por uma variação normal), não é determinada a capacidade potencial do processo, mas sim o desempenho do processo (índices P_p e P_{pk}) que faz uma análise da variabilidade a longo prazo.

Conclui-se, a partir da carta de controlo presente na Figura 70, que o processo não está completamente sob controlo estatístico e, nesta situação, devem ser corrigidas, numa primeira

fase, as causas especiais. Quando se compararam as amostras com o valor definido no planeamento verificou-se a sua subestimação, o que causou a obtenção de barras com comprimento final inferiores ao esperado, mas ainda assim dentro dos limites de especificação.

A informação obtida na análise efetuada é resumida na Tabela 16, a qual indica se os limites de especificação internos (comprimentos de pontas de sucata) e externos (comprimento da barra final útil) são satisfeitos (segunda e terceira colunas, respetivamente). Além disto, a segunda coluna identifica a fração de barras curtas. No caso em que as especificações do cliente não são satisfeitas, mas não existem barras curtas, esta informação remete para a produção de barras com comprimento excessivo.

A tabela apresenta também a comparação da variação a curto e a longo prazo, do KPI analisado. A primeira remete para a comparação entre a média da percentagem de sucata obtida em 2015 com a obtida em 2016 (até 31 de maio) enquanto a segunda compara os valores obtidos na medição com os resultados de 2015. O sinal negativo remete para uma redução da percentagem de sucata.

Na data de finalização do projeto, verificou-se que a redução não foi significativa, sendo que a percentagem de sucata global de estirados diminuiu de 4,80% para 4,79%, o que corresponde a menos de 1%. No geral, a percentagem de sucata dos perfis analisados reduziu em mais de 15% no mesmo período, apesar de nem todos os perfis apresentarem uma redução no seu valor.

Como foi dito anteriormente, a Böllinghaus apresenta uma enorme variedade de produtos, sendo que o mesmo perfil pode ser encomendado com vários comprimentos. Devido à necessidade desta flexibilidade, é muito importante ter um processo adaptável, o que implica compreender as fontes de variabilidade natural, tornando-o previsível e permitindo uma previsão mais eficaz. Isto, por sua vez, implicaria a redução de sucata produzida ao longo do processo, especialmente no sector de estiragem, uma vez que poderiam ser evitados comprimentos excessivos. Em adição, possibilitaria a prevenção da produção de barras curtas.

Neste sentido, procedeu-se ao exercício de considerar a possível redução da percentagem de sucata em todos os perfis, supondo que toda a parte boa era aproveitada e que as restrições eram satisfeitas – nona coluna – e apenas supondo que toda a parte boa era aproveitada (décima primeira coluna). A primeira análise inclui a adição do peso da parte boa da barra respeitando

as especificações do cliente, enquanto a segunda abordagem inclui, como o próprio nome diz, a massa que foi desperdiçada, mas que seria considerada boa, ou seja, adicionou-se ao peso do atado final a massa estimada a partir da variável TOTAL_boa. O impacto das barras curtas não está aqui contabilizado, como explicado na secção 4.1.1.. Ambas as situações foram comparadas com a percentagem de sucata obtida na medição, possibilitando determinar a possível redução e o ganho associado.

Estimativa da redução de sucata em 4305 RET 35x15

Concretizando a estimativa para o produto 4305 RET 35x15, apresentado na secção anterior considerou-se que os erros anteriormente citados não ocorreram. As hipóteses consideradas são:

- i) variabilidade associada a TOTAL_boa e fresas mantém-se, considerando apenas o ganho mássico perdido nas fresas;
- ii) operador não se enganou a seleccionar a especificação a usar, fresando 75 mm;
- iii) operador não interpretou a instrução como sendo uma especificação mínima e executou a fresa atingindo no máximo 75 mm;
- iv) não existia nenhum defeito abaixo da zona fresada;
- v) ganho por quilograma recuperado é de 2,5 €.

Neste caso, verificou-se que era possível reduzir, obtendo um ganho de 13,20€ neste conjunto de amostras. Outros produtos apresentaram uma estimativa de redução maior e, consequentemente, um ganho mais elevado. Estes estão geralmente associados à produção de barras com comprimento em excesso, ou seja, a casos em que a variável Barra_ideal não é satisfeita (4307 RET 50x15 e 4104 QUA 40), à exceção de 4305 RET 35x15 apresentado anteriormente. Esta estimativa vai, mais uma vez, ao encontro de que os ganhos na redução de sucata face à atualmente praticada não têm um impacto financeiro avultado.

De facto, verificou-se que o comprimento das pontas está praticamente minimizado, com exceção dos casos em que há aproveitamento de lingotes ou em que é realizado um planeamento com base na metodologia de previsão de um número de barras finais ímpar. Como resposta a esta condição é importante saber distinguir o que é dito “normal” do “anormal” e saber responder perante uma situação “anormal”.

Análise e redução de pontas de sucata no sector de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço

Tabela 16 - Síntese de resultados obtidos nas medições e respetiva estimativa de redução de sucata para as medições realizadas.

Perfil	Pontas	Barra Ideal	Fração de barras curtas	% Sucata 2015 /%	% Sucata atual (2016) /%	Variação a longo prazo /%	% Sucata medição /%	% Sucata mín. /%	Variação a curto prazo /%	Ganho associado à variabilidade corte /€	Redução /%	Ganho associado à variabilidade corte e ao excesso /€	Redução /%
4571 RET 30x4	✓	✓	0/27	-	4,53	-	4,53	4,53	0,00	2,21	0,00	-	-
4305 RET 35x15	x	✓	0/29	6,51	5,34	-17,97	6,13	5,57	-5,84	1,96	1,07	13,20	9,24
4307 RET 40x10	x	✓	0/30	4,64	4,91	5,82	2,78	2,23	-40,09	8,32	19,60	-	-
4307 RET 50x15	x	x	0/30	4,66	3,90	-16,31	4,39	3,13	-5,79	3,78	6,05	17,88	28,61
4307 HEX 32	✓	x	0/25	5,15	2,73	-46,99	2,99	2,36	-41,94	17,70	21,07	-	-
4305 RET 50x40	x	x	1/6	3,56	3,18	-10,67	3,55	3,40	-0,22	1,96	4,13	-	-
4307 RET 80x20	x	x	0/20	4,60	3,76	-18,26	4,59	3,72	-0,28	20,00	19,05	-	-
4305 QUA 38,10	x	x	1/12	7,00	4,92	-29,71	6,59	6,92	-5,86	1,99	1,14	-	-
4104 QUA 40	x	x	1/27	9,83	7,12	-27,57	7,12	6,59	38,06	25,75	7,46	230,04	66,68
4307 QUA 40	✓	x	0/32	3,50	4,68	33,71	4,23	3,24	20,86	9,73	4,23	17,43	7,58
4305 QUA 50	x	x	6/30	6,15	5,00	-18,70	5,18	5,12	18,53	5,89	1,00	7,11	1,21
4307 QUA 50	x	x	1/28	3,69	4,34	17,62	4,97	4,29	34,69	6,62	1,42	4,29	13,61
Global	-	-	-	5,39	4,53	-15,88	4,75	4,26	1,12	-	-	-	-

Posto isto e tendo em conta que a redução da variabilidade tem grande importância, decidiu-se aplicar cartas de controlo com o objetivo de examinar o processo através do comportamento da variável “% Sucata”.

4.3.3. Detecção de situações que devem ser alvo de análise

Numa fase inicial, o procedimento inclui uma avaliação do estado do processo para a linha CD1-perfil e, caso existam perturbações, um plano de ação, OCAP (*Out-of-Control Action Plan*) deve ser seguido e atualizado com a aprendizagem retida das situações vividas. O fluxograma encontra-se descrito na Figura 71.

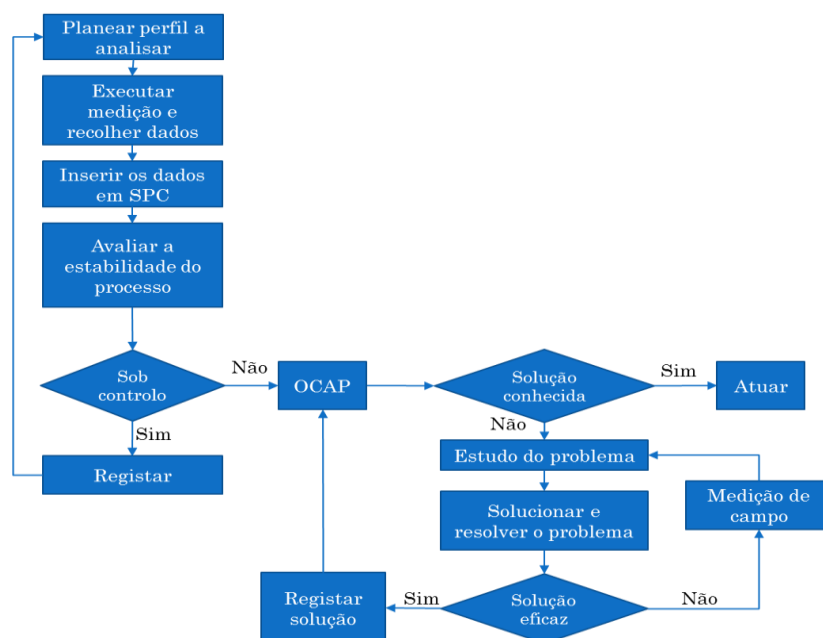


Figura 71 - Fluxograma do sistema de controlo sugerido.

A variação dos dados recolhidos de um determinado processo pode ser provocada devido a causas comuns, inerentes ao processo, ou a causas especiais, devido a problemas pontuais. Esta distinção pode ser detetada através do uso de cartas de controlo apropriadas, uma das ferramentas mais usadas em SPC (*Statistical Process Control*). No entanto, uma causa natural pode se tornar uma causa especial com o tempo, pelo que a informação aqui retida deve ser continuamente atualizada (Reis, 2016).

A utilização de cartas de controlo traz várias vantagens, tais como, facilidade e simplicidade de aplicação e interpretação dos resultados e possibilidade de serem colocadas no processo. No caso de um estudo com foco na redução da variabilidade, esta ferramenta serve somente como fator de decisão relativamente à necessidade de investigação da ficha de fabrico de modo a detetar causas especiais e, posteriormente, delinear medidas preventivas. É relevante perceber que a utilização de um SPC nesta etapa do processo serve como uma estratégia de deteção, existindo defeitos que não são possíveis de remover, pelo que estratégias de prevenção destes defeitos devem ser prosseguidas.

Neste seguimento, este tipo de estratégia também deveria ser aplicado em operações situadas a montante do processo, devido à maior possibilidade de atuação imediata, evitando que o material fora de especificação siga para o final do processo.

Um processo encontra-se sob controlo estatístico se a distribuição de probabilidade da variável em análise for constante no tempo, demonstrando a sua variabilidade natural, a qual é conseguida mediante um esforço contínuo na eliminação das causas especiais. Numa situação em que o processo está sob controlo estatístico, as cartas são úteis para prever o comportamento do processo. Apenas nesta situação é possível melhorar o processo, especialmente aplicar metodologias que permitam a redução da variabilidade natural a ele associada, aumentando a sua capacidade efetiva (Orfão, 2016). Com o uso de SPC e subsequentes ações de melhoria, trabalha-se para que, a longo prazo, haja uma redução de desperdício e retrabalho.

Sugere-se então o controlo através de uma carta I-AM. Esta monitoriza as observações individuais recolhidas do processo na carta de análise de tendência central – I – e a carta de controlo para dispersão é baseada na amplitude móvel – MR. Neste caso, a variável já é monitorizada (para cada atado e diferenciada para cada linha de estiragem). Para executar este controlo usando cartas de controlo, considera-se que o processo está apto para produzir todos os perfis de igual modo e que a variável apresenta um comportamento descrito pela distribuição normal.

O plano de amostragem para uso em cartas de controlo do tipo I-AM está definido na Tabela 17, onde é requerida a validação/determinação dos limites de controlo após as primeiras 25 amostras de cada série de perfis. A interpretação e ação perante o resultado está ao encargo

do responsável do setor e o modo de utilização e interpretação de uma carta de controlo está descrito no Anexo IX (Figura 161). A informação já estruturada num plano de ação quando o processo se encontra fora de controlo, está descrita de seguida, na Tabela 18.

Tabela 17 - Plano de amostragem.

Características da amostra (o quê?)	Dimensão das amostras (quanto?)	Frequência de amostragem (quando?)	Operador (quem recolhe?)	Recolha da amostra (como recolher?)	Cartas de controlo (como interpretar?)
A amostra corresponde a um atado produzido	A amostra é constituída por uma única observação.	Devem ser recolhidas informações de todos os atados.	A recolha da amostra é realizada pelo operador de corte.	O operador da máquina de corte insere o peso final do atado	O comportamento do processo é analisado para cada linha de estiragem em separado, a partir de uma carta de controlo do tipo I-AM.

Tabela 18 - Quadro descritivo de um OCAP.

Etapa do processo	Variável de controlo	Método de controlo	Responsabilidade	Limites de especificação /requisitos	Plano de resposta
Corte de matéria-prima	Peso do lingote	Pesagem do de lingote	Operador de corte de matéria-prima	Limites de pesos de lingotes	Rejeitar enformamento
Fresagem	Comprimento da fresa	Instruções	Operador da fresa	Limite de fresagem	Revisão da metodologia de controlo

No caso da solução não ser conhecida e ser necessária uma avaliação mais profunda da ficha de fabrico, o estudo é direcionado para uma medição de campo. É nesta fase que entra o plano de medição semelhante ao realizado neste estudo.

4.4. Fase IV – Melhorar

Nesta subsecção é apresentada a síntese da análise dos perfis seguidos e possíveis melhorias. As tabelas 19 a 24 resumem os erros averiguados. Na coluna relativa às possíveis causas, encontram-se em destaque (negrito) as que se acredita terem acontecido. O ajuste do índice de perda mássica não será aqui considerado, pois requer uma avaliação e validação contínua, a qual é realizada regularmente. Considera-se, por isso, válida e sem margem de melhoria, apesar de citados posteriormente como possíveis causas.

Análise e redução de pontas de sucata no sector de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço

Tabela 19 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes aos produtos estirados retangulares da linha CD1.

Produto	% Plan.	% Suc.	Acontecimento	Impacto	Possíveis Causas	Possíveis Soluções
4571 RET 30x4	3,5	4,5	▪ Especificação das pontas superior ao real (mas adequado)	▪ Maior percentagem de sucata de estirados	▪ Produzido pela primeira vez	-
4307 RET 40x10	3,3	2,8	▪ Limite máximo de ponta danificada aponta para uma probabilidade de falha de 7%	▪ Numa situação de planeamento mínimo/massa do lingote mínima pode gerar barras curtas	▪ Variabilidade do processo ▪ Valor especificado proveniente de extrapolação/interpolação ineficiente	▪ Redução da variabilidade do processo
4305 RET 35x15	2,5	6,2	▪ Utilização errada da especificação (valor e interpretação) ▪ Processo fora de controlo estatístico (TOTAL_Dan e Barra_ideal)	▪ Maior percentagem de sucata de estirados ▪ Previsão ineficaz, podendo levar à produção de maiores quantidades de sucata/barras curtas	▪ Distração ▪ Falta de conhecimento/Suposição ▪ Indicações ambíguas ▪ Troca de pessoal entre setores ▪ Variabilidade acentuada	▪ Instruções claras e diretas ▪ Formação ▪ Eliminação de causas especiais/aleatórias ▪ Redução da variabilidade do processo

Tabela 20 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes aos produtos estirados da linha CDI. (continuação)

Produto	% Plan.	% Suc.	Acontecimento	Impacto	Possíveis Causas	Possíveis Soluções
4307 RET 50x15	2,0	4,4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limite máximo de ponta danificada aponta para uma probabilidade de falha de 58% 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Previsão ineficaz, com elevada probabilidade de levar à produção de maiores quantidades de sucata/barras curtas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Valor especificado proveniente de extrapolação/interpolação ineficiente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrigir especificações internas relativas a pontas de sucata para 210 mm ▪ Redução da variabilidade do processo
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Processo fora de controlo estatístico (TOTAL_Dan e Barra_ideal) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Previsão ineficaz, podendo levar à produção de maiores quantidades de sucata/barras curtas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variabilidade acentuada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eliminação de causas especiais/aleatórias ▪ Redução da variabilidade do processo
4307 HEX 32	2,3	3,0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Processo fora de controlo estatístico (Barra_ideal) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior percentagem de sucata de estirados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variabilidade acentuada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eliminação de causas especiais/aleatórias ▪ Redução da variabilidade do processo
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de pontas de maiores dimensões igual número de lingotes usados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior percentagem de sucata de estirados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso do lingote superior ao utilizado no planeamento sem redefinição de novos comprimentos de corte na fase de laminagem ▪ Índice de perda de massa inadequado ▪ Planeamento em excesso 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Avaliação das suposições consideradas no planeamento ▪ Redução da variabilidade do processo

Análise e redução de pontas de sucata no sector de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço

Tabela 21 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes aos produtos estirados da linha CD2.

Produto	% Plan.	% Suc.	Acontecimento	Impacto	Possíveis Causas	Possíveis Soluções
4305 QUA 38,10	3,0	7,0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arestas boleadas ▪ Bisel ▪ 1 Barra Curta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande quantidade da barra rejeitada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 303 Bisel 	-
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limite máximo de ponta danificada aponta para uma probabilidade de falha de 40% dos produtos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Previsão ineficaz, podendo levar à produção de maiores quantidades de sucata/barras curtas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Valor especificado proveniente de extrapolação/interpolação ineficiente (outra grade) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrigir especificações internas relativas a pontas de sucata ▪ Redução da variabilidade do processo
4104 QUA 40	2,3	7,1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limite superior de especificação da barra não são satisfeitos ▪ Processo fora de controlo estatístico (Barra_ideal) ▪ 1 Barra Curta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior percentagem de sucata 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Índice de perda de massa inadequado ▪ Planeamento em excesso (aproveitamento de matéria-prima) ▪ Planeamento de número de barras ímpar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Avaliação das suposições consideradas no planeamento ▪ Revisão da metodologia de planeamento de um número de barras ímpar ▪ Ajuste do comprimento presente na instrução de corte da barra laminada ▪ Redução da variabilidade do processo

Análise e redução de pontas de sucata no sector de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço

Tabela 22 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes a alguns produtos estirados da linha CD2. (continuação)

Produto	% Plan.	% Suc.	Acontecimento	Impacto	Possíveis Causas	Possíveis Soluções
4307 QUA 40	2,3	3,5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Processo fora de controlo estatístico (Barra_ideal) ▪ Limite superior de especificação da barra não são satisfeitos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior percentagem de sucata de estirados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variabilidade acentuada não permite produzir barras com um rendimento de 100% 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eliminação de causas especiais/aleatórias ▪ Redução da variabilidade do processo
4305 QUA 50	3,0	5,2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limite máximo de ponta danificada aponta para uma probabilidade de falha de 44% dos produtos ▪ Bisel ▪ 6 Barras Curtas ▪ Defeitos de laminagem 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Previsão ineficaz, podendo levar à produção de maiores quantidades de sucata/barras curtas ▪ Maior percentagem de sucata 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Valor especificado proveniente de extrapolação/interpolação ineficiente ▪ Variabilidade do processo acentuada ▪ 303 Bisel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar especificações internas relativas a pontas de sucata ▪ Redução da variabilidade do processo ▪ Corrigir defeitos de laminagem

Tabela 23 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes aos produtos estirados retangulares da linha CD2. (continuação)

Produto	% Plan.	% Suc.	Acontecimento	Impacto	Possíveis Causas	Possíveis Soluções
4307 QUA 50	2,7	5,0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produção de uma barra curta e outra comprida ▪ Processo fora de controlo estatístico (TOTAL_Dan e Barra_ideal) ▪ 1 Barra Curta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior quantidade de sucata de estirados (associada a pontas) ▪ Produção de material de segunda com grande probabilidade de ser considerado sucata ▪ Menores receitas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falha no comprimento do corte das barras laminadas (serrote) ▪ Barras finais provenientes de lingotes com massa fora da gama de especificação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificação do uso correto do batente ▪ Minimização do efeito ricochete (maximização da velocidade da barra no corte)
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limite máximo de ponta danificada aponta para uma probabilidade de falha de 42% dos produtos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Previsão ineficaz, podendo levar à produção de maiores quantidades de sucata/barras curtas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variabilidade do processo acentuada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrigir especificações internas relativas a pontas de sucata para 190 mm
4305 RET 50x40	3,0	3,55	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limite máximo de ponta danificada aponta para uma probabilidade de falha de 40% dos produtos ▪ 1 Barra curta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Previsão ineficaz, podendo levar à produção de maiores quantidades de sucata/barras curtas ▪ Produção de material de segunda com grande probabilidade de ser considerado sucata ▪ Menores receitas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Este valor foi considerando que ocorria o corte das pontas bisel no sector de laminagem, o que não ocorreu ▪ Lingote com falta de massa ▪ Planeamento de número de barras ímpar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Garantir a realização da metodologia de forma consistente ▪ Rejeitar lingotes com falta de massa ▪ Revisão da metodologia de planeamento de um número de barras ímpar

Análise e redução de pontas de sucata no sector de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço

Tabela 24 - Resumo das conclusões retiradas na fase de análise referentes aos produtos estirados retangulares da linha CD2. (continuação)

Produto	% Plan.	% Suc.	Acontecimento	Impacto	Possíveis Causas	Possíveis Soluções
4307 RET 80x20	2,0	4,6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Processo fora de controlo estatístico (TOTAL_Dan) devido a uma reparação demasiado profundo ▪ Limite máximo de ponta danificada aponta para uma probabilidade de falha de 56% dos produtos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Previsão ineficaz, podendo levar à produção de maiores quantidades de sucata/barras curtas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variabilidade acentuada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eliminação de causas especiais/aleatórias ▪ Redução da variabilidade do processo ▪ Corrigir especificações internas relativas a pontas de sucata para 200 mm
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variabilidade nas pontas de sucata produzida na fase de corte de estirados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior percentagem de sucata de estirados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alteração provisória da metodologia de aceitação de pontas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necessidade de realização de um estudo que relacione a sucata produzida com o tempo de operação (impacto na produtividade) do sector de desempenho e fixar a instrução de corte (antes/depois do vinco)

Numa primeira fase, foram procuradas soluções que evitassem os erros até aqui apurados. Para tal decidiu-se priorizar os erros de acordo com a sua frequência e importância (ver Anexo IX). Definiu-se aqui como importante toda a causa que apresenta uma maior probabilidade de gerar uma grande quantidade de sucata, ou seja, por ordem crescente de importância: o que pode produzir barras curtas (produto não conforme); de seguida, barras compridas e, por fim, tudo o que origina algum aumento da percentagem de sucata. Perante isto, conclui-se que, no futuro, estudos no âmbito de efeitos do bisel, redução da variabilidade do processo e validação do planeamento de um número de barras ímpar devem ser prioritários.

No que se refere à redução da instabilidade do processo, há que ter em conta que, devido à estiragem se encontrar a jusante do processo produtivo de estirados (ver secção 3.3.), este apresenta todos os efeitos das etapas anteriores. Por este motivo e, em adição ao estudo realizado, onde se concluiu que muitos acontecimentos provêm de erro humano, considera-se que a eliminação/redução de causas aleatórias/especiais é o primeiro passo. E que, posteriormente, se deve atuar no processo reduzindo a variabilidade deste, através de um conhecimento preliminar da variação associada a cada etapa individualmente.

De modo a garantir que, daqui em diante, a metodologia de medição é realizada segundo o mesmo procedimento, definiu-se o processo de medição relatando-o através de uma instrução de trabalho, IT. Este documento foi agregado aos demais que descrevem os procedimentos das operações existentes na empresa e será usado quando necessário. A necessidade de utilização desta instrução é introduzida no processo de deteção de causas especiais tal como é descrito na secção 4.3.3..

Como foi dito anteriormente, o tempo é o maior entrave com que se depara qualquer projeto de melhoria. A obrigação de resolver problemas rapidamente e atuar onde e quando é necessário, de forma eficiente e eficaz é uma situação com que deparam todas as equipas de melhoria. Neste seguimento, devido à situação de execução deste projeto, com tempo limitado ao período da dissertação de mestrado, foi impossível estudar as questões técnicas para seleção de melhorias. É essencial retirar informação sobre vantagens e desvantagens associadas às soluções, determinar os custos de aquisição e instalação, apurar a necessidade de alteração do *layout*, de formação e, por fim, estimar o impacto da implementação da melhoria. Ficam, por isso, algumas sugestões de melhoria.

Dado que algumas estratégias de redução de sucata aparentam ser ações rápidas, de implementação simples e sem custos associados significativos, estas podem e devem ser feitas, colaborando com a redução da variabilidade do processo. É o caso da alteração da instrução de fresagem onde são descritas as especificações (voltando, novamente ao exemplo 4307 RET 35x15). Neste caso, foi alterada a instrução de trabalho reduzindo a ambiguidade face à denominação a usar. As instruções (a anterior e a posterior) estão apresentadas nas figuras 72 e 73, respetivamente.



QUADRADOS

Fresar reduções superiores a 3 mm (2 lados)
As dimensões do TC deverão ser todas fresadas.

HEXAGONAIS

Fresar reduções superiores a 4 mm (3 lados)
As dimensões do TC deverão ser todas fresadas.

RECTANGULARES

Fresar reduções superiores a 3 mm (2 lados)

Espessura [mm]	Fresagem [mm]
Menor que 15	2 X 150 mm
Entre 15 e 22*	1 X 75 mm

As dimensões do TC deverão ser todas fresadas.

*Podem ser testadas sem fresagem com autorização do responsável de setor.

Tabela de Profundidade de Corte

Qualidade	Largura	Prof. de corte MAX
1.4305 / 303	Até 55 mm	2 mm
	Mais 55 mm	1.5 mm
1.4307 / 304L 1.4404 / 316L 1.4571 / 316Ti	Até 55 mm	1.5 mm
	Mais 55 mm	1 mm
1.4005 1.4021 1.4104	Até 55 mm	1 mm
	Mais 55 mm	1 mm
1.4542 / T630	Até 55 mm	0.5 mm
	Mais 55 mm	0.5 mm

Outras qualidades consultar o responsável da estiragem.

Figura 72 - Instrução de trabalho para as fresas antes do projeto.

Fresagem



Espessura inferior a 8 mm:	Espessura inferior a 14 mm:	Espessura Superior a 14mm:
<ul style="list-style-type: none"> Fresar 1 cutelo + 1 Face Dimensão máxima a que se deve chegar 170 mm Os cantos podem ter menos de 150 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Fresar 1 cutelo + 1 Face Dimensão máxima a que se deve chegar 150 mm Os cantos podem ter menos de 130 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Fresar Face Dimensão máxima a que se deve chegar 100 mm Os cantos podem ter menos de 75 mm
<p>Nota: Rebarbar Arestas Vivas</p>	<p>Nota: Rebarbar Arestas Vivas</p>	<p>Nota: Rebarbar Arestas Vivas</p>

*Todos os valores nesta folha referem-se aos valores de **dimensão estirado**

Figura 73 - Instrução de trabalho para as fresas depois do projeto.

Propõe-se ainda outra solução, a qual pode ser aplicada a todas as gamas de materiais fresados, no sector de fresagem – a criação de um sinal de alerta em SAP que indique as especificações ao iniciar o processamento de um determinado produto. É importante referir que o sucesso desta ação é dependente da correta execução da metodologia de fresagem. De facto, é imprescindível que o operador inicie a sessão antes de iniciar a operação.

Com base nos casos 4101 QUA 40 e 4305 RET 50x40, propõe-se que seja realizado um estudo sobre a metodologia de planeamento de um número de barras ímpar. A solução desta situação pode passar por priorizar o planeamento das barras de 3-3,5 m, contrariamente ao que é realizado atualmente. O facto de ser realizada a previsão da barra menor em primeiro lugar, geralmente leva a um excesso nesta que podia ser usado no planeamento das barras de 6-6,5 m.

Em adição, para alcançar melhorias no processo é importante um controlo mais fino do processo. Por isso, sugere-se o uso de cartas de controlo para as variáveis analisadas neste projeto. Um exemplo de uma possível metodologia é descrito com no Anexo X.

Com foco na redução da variabilidade do processo, uma metodologia para adquirir um conhecimento mais profundo dessa variação é sugerida no Anexo XI. Este baseia-se na avaliação prévia das possíveis causas de variação delimitadas na fase de análise (diagrama causa-efeito) e posterior tomada de decisão (seleção) para uma medição e análise mais focalizada no problema. Por outras palavras, a metodologia é direcionada para a quantificação das causas. E, quando o problema estiver resolvido, implementado e o projeto fechado, pode-se focalizar no problema seguinte. Esta quantificação pode ser realizada usando a metodologia descrita em anexo devendo-se abordar os acontecimentos com maior cotação.

4.5. Fase V – Controlar

Numa fase inicial é importante realizar auditorias com maior frequência, de modo a verificar se as alterações aplicadas estão a ser realmente realizadas e ainda se estão a ter o efeito desejado. Esta etapa é crucial para a implementação de qualquer melhoria e dita o sucesso do projeto de melhoria realizado.

Contudo, devido ao curto espaço de tempo e complexidade associada ao tema, esta etapa não foi alcançada, pelo que, metodologias de controlo não foram executadas.

5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Até ao momento, os projetos de melhoria realizados (associados a este tema) basearam-se apenas na medição das pontas de sucata, distinguindo a fração da barra útil da que tinha defeito. E, a partir dessa informação, estimavam uma possível redução. Com este projeto, verificou-se que a metodologia adotada pela empresa era eficiente para a estimativa de especificações internas. Contudo, não continha informação sobre a variabilidade do processo, sendo, por isso, uma parte do processo desconhecida.

Com este trabalho verificou-se que a variabilidade existente no processo é considerável, sendo dependente do fator humano e do uso de várias estimativas de variáveis, o que implica alguma incerteza em alguns processos. Isto, por sua vez, intervém na percentagem de sucata como um fator negativo. Neste sentido, a introdução do fator variabilidade no processo de planeamento (a qual deve ser previamente conhecida) e o uso de corte especial com maior frequência poderia trazer vantagens. Isto, associado a uma gestão de matérias-primas e vendas semanais poderia também apresentar um bom resultado, apesar de ter impacto na quantidade de matéria-prima em *stock*. Fazendo uso de sugestões de alguns elementos da empresa, as suposições usadas no planeamento deveriam conter mais informação para ser possível alcançar uma melhor previsão, nomeadamente a variação da densidade consoante a *grade* do produto final estirado.

Em paralelo, estava a decorrer um projeto cujo objetivo era automatizar a linha CD1, com um investimento de 60 k€ e que permitia a redução de três operadores para um único. Este investimento envolveria a necessidade de aumentar a segurança associada ao comprimento total da ponta. Isto, por sua vez, levaria a um aumento da percentagem de sucata. Com este estudo, verificou-se que a variabilidade do processo de estiragem é acentuada, sendo que a variação mesmo dentro do mesmo atado pode não ser previsível. Neste sentido, prosseguir com este projeto poderia trazer problemas, quer a nível de sucata produzida, quer a nível de qualidade do produto, dada a existência de defeitos não detetados ou, caso fossem detetados numa fase posterior, poderiam ser irreversíveis. Neste seguimento, optou-se por anular o projeto, sendo

imprescindível uma prévia redução da variabilidade do processo e eliminação de causas especiais.

Conclui-se, por fim, que apesar do objetivo proposto não ter sido atingido, pelo menos no tempo delimitado, este estudo permitiu adquirir uma visão diferente para a organização. Isto porque este é um tema já debatido internamente. Para tal é necessário olhar para a sucata não como um problema, mas como uma consequência com base em vários problemas, os quais devem ser delimitados. Neste sentido, poderá abrir portas a outras abordagens.

O perfil no qual foi implementada a melhoria (4305 RET 35x15) tem apresentado uma redução da sua média de percentagem de sucata. Esta variação, por sua vez, pode ser resultado da melhoria implementada, razão esta que pode ser validada se a redução se mantiver a longo prazo, ou pode estar associada à variabilidade do processo.

Outra solução possível de aplicar no futuro ao produto 4305 RET 35x15 e que seria útil, baseia-se na utilização de um sistema de leitura de etiquetas (as quais já existem) que encaminhasse a informação do produto para o sistema e, mediante esse sinal, seleccionasse o programa e enviasse essa instrução diretamente para o equipamento. Esta operação deixaria, nesse caso, de ser dependente do operador. Um exemplo bem-sucedido é descrito por Nogueira (2010). É relevante perceber que este sistema remove a necessidade de pensar reduzindo a probabilidade de erro e, por isso, é classificado como um sistema *poka-yoke*. Neste caso em particular, a máquina não atua em automático, pelo que seria obrigatória a mudança de equipamento. Por outro lado, este método pode ser alargado a outros setores que possibilitem a automação e em que seja necessária a seleção do modo de operação.

REFERÊNCIAS

- 303 stainless steel material property data sheet - product availability and request a quote. (n.d.). Retrieved maio 10, 2016, from metal suppliers online: <http://www.suppliersonline.com/propertypages/303.asp>
- Andrade, M. L., Cunha, L. M., Gandra, G. T., & Ribeiro, C. C. (2000, junho). Aço Inoxidável: Novo Ciclo de Crescimento. (BNDES, Ed.) *Mineração e Metalurgia*, 33, 1. Retrieved março 29, 2016, from http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seatorial/is_g3_33.pdf
- Andrade, M. L., Cunha, L. M., Vieira, J. R., & Keller, C. (1996). *O Mercado Mundial de Aços Especiais*. BNDES. Retrieved março 29, 2016, from http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/acoesp.pdf
- Domingues, D. (2015). *Otimização do processo de decapagem química numa empresa de produção de perfis de aço*. Dissertação em Mestrado Integrado em Engenharia Química, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Química, Coimbra. Retrieved março 2016
- Eckes, G. (2001). *Making Six Sigma Last: Managing the Balance Between Cultural and Technical Change*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Endeavor Brasil. (2015, junho 11). *Como o Seis Sigma pode ajudar sua empresa a alcançar a excelência*. Retrieved abril 20, 2016, from <https://endeavor.org.br/seis-sigma/>
- Gonçalves, I. (2015, novembro 13). *Quality Way*. Retrieved from Diga Não à Gestão da Qualidade por Ivan Gonçalves: <https://qualityway.wordpress.com/2015/11/13/diga-nao-a-gestao-da-qualidade-por-ivan-goncalves/>
- Grupta, P., & Sri, A. (2012). *Seis Sigma - Virtualmente Sem Estatística*. (L. Ferreira, Trans.) Vida Económica. Retrieved maio 16, 2016
- International Stainless Steel Forum. (2015, maio). *Stainless Steel in Figures 2015*. p. 10;21. Retrieved abril 20, 2016
- International Stainless Steel Forum. (2016). *Introduction to Stainless Steel*. Retrieved abril 20, 2016, from International Stainless Steel Forum: http://www.worldstainless.org/what_is_stainless_steel/introduction_to_stainless_steel
- Junior, A. C. (2006). *Dificuldades de Implementação de Programas Seis Sigma: Estudos de casos em empresas com diferentes níveis de maturidade*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos. Retrieved março 2016
- Kumar, P., & Agnihotri, D. G. (2013, may-jun). Cold Drawing Process – A Review. *International Journal of Engineering Research and*, 3, 998-994. Retrieved abril 22, 2016, from www.ijera.com
- Manual Técnico de Aço Inoxidável. (2011). Retrieved março 26, 2016, from www.kloeknermetals.com.br/pdf/3.pdf
- Mathers, G. (2016). *Precipitation hardening stainless steels*. (T. W. Institute, Producer) Retrieved abril 20, 2016, from TWI Global: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/precipitation-hardening-stainless-steels-102/>
- Minitab Inc. (2016). *Guia de introdução ao Minitab 17*. Retrieved maio 24, 2016, from Minitab 17 Statistical Software: <http://www.minitab.com/pt-br/support/documentation/>
- Minitab Inc. (2016). StatGuide. Retrieved maio 30, 2016, from <http://support.minitab.com/en-us/qeystone/1/coaches/quality-tools/capability-sixpack-nonnormal/>
- Nabeiro, J. (2015). *Implementação da manutenção produtiva total no setor de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço*. Dissertação em Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Mecânica, Coimbra. Retrieved março 2016
- Nogueira, L. J. (2010). *Melhoria da qualidade através de Sistemas Poka-Yoke*. Dissertação em Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade do Porto, Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Porto. Retrieved maio 23, 2016
- OMICS. (2015, setembro 12). *Duplex Stainless Steel*. Retrieved abril 20, 2016, from International Conferences: <http://www.conferenceseries.com/duplex-stainless-steel.php>
- Orfão, C. A. (2016). *Controlo Estatístico do Processo*. SINMETRO, Leiria. Retrieved maio 20, 2016

- Precision Kidd Steel Co. Inc. (n.d.). The Cold Drawing Process for Bars and Coils. USA. Retrieved maio 31, 2016, from The Cold Drawing: <http://www.precisionkidd.com/pdf/DrawingProcess.pdf>
- Reis, M. S. (2016). *Estatística para a melhoria de processos*. Coimbra, Coimbra, Portugal: Imprensa da Universidade de Coimbra. Retrieved maio 18, 2016
- SSAS. (2001, março 12). *Forming and Fabrication Techniques for Stainless Steel*. Retrieved abril 20, 2016, from <http://www.bssa.org.uk/cms/File/SSAS6.01-Forming%20Fabrication%20Techniques%20for%20Stainless%20Steel.pdf>
- SSINA. (2016). *Full Life Cycle of Stainless Steel*. Washington, D.C. Retrieved abril 20, 2016, from http://www.ssina.com/download_a_file/environmental.pdf
- SSINA. (2016). *Stainless Steel Fabrication*. Washington, D.C. Retrieved abril 20, 2016, from <http://www.ssina.com/publications/fabricat.html>
- Stahleisen, V. (2013). *Steel Manuel*. Dusseldorf, Germany: Stahlfibel. Retrieved outubro 23, 2016
- Stainless Steel in Figures 2015. (2015). *International Stainless Steel Forum*. Brussels. Retrieved from http://www.insg.org/docs/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2015_English.pdf
- Távora, K. (2009). *Apliação da metodologia seis sigma no processo de corte de uma indústria produtora de capas para bancos de automóvel*. Dissertação em Mestrado em Gestão Comercial, Universidade do Porto, Faculdade de Economia do Porto, Porto. Retrieved junho 2, 2016
- Teixeira, P. (2014). *Análise e otimização dos fluxos e processos do setor de desempenho numa empresa de produção de perfis de aço*. Dissertação em Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Mecânica, Coimbra. Retrieved março 13, 2016
- Wavrcynczak, H. C., Ulricht, G., & Teixeira, E. S. (2015, outubro). Modelo Matemático para cortes de barras de aço no processo de fabricação de triângulos. *Holos*, 8, pp. 252-261. Retrieved maio 11, 2016
- Zhang, H. (2011). *Building Materials in Civil Engineering*. (Y. W. Shuo Ma, Trans.) Cambridge: Woodhead Publishing and Science Press. Retrieved junho 1, 2016
- Zhang, M., & He, Z. (2015). Comprehensive Six Sigma Application: a case study. *Production Planning and Control: The Management of Operation*. Retrieved abril 2, 2016

Anexos

Anexo I

Processo de estiragem

I.1. Diagramas SIPOC para cada etapa do processo de estiragem

<i>Suppliers</i>	<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>	<i>Customers</i>
Jato/Stock	Atado (barras jateadas) Etiqueta		Atado (barras revestidas) Etiqueta	Estiragem
Condat	Pre-coating (água e Vicafil TS 4408)		Efluente	Tratamento de Efluentes

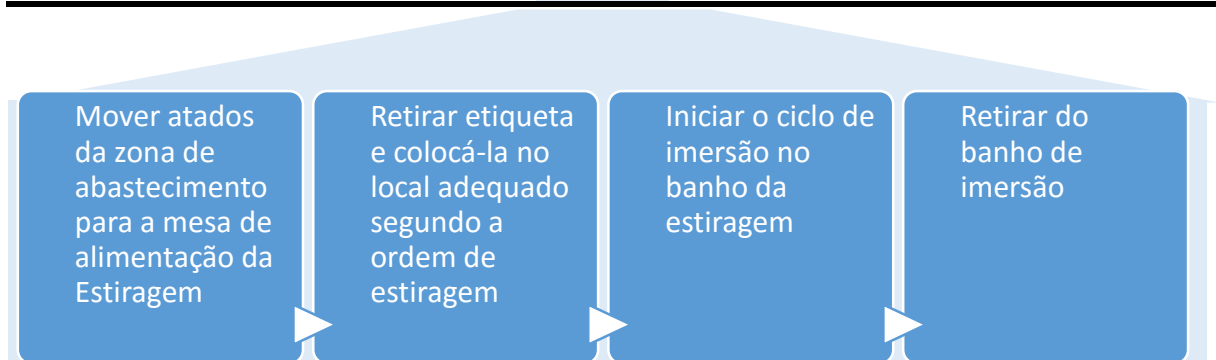


Figura 74 - Diagrama SIPOC para o processo de pre-coating das linhas CD1 e CD2.

<i>Suppliers</i>	<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>	<i>Customers</i>
Pre-coating	Atado (barras revestidas) Etiqueta		Atado (barras estiradas) Etiqueta	Lavagem
Condat	Óleo lubrificante (Vicafil TFH 4065)		Efluente	Tratamento de Efluentes
Scleros/Bender /Ceratzit	Fieira		Registo em SAP	Servidor

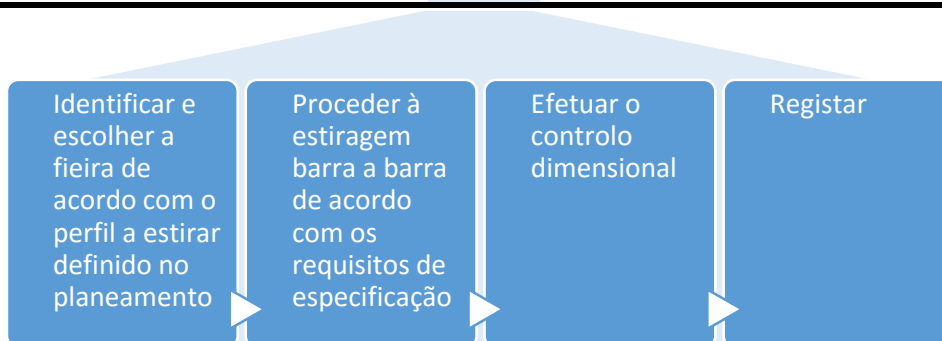


Figura 75 - Diagrama SIPOC para o processo de estiragem das linhas CD1 e CD2.

<i>Suppliers</i>	<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>	<i>Customers</i>
Estiragem CD1	Atado (barras estiradas) Etiqueta	Lavar e secar conjunto de barras	Atado (barras estiradas) Etiqueta	Corte CD1
SurTec ST Ibérica	Solução de lavagem manual (SurTec 005, água)		Efluente	Tratamento de efluentes

Figura 76 - Esquema de entradas e saídas do processo de lavagem da linha CD1.

<i>Suppliers</i>	<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>	<i>Customers</i>
Estiragem CD2	Atado (barras estiradas) Etiqueta	Lavar e secar barra a barra	Atado (barras estiradas) Etiqueta	Corte CD1
SurTec ST Ibérica	Solução de lavagem automática (SurTec 085, SurTec 138, água)		Efluente	Tratamento de efluentes

Figura 78 - Esquema de entradas e saídas do processo de lavagem da linha CD2.

<i>Suppliers</i>	<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>	<i>Customers</i>
Lavagem	Atado (barras estiradas) Etiqueta		Atado (barras estiradas) Etiqueta	Desempeno
	Solução lubrificante de corte (Hysol, água)		Efluente	Tratamento de Efluentes
Wikus	Serra de fita		Sucata Limalhas Registo em SAP	Sucateiro Servidor

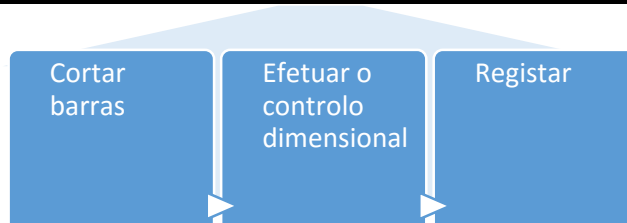


Figura 77 – Diagrama SIPOC para o processo de corte de estirados das linhas CD1 e CD2.

I.2. Condições usadas nas linhas de estiragem

De seguida, serão apresentadas as condições de operação usadas nas linhas de estiragem, onde se pode verificar algumas diferenças não só na gama da área de secção reta, A, mas também na metodologia usada.



Figura 79 - Sequência e condições de operação da linha de estiragem CD1, usada para perfis com uma secção reta menor do de 2000 mm².

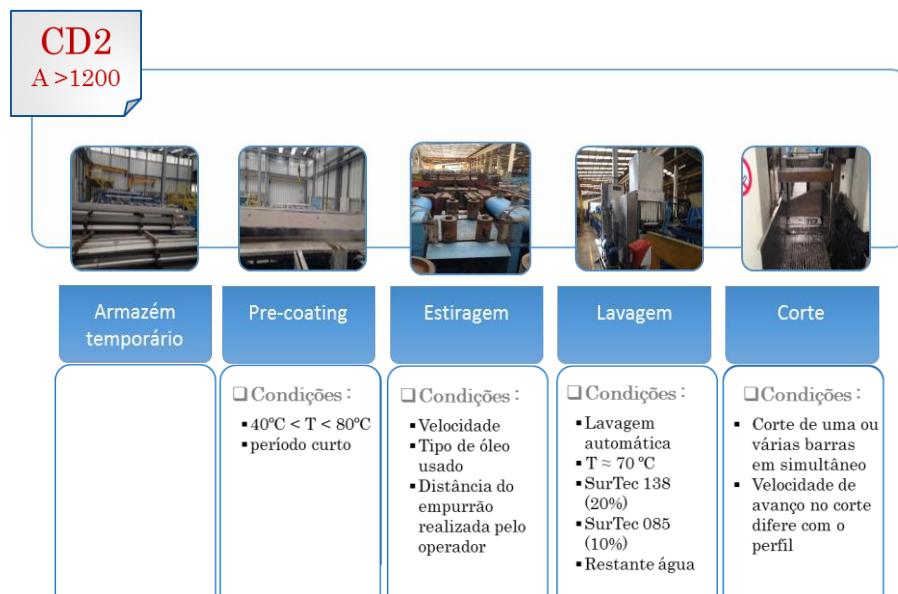


Figura 80 - Sequência e condições de operação da linha de estiragem CD2, usada para perfis com uma secção reta menor do de 1200 mm².

I.3. Esquema global do processo de produção de estirados

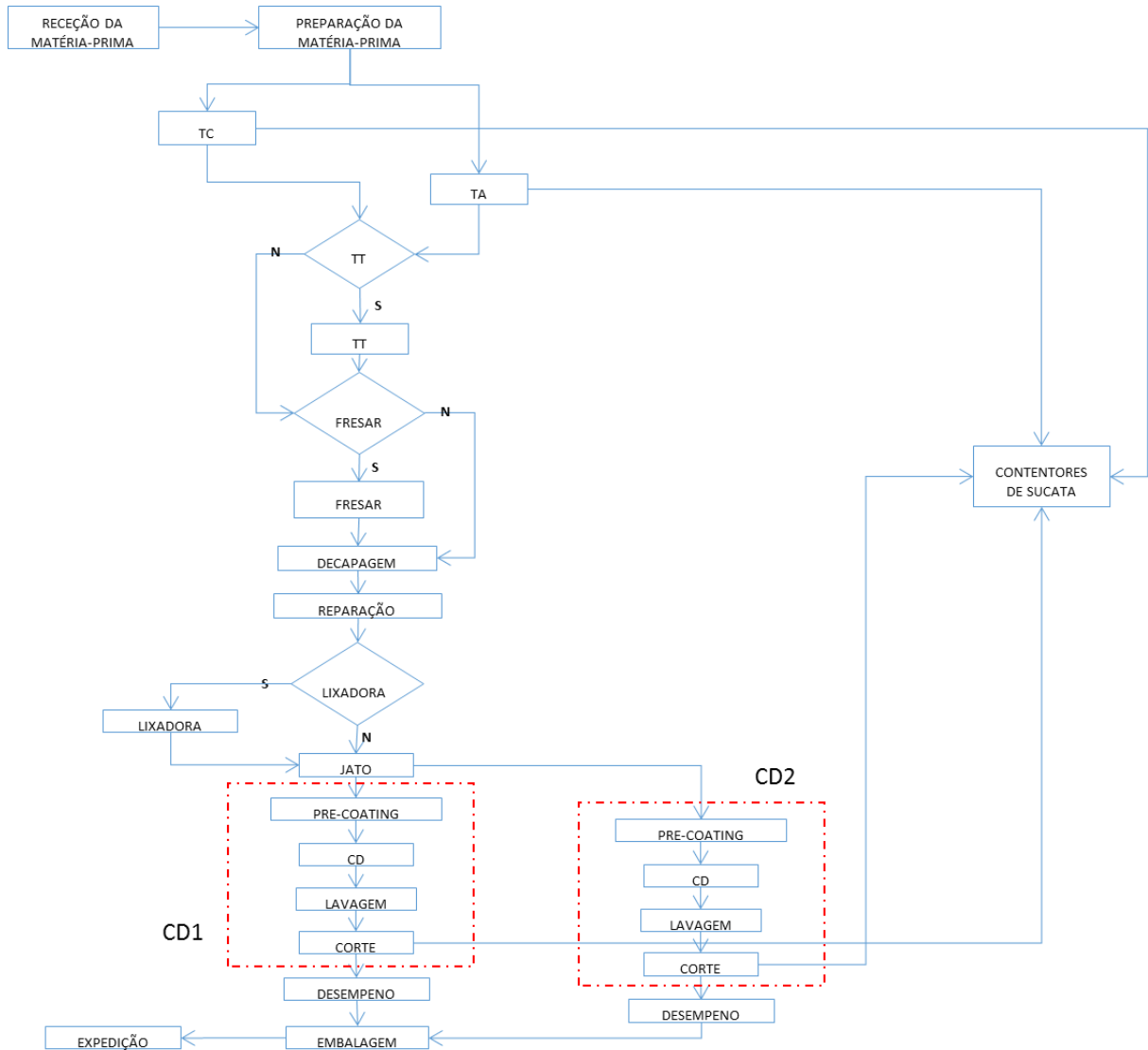


Figura 81 - Diagrama de blocos do processo global de produção de estirados.

Anexo II

Organograma da empresa

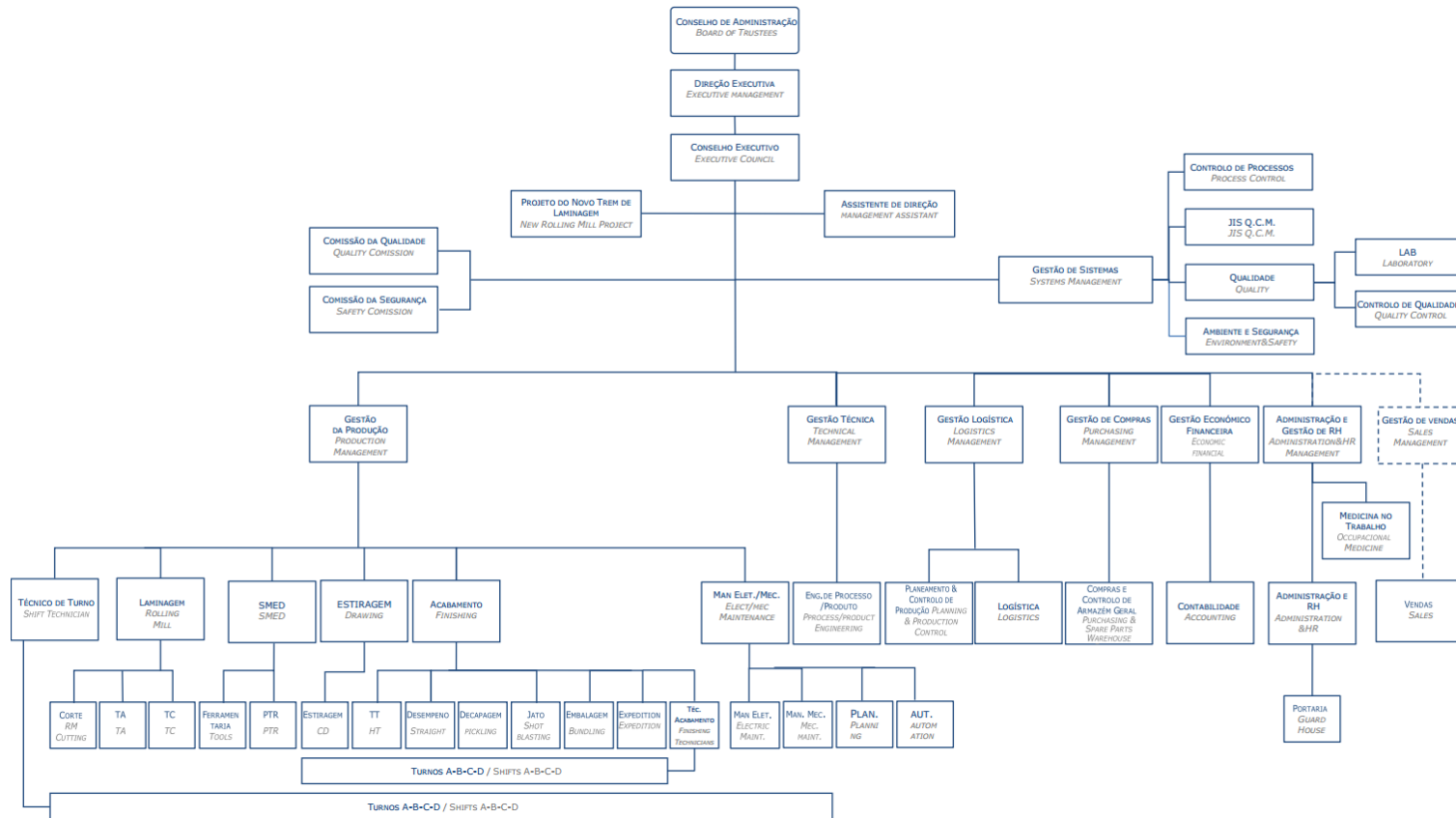


Figura 82 - Organograma da empresa Böllinghaus Steel S.A. em 2016.

III.2. Project Charter

Project Charter

Título do Projeto

Análise de pontas de sucata e Redução das mesmas

Unidade de Negócio	Böllinghaus Steel S.A.	Localização: Rua da Indústria, Vieira de Leiria	
Elementos da Equipa de Projeto		Contacto	Assinatura
Green Belt	Sara Jacinto	sjacinto@bollinghaus.pt	
Black Belt	Nélio Mourato	nmourato@bollinghaus.pt	
Master Black Belt	Marco Seabra	marco@eq.uc.pt	
Champion	José Santos	jsantos@bollinghaus.pt	
Process Owner	Nélio Mourato	nmourato@bollinghaus.pt	
Membros da equipa	Papel		
Ana Ferreira	Auxílio com conhecimentos do tema	aferreira@bollinghaus.pt	
Petro Paskar	Auxílio com conhecimentos da Estiragem		
Pedro Teixeira	Auxílio com conhecimentos Seis Sigma e Planeamento	pteixeira@bollinghaus.pt	
operadores	Auxílio com conhecimentos da Estiragem		

Descrição do problema	Em 2015, foram produzidas grandes quantidades de sucata, as quais perfizeram 4,8% da matéria-prima utilizada. Isto corresponde a uma perda de 845 mil euros nesse ano.
Âmbito	Pretende-se estudar o processo de estiragem, nomeadamente as duas linhas CD1 e CD2.
Objetivo	Pretende-se reduzir a percentagem de sucata de 4,8 para 4,66% até 31 de Maio.
Benefícios	Redução de custos de matéria-prima para a empresa, aumento da eficiência do processo e maiores receitas.

Planeamento

Data de início	29-03-2016		Data de conclusão		31-05-2016												
Fase DMAIC	Início	Conclusão	Semanas														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Definir	29-02	14-03	X	X													
Medir	1-03	18-04	X	X	X	X	X	X	X	X							
Analisar	14-03	26-04			X	X	X	X	X	X							
Melhorar	25-04	16-05										X	X	X			
Controlar	16-05	31-05													X	X	
Relatório Final	29-02	31-05	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Aprovação

	Nome	Assinatura	Data
Preparado por:	Sara Jacinto		
Champion	José Santos		
Process Owner	Nélio Mourato		
Master Black Belt	Marco Seabra		
Departamento Financeiro	Isabel Pereira		

Anexo IV

Análise de dados de sucata referentes a 2015

De seguida será apresentada a análise dos dados referentes a 2015, para ambas as linhas de estiragem, em paralelo. Será analisada a influência das várias características associadas à definição de um produto (*grade*, largura, espessura e perfil) e será ainda apresentada a lista dos perfis mais problemáticos de cada categoria.

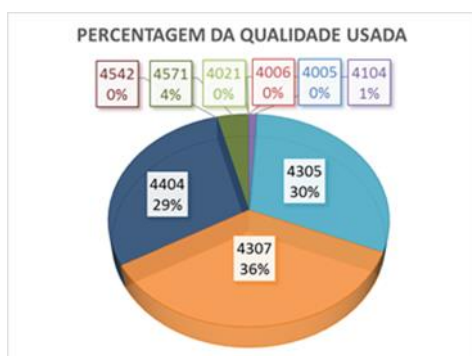


Figura 83 - Percentagem em que cada grade foi usada em 2015.

A partir da Figura 83 nota-se que a empresa utiliza maioritariamente a *grade* 1.4307, seguido do 1.4305 e 1.4404, respetivamente. A quantidade usada é variável pois a produção depende das encomendas recebidas.

IV.1. CDI - Perfis Retangulares

➤ Grade

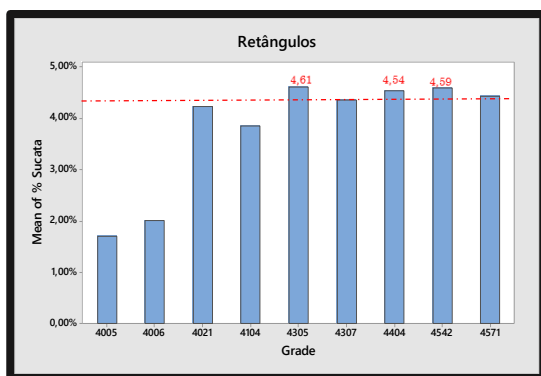


Figura 84 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis retangulares na linha de estiragem CDI.

Na Figura 84, verifica-se que a média da percentagem de sucata em perfis retangulares não é dependente da *grade*. À exceção de 1.4005 e 1.4006, os quais são usados em menores quantidades, a média das percentagens de sucata são idênticas. Conclui-se então que as *grades* mais usadas são as que também apresentam uma maior percentagem de sucata média. Para além disto, observou-se através do diagrama do tipo caixa e bigodes, na Figura 85, que existem muitos *outliers*, os quais têm grande impacto na percentagem de sucata média.

Apesar disto, 75% dos valores referentes aos perfis das duas *grades* mais usadas, 1.4307 e 1.4305, estão localizados abaixo de 5,01% e 5,39%, respetivamente. Neste sentido, é importante perceber se estes eventos ocorrem com frequência e, caso positivo, qual a razão. Verificou-se, por isso, qual o peso dos *outliers*, considerando a percentagem de sucata de 7% como o limite inferior (uma vez que este valor é comum em empresas análogas). Desta análise obteve-se que 16,23% dos casos relatados são *outliers*.

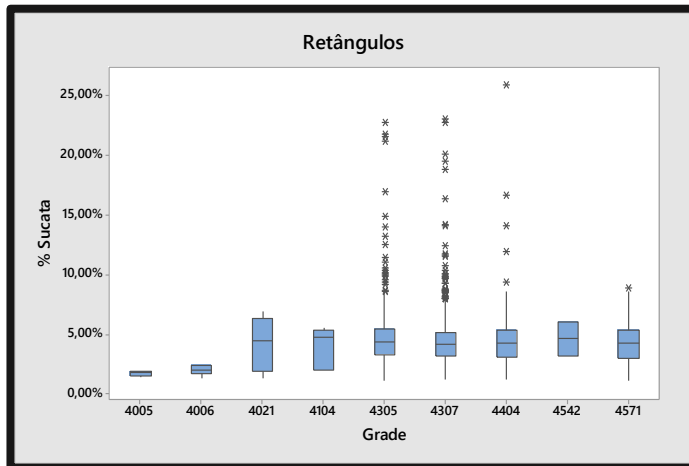


Figura 85 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usadas em perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1.

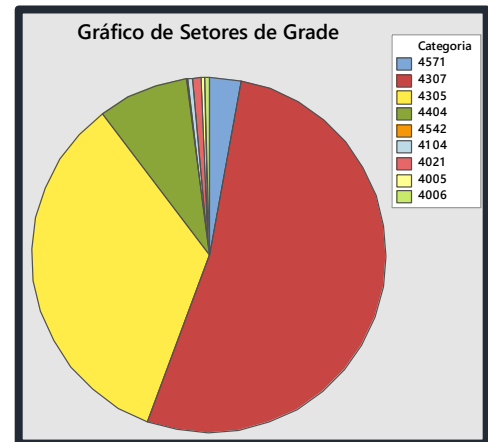


Figura 86 - Fração de grade usada nos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1.

➤ Espessura

Tabela 25 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1 com maiores percentagens de sucata dependendo da espessura.

	Espessura /mm	% Sucata /%
1	6,35	6,05
2	13,00	6,02
3	50,80	5,84
4	41,00	5,65
5	9,50	5,61
6	12,70	5,18
7	8,00	5,05
8	9,53	4,88
9	7,94	4,81
10	10,00	4,81

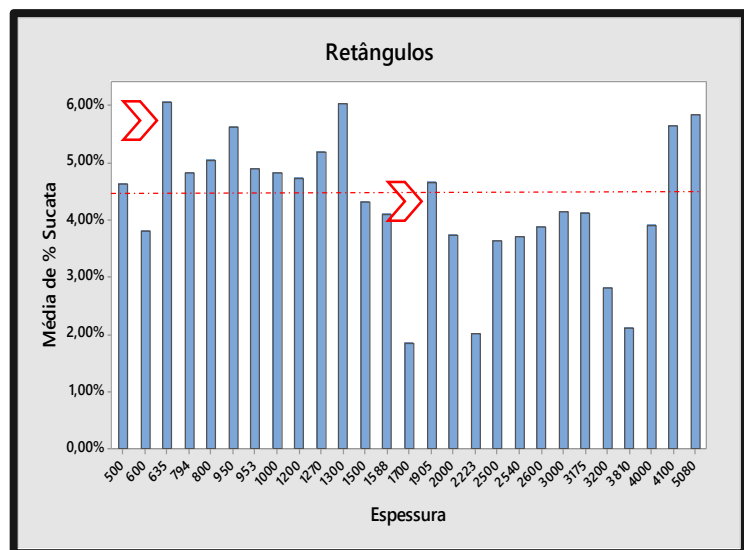


Figura 87 - Percentagem de sucata média para os vários valores de espessura dos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1.

Verifica-se que a percentagem de sucata apresenta variabilidade, tendo maior percentagem de sucata em perfis de dimensões situadas nas extremidades da gama de especificação da máquina. No entanto, o perfil com 19,05 mm de espessura presente na zona central apresenta alguma diferenciação. Numa situação oposta encontra-se o perfil de 6 mm de espessura. Conclui-se então que não existe nenhum padrão que relacione o valor de percentagem com a espessura.

➤ Largura

Tabela 26 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CDI com maiores percentagens de sucata dependendo da largura.

	Largura /mm	% Sucata /%
1	14,27	6,89
2	55,00	6,47
3	15,00	6,18
4	76,20	6,14
5	27,00	6,02
6	19,05	5,82
7	28,58	5,76
8	81,00	5,65
9	28,50	5,61
10	100,00	5,35

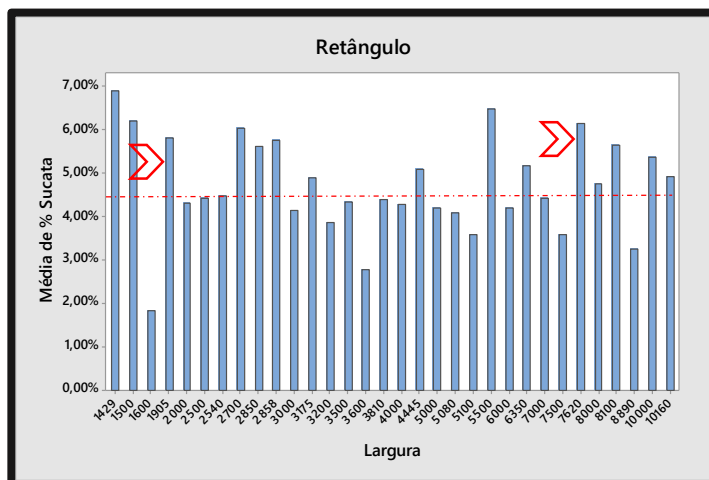


Figura 88 - Percentagem de sucata média para os vários valores de largura dos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CDI.

De forma semelhante à espessura, não existe nenhuma tendência do valor de percentagem de sucata face à largura (Figura 88), sendo que os menores valores se encontram numa zona central.

➤ Dimensão

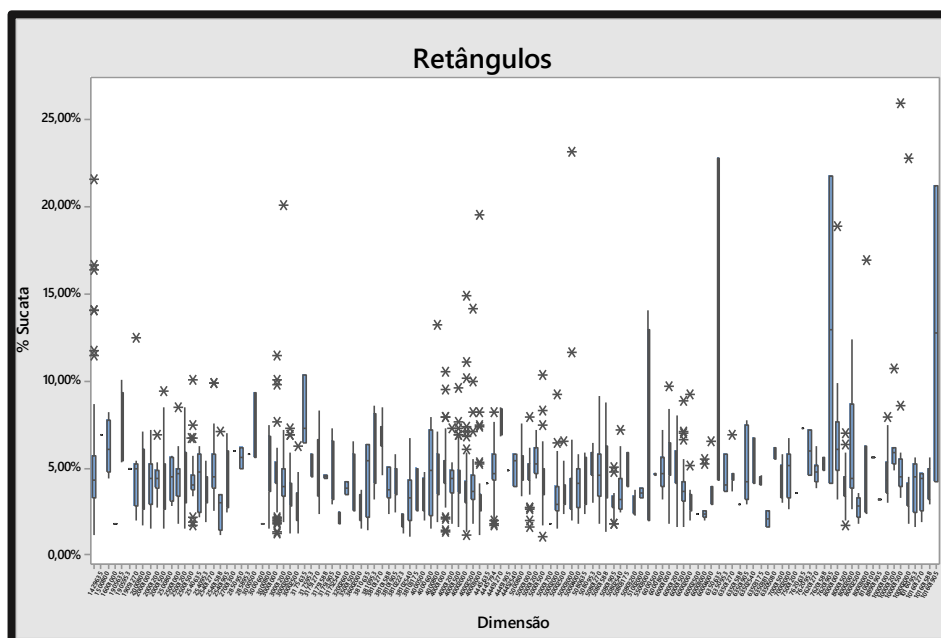


Figura 89 - Variabilidade dos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CDI em termos de percentagem de sucata produzida.

Mais uma vez, a variabilidade associada aos perfis é evidente (Figura 89). A existência de *outliers* pode ser provocada por alterações no processo ou erros de procedimento, os quais deveriam ser detectados no momento de modo a permitir a sua correção.

➤ Dimensão

Tabela 27 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.

	Dimensão /mm	% Sucata /%
1	63,50x6,35	13,55
2	76,20x19,05	12,92
3	101,60x19,05	12,73
4	31,75x6,35	8,03
5	44,45x12,70	7,60
6	19,05x6,35	7,45
7	76,20x6,35	7,25
8	14,27x6,35	6,89
9	30,00x5,00	6,87
10	38,10x12,70	6,69

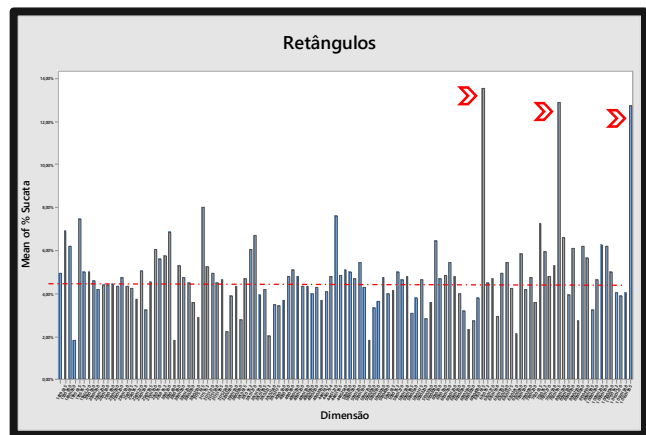


Figura 90 - Percentagem de sucata média para os vários perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD1

Quando são avaliados os perfis face à dimensão (Figura 90) verificam-se três perfis com grande destaque. Estes, por sua vez, são pouco produzidos, para além de apresentarem valores de largura e espessura situados nas extremidades da gama de valores usada.

Relativamente ao comprimento inicial da barra, verifica-se que comprimentos menores do que 4800 mm geram mais sucata, Figura 91.

➤ Comprimento

Tabela 28 - Lista dos 5 comprimentos mais críticos relativamente à percentagem de sucata a eles associada para perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CDI.

	Dimensão /mm	% Sucata /%
1	6025	16,90
2	4000	9,84
3	3100	9,45
4	3640	8,46
5	7300	8,44

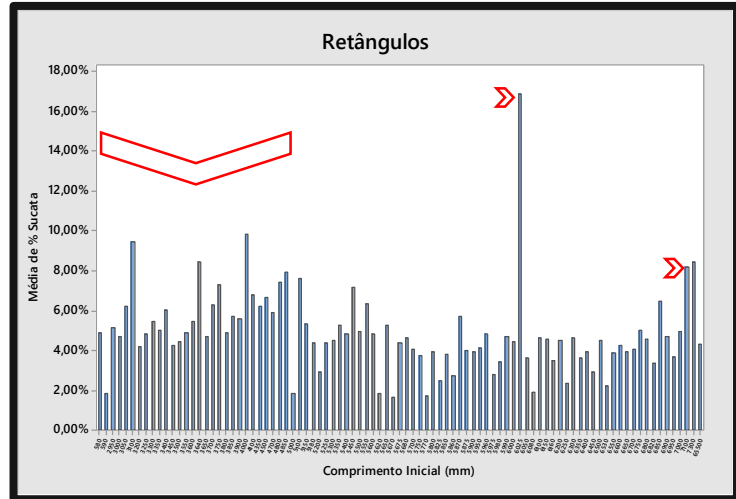


Figura 91 - Percentagem de sucata média para os vários perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CDI.

IV.2. CD1 - Perfis Quadrangulares

➤ Grade

Na Figura 92, é nítida a variação da média da percentagem de sucata em perfis quadrangulares, segundo a *grade*. Sendo que as *grades* 1.4021 e 1.4401 apresentam aqui destaque.

Observando com maior pormenor esta variabilidade, Figura 93, é agora evidente que, em ambos os casos, a elevada média aparenta estar relacionada com a sua pequena utilização, não estando o processo otimizado.

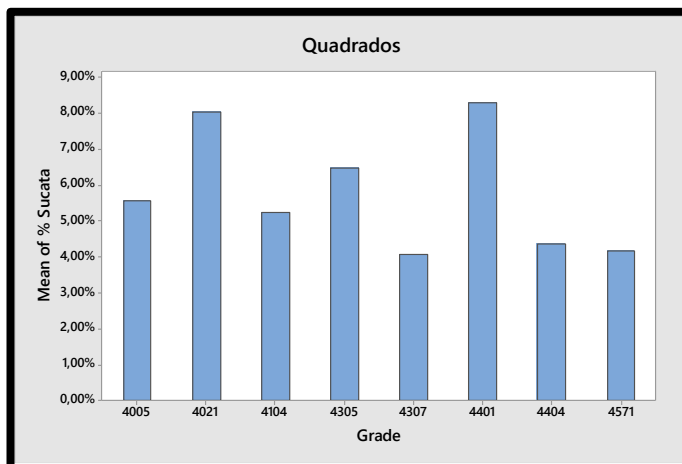


Figura 92 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis quadrangulares na linha de estiragem CD1.

No entanto, de forma semelhante aos perfis retangulares, as *grades* mais usadas (Figura 94) são as que apresentam maior número de *outliers*, o que pode indicar instabilidade do processo.

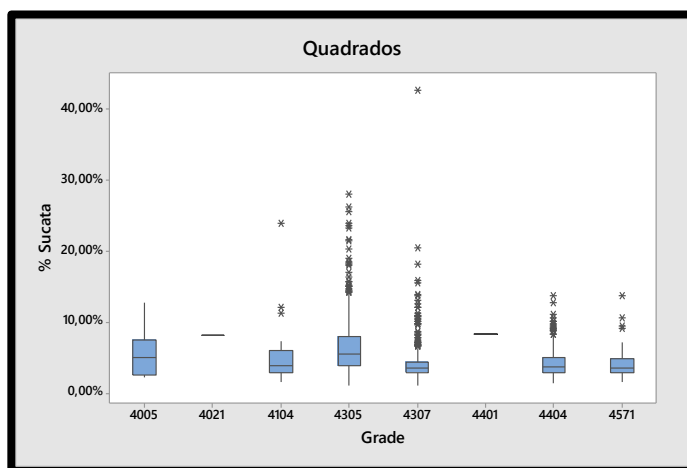


Figura 93 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usadas em perfis quadrangulares produzidos na linha CD1.

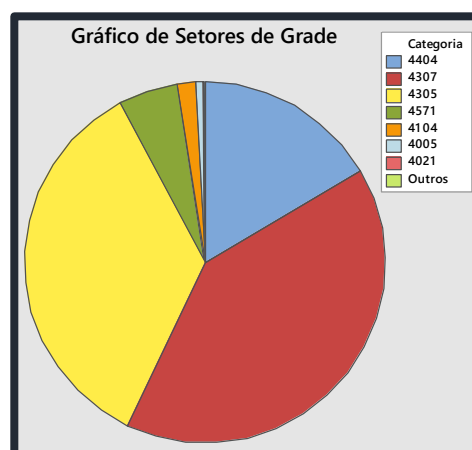


Figura 94 - Fração de grade usada nos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD1.

➤ Dimensão

Observando a influência da dimensão na percentagem de sucata, representado na Figura 95, verifica-se uma maior percentagem de sucata em perfis de menores dimensões; mais uma vez, na extremidade da gama de ação da linha CD1, apesar de que o perfil com maior destaque não corresponde ao de menor dimensão.

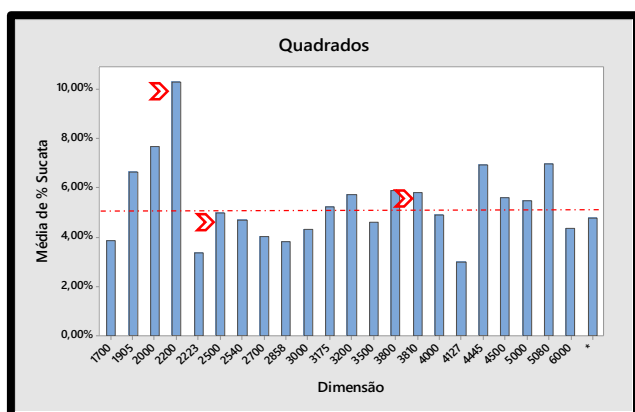


Figura 95 - Percentagem de sucata média para os vários valores de dimensão dos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CDI.

Comparativamente ao resultado para perfis retangulares da mesma linha, averigua-se que, no geral, os perfis retangulares aparentam ter uma maior percentagem de sucata, uma vez que são atingidos valores muito superiores. Contudo, tal não acontece; a média de sucata destes perfis é de 4,44%, enquanto os quadrados apresentam 5,01%.

Tabela 29 - Lista dos 10 perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CDI com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.

	Dimensão /mm	% Sucata /%
1	22,00	10,57
2	20,00	7,65
3	50,80	6,95
4	44,45	6,91
5	19,05	6,63
6	38,00	5,89
7	38,10	5,80
8	32,00	5,72
9	45,00	5,58
10	50,00	5,45

Desta análise confirma-se que no caso de perfis retangulares, existem outliers enquanto, neste caso, é comum a percentagem de sucata ser maior, ou seja, apresentam maior frequência. Para os quadrados, 37,64% dos casos apresentam percentagens de sucata superiores a 7%. A Figura 96 corrobora esta informação, demonstrando que há muitos valores se situam bastante acima deste valor definido como limite.

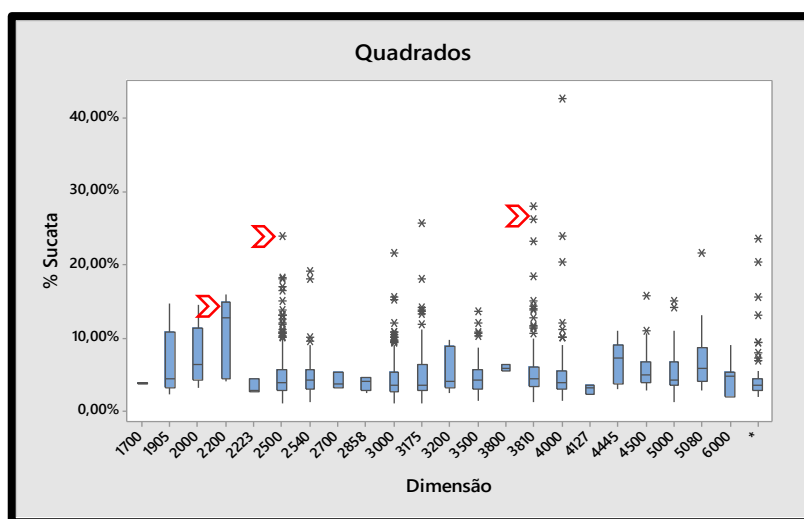


Figura 96 - Variabilidade dos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CDI em termos de percentagem de sucata produzida.

IV.3. CD1 - Perfis Hexagonais

➤ Grade

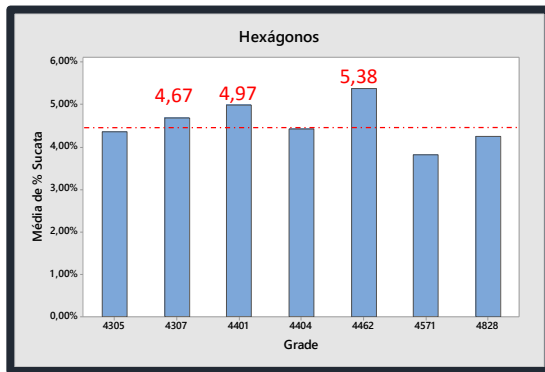


Figura 97 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis hexagonais na linha de estiragem CD1.

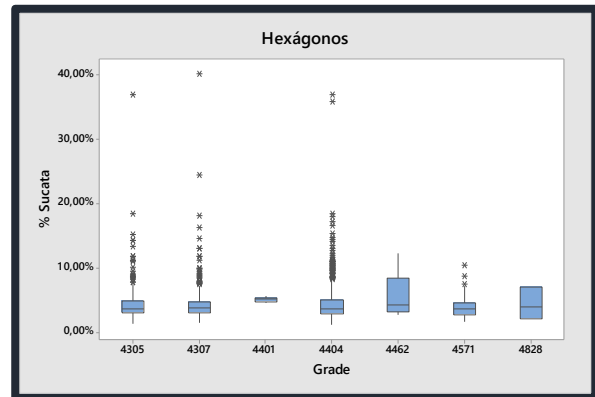


Figura 98 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usados em perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD1.

Na Figura 97 verifica-se que a *grade* não leva a uma variação significativa da média da percentagem de sucata em perfis hexagonais. Neste caso, as *grades* 1.4401 e 1.4462 apresentam destaque, mas por se tratarem de materiais pouco usados (Figura 99). Estudando com maior pormenor, as Figuras 97 e 98 demonstram que as *grades* mais usadas apresentam valores de percentagem de sucata menores, mas um grande número de *outliers*.

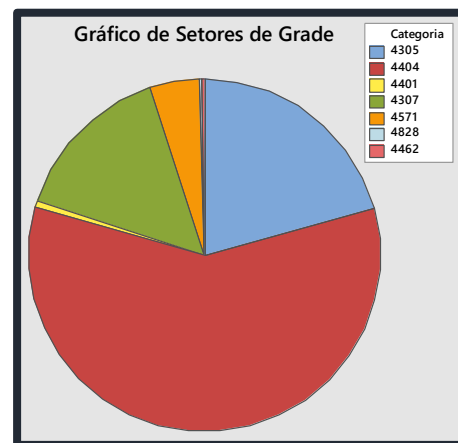


Figura 99 - Fração de grade usada nos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD1.

➤ Dimensão

Analisando o efeito da dimensão na percentagem de sucata, representado na Figura 100, verifica-se que perfis de maiores dimensões acarretam maior percentagem de sucata. Igualmente aos casos anteriores, na extremidade da gama de ação da linha CD1, alcançam-se valores superiores. É importante ter em conta que os perfis hexagonais têm sido alvo de ajustes devido a este perfil ter sido recentemente incluído na gama de produtos. No entanto, a média de sucata atingida por este perfil consegue ser inferior aos anteriormente abordados.

Para os hexágonos, 27,12% dos casos apresentam percentagens de sucata superiores a 7%. A Figura 101 corrobora esta informação, demonstrando que grande parte dos valores se situa acima deste valor.

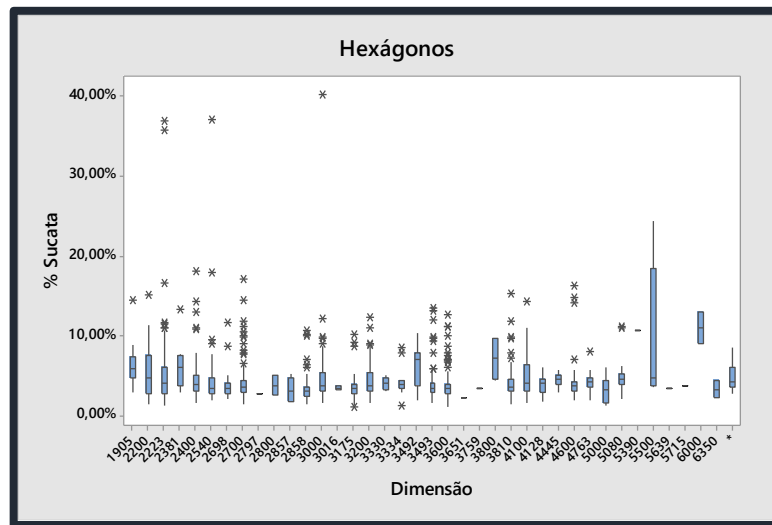


Figura 100 - Variabilidade dos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD1 em termos de percentagem de

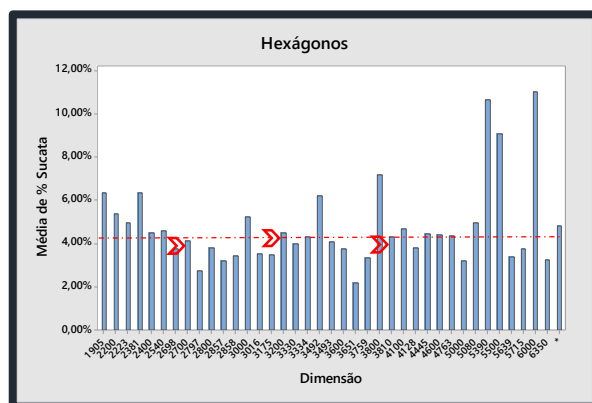


Figura 101 - Percentagem de sucata média para os vários valores de dimensão dos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD1.

Tabela 30 - Lista dos 10 perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD1 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.

Dimensão /mm	% Sucata /%	
1	60,00	11,00
2	53,90	10,66
3	55,00	9,08
4	38,00	7,17
5	19,05	6,36
6	23,81	6,34
7	34,92	6,19
8	22,00	5,35
9	30,00	5,24
10	22,23	4,97

IV.4. CD2 - Perfis Retangulares

➤ *Grade*

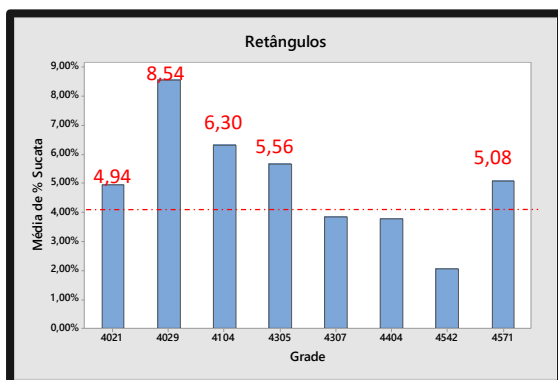


Figura 102 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis retangulares na linha de estiragem CD2

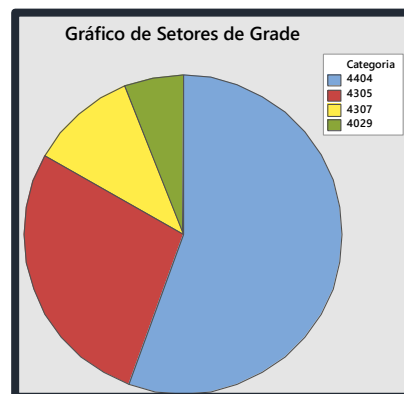


Figura 103 - Fração de grade usada nos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2.

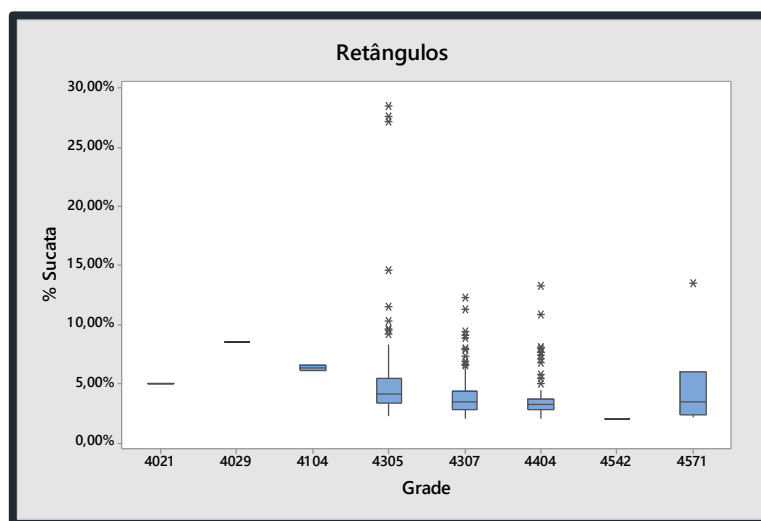


Figura 104 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usados em perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2.

De modo análogo, aos estudos anteriores, as *grades* mais usadas (Figura 103) são as que apresentam maiores *outliers* (Figura 104). A *grade* 1.4404 destaca-se por apresentar uma faixa de valores apertada, contrapondo a elevada quantidade de *outliers*. Neste caso, a média da *grade* 1.4305 é elevada e é importante ter em mente que nem todas as dimensões desta *grade* foram aqui consideradas.

➤ Espessura

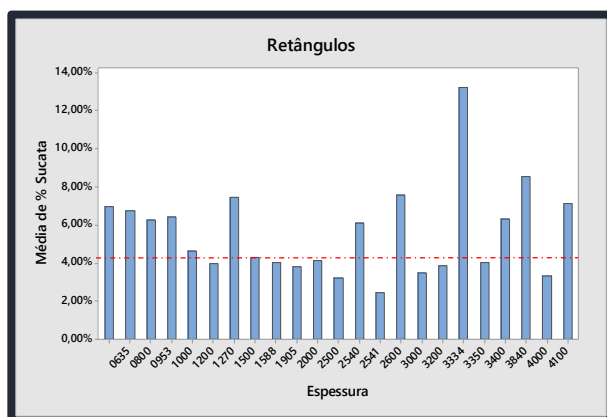


Figura 105 - Percentagem de sucata média para os vários valores de espessura dos perfis retangulares para a linha de estiragem CD2.

Relativamente à influência da espessura, apresentada na Figura 105, é visível uma menor percentagem de sucata na zona central, tal como nas situações anteriores. No entanto, o mesmo não acontece quando a largura é evidenciada (Figura 106).

Tabela 31 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2 com maiores percentagens de sucata dependendo da espessura.

	Espessura /mm	%Sucata /%
1	33,34	13,22
2	38,40	8,54
3	26,00	7,56
4	12,70	7,44
5	41,00	7,11
6	6,35	6,77
7	9,53	6,42
8	34,00	6,30
9	8,00	6,26
10	25,40	6,08

➤ Largura

Tabela 32 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2 com maiores percentagens de sucata dependendo da largura.

	Largura /mm	% Sucata /%
1	63,50	9,08
2	38,10	8,72
3	42,00	8,54
4	81,00	7,11
5	55,56	6,88
6	51,00	6,69
7	25,40	4,76
8	30,00	4,74
9	36,00	4,40
10	20,00	4,37

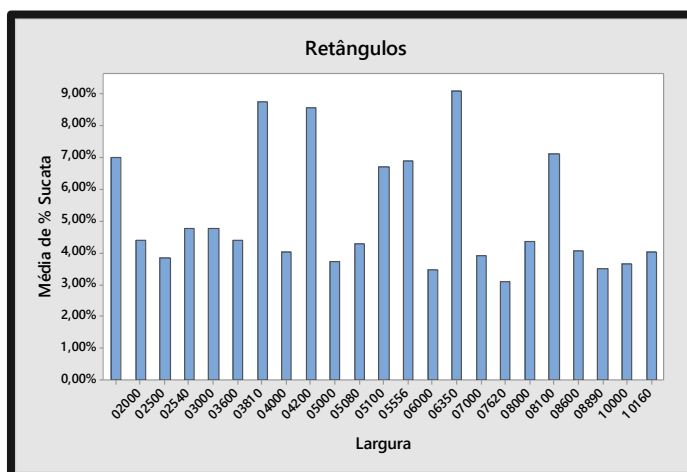


Figura 106 - Percentagem de sucata média para os vários valores de largura dos perfis retangulares para a linha de estiragem CD2.

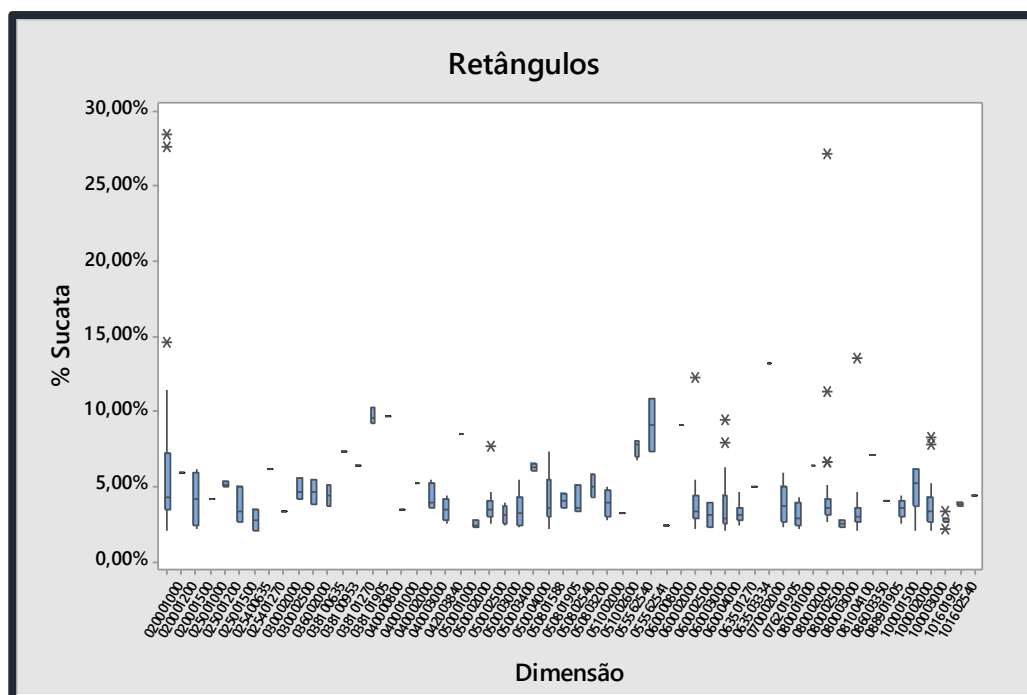


Figura 107 - Variabilidade dos perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2 em termos de percentagem de sucata produzida.

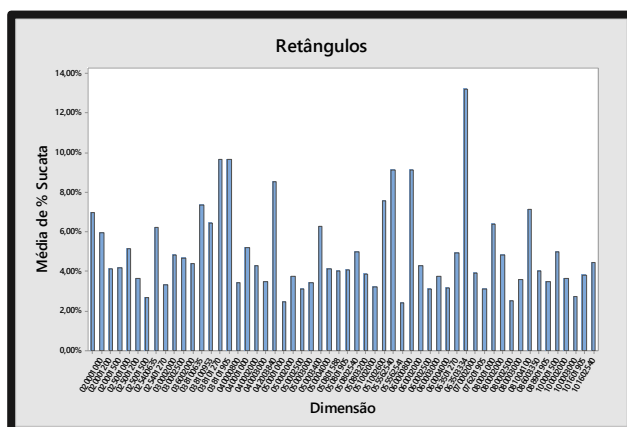


Figura 108 - Percentagem de sucata média para os vários perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2.

Tabela 33 - Lista dos 10 perfis retangulares produzidos na linha de estiragem CD2 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.

	Dimensão /mm	% Sucata /%
1	63,50x33,34	13,22
2	38,10x12,70	9,65
3	38,10x19,05	9,64
4	55,56x25,40	9,10
5	60,00x8,00	9,09
6	42,00x38,40	8,54
7	51,00x26,00	7,56
8	81,00x41,00	7,11
9	38,10x9,53	6,42
10	80,00x10,00	6,38

Face à influencia da dimensão, apresentado nas Figuras 107 e 108, os perfis que mais se destacam, e ao contrário do que tem acontecido até agora, não correspondem a dimensões localizadas nas extremidades a gama de operação do equipamento de estiragem da linha CD2.

IV.5. CD2 - Perfis Quadrangulares

➤ Grade

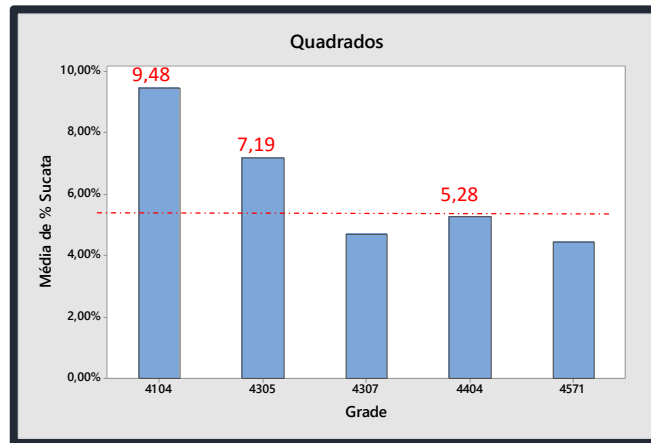


Figura 109 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis quadrangulares na linha de estiragem CD2.

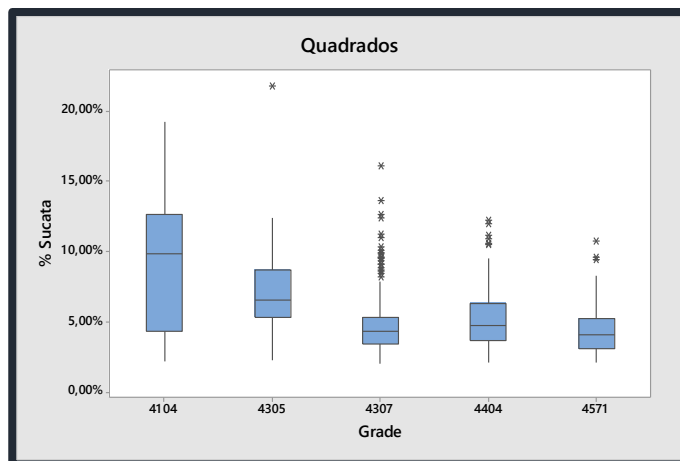


Figura 110 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usadas em perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD2

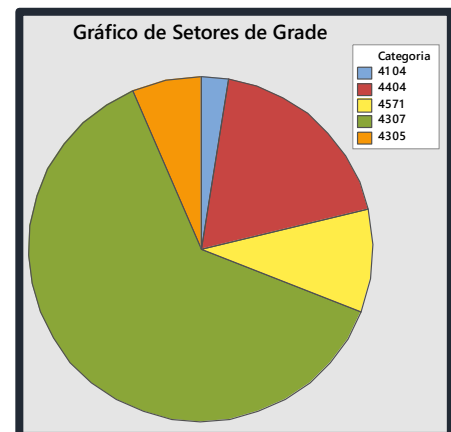


Figura 111 - Fração de grade usada nos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD2.

A média de sucata da grade 1.4104 apresenta grande destaque face aos restantes (Figura 109), sendo a menos utilizada nos produtos (Figura 111). Neste sentido remete para um processo que deve ser otimizado. Novamente, na Figura 110, as grades mais usadas apresentam uma faixa de valores mais apertada e um maior número de outliers.

➤ Dimensão

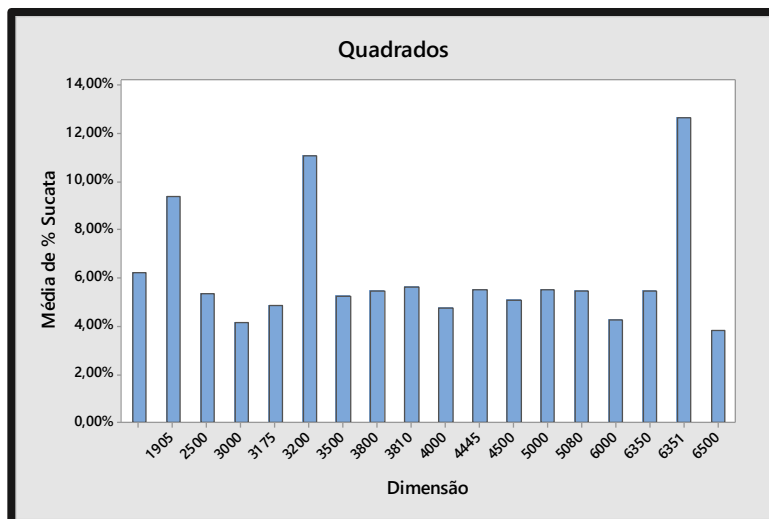


Tabela 34 - Lista dos 10 perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD2 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.

	Dimensão /mm	% Sucata /%
1	63,51	12,64
2	32,00	11,11
3	19,05	9,39
4	38,10	5,62
5	44,45	5,51
6	50,00	5,50
7	50,80	5,48
8	63,50	5,48
9	50,00	5,40
10	25,00	5,35

Figura 112 - Percentagem de sucata média para os vários valores de espessura dos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD2.

De forma semelhante aos casos anteriores, os produtos apresentam variabilidade (Figura 113), sendo que algumas dimensões se destacam por apresentarem uma elevada percentagem de sucata. Neste caso, as dimensões 63,51, 32 e 19,05 mm apresentam maior média da percentagem de sucata (Figura 112).

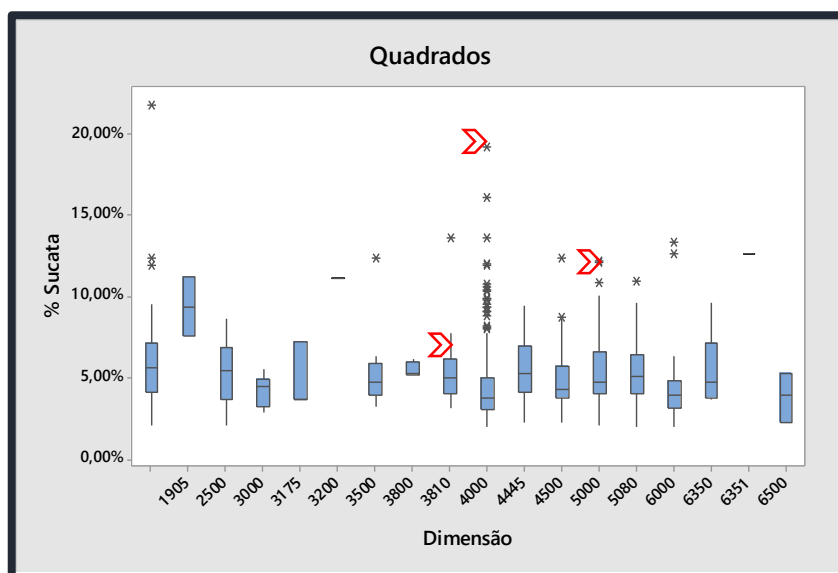


Figura 113 - Variabilidade dos perfis quadrangulares produzidos na linha de estiragem CD2 em termos de percentagem de sucata produzida.

IV.6. CD2 - Perfis Hexagonais

➤ Grade

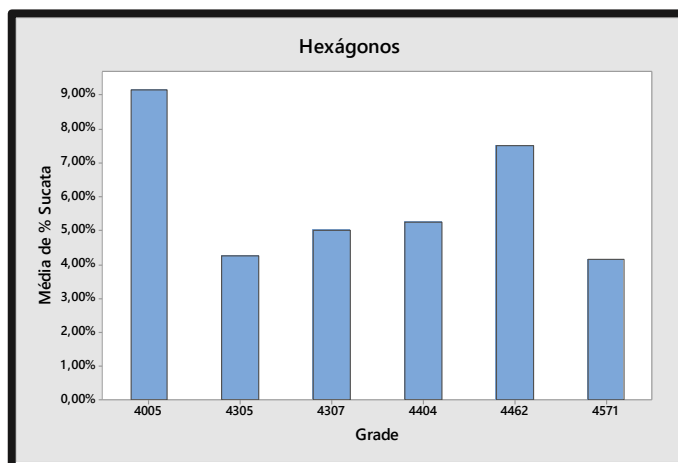


Figura 114 - Percentagem de sucata média para as várias grades de aço inox usadas na produção de perfis hexagonais na linha de estiragem CD2.

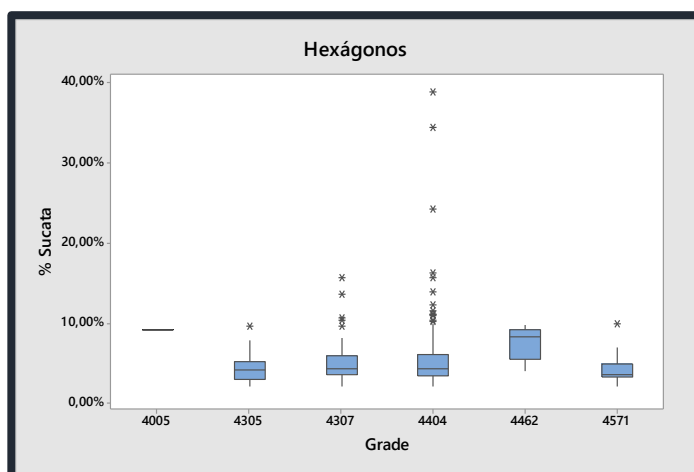


Figura 115 - Variabilidade da percentagem de sucata para diferentes grades usadas em perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD2

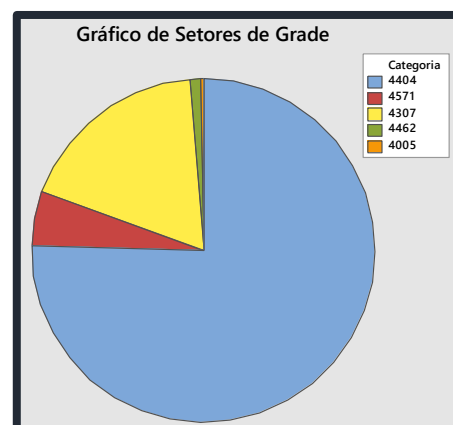


Figura 116 - Fração da grade usada nos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD2.

Na Figura 114 verifica-se que, nos perfis hexagonais produzidos na linha CD2, a *grade* leva a uma variação significativa da média da percentagem de sucata somente em alguns casos. Este são as *grades* 1.4005 e 1.4462, os mesmos casos cuja produção é menor (Figura 116). Estudando com maior pormenor, a Figuras 115 demonstra que as *grades* mais usadas apresentam valores de percentagem de sucata menores, mas um grande número de *outliers* (1.4404 e 1.4307).

➤ Dimensão

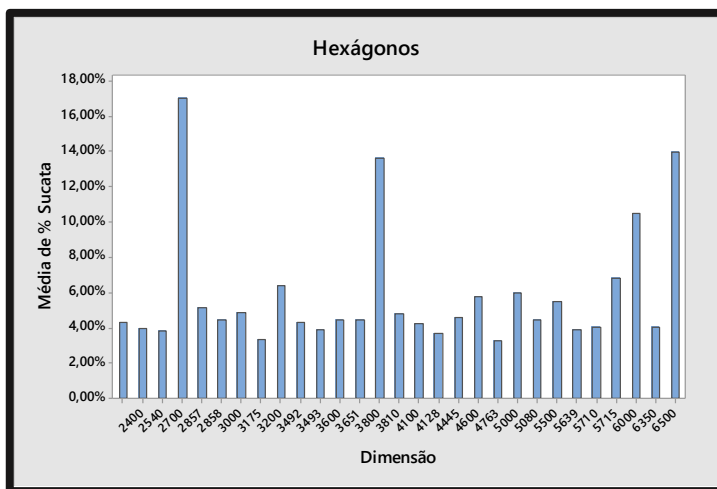


Figura 117 - Percentagem de sucata média para os vários valores de dimensão dos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD2.

Analisando o efeito da dimensão na percentagem de sucata, apresentado na Figura 118, verifica-se que alguns perfis têm uma maior percentagem de sucata. É importante ter em conta que os perfis hexagonais têm sido alvo de ajustes devido a este perfil ter sido recentemente incluído na gama de produtos, bem como o facto do equipamento da linha CD2 ter sido adquirido recentemente

Tabela 35 - Lista dos 10 perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD2 com maiores percentagens de sucata dependendo da dimensão.

	Dimensão /mm	% Sucata /%
1	27,00	16,99
2	65,00	13,94
3	38,00	13,59
4	60,00	10,47
5	57,15	6,79
6	32,00	6,52
7	50,00	6,99
8	46,00	5,77
9	55,00	5,48
10	28,57	5,17

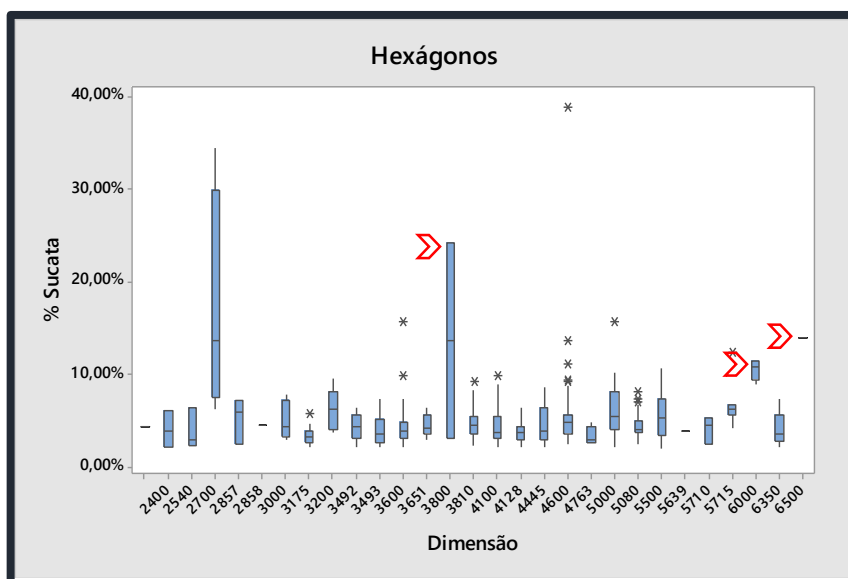


Figura 118 - Variabilidade dos perfis hexagonais produzidos na linha de estiragem CD2 em termos de percentagem de sucata produzida

Anexo V
Ficha de Medição

Data	Equipamento	nº																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Descrição material</td></tr> <tr><td>Qualidade</td></tr> <tr><td>Material</td></tr> </table>		Descrição material		Qualidade	Material	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Descrição produto</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Produto</td></tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;">Limites de Especificação</td> <td style="text-align: center;">Inferior</td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">Superior</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">%Sucata 20__</td></tr> </table>	Descrição produto		Produto		Limites de Especificação	Inferior	Superior	%Sucata 20__												
Descrição material																										
Qualidade																										
Material																										
Descrição produto																										
Produto																										
Limites de Especificação	Inferior																									
	Superior																									
%Sucata 20__																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Descrição operação</td></tr> <tr><td>Turno</td></tr> <tr><td>Operador</td></tr> </table>		Descrição operação		Turno	Operador																					
Descrição operação																										
Turno																										
Operador																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Atado</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Nº Barras</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Peso inicial</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Peso final</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% Sucata</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Observações</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		Atado				Nº Barras				Peso inicial				Peso final				% Sucata				Observações				
Atado																										
Nº Barras																										
Peso inicial																										
Peso final																										
% Sucata																										
Observações																										
	PM_tot	vinco/ fresa	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2	Comentários																		
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										
9																										
10																										
11																										
12																										
13																										
14																										
15																										
16																										
17																										
18																										
19																										
20																										
21																										
22																										
23																										
24																										
25																										
26																										
27																										
28																										
29																										
30																										

Anexo VI

Medições realizadas

Na linha de estiragem CD1 foram analisadas as pontas dos perfis descritos na Tabela 36.

Tabela 36 - Produtos produzidos na linha CD1 sujeitos a medição de pontas de sucata.

Perfil	Grade	Dimensão
Retangular	1.4571	30x4
	1.4305	35x15
	1.4307	40x10
	1.4307	50x15
Quadrangular	-	-
Hexagonal	1.4307	32

VI.1. CD1 - 4571 RET 30x4

Tabela 37 – Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4571 RET 30x4.

n	PM_tot	fresa	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	185		45	40	15	3150	3150
2	185	169	15	31	10	3150	3150
3	185	157	0	41	25	3150	3150
4	180	151	10	30	10	3150	3150
5	184	160	20	77	40	3150	3150
6	182	154	0	35	10	3150	3150
7	180	152	10	29	15	3150	3150
8	182	153	0	35	20	3150	3150
9	177	132	0	42	25	3150	3150
10	175	145	20	35	20	3150	3150
11	179	152	0	42	20	3150	3150
12	175	155	0	42	20	3150	3150
13	181	150	0	40	25	3150	3150
14	182	141	15	47	25	3150	3150
15	181	155	0	25	10	3150	3150
16	180	143	0	38	15	3150	3150
17	182	155	0	32	23	3150	3150
18	181	155	20	38	20	3150	3150
19	179	147	15	52	35	3150	3150
20	192	150	30	36	25	3150	3150
21	195	153	15	38	25	3150	3150
22	191	170	10	41	20	3150	3150
23	192	155	30	55	35	3150	3150
24	192	155	20	40	30	3150	3150
25	186	155	20	36	20	3150	3150
26	189	151	15	70	50	3150	3150
27	177	151	15	41	25	3150	3150

VI.2. CD1 - 4305 RET 35x15

Tabela 38 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4305 RET 35x15.

n	PM_tot	fresa	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	190	155	0	47	0	3100	3010
2	189	160	10	45	0	3125	3100
3	190	158	25	45	0	3125	3100
4	188	170	0	31	15	3075	3025
5	191	153	20	32	20	3100	3075
6	187	160	25	55	0	3100	3075
7	187	155	0	26	0	3100	3105
8	186	155	0	49	0	3150	3105
9	186	166	15	97	0	3100	3025
10	188	155	0	30	0	3150	3100
11	186	156	0	38	0	3100	3075
12	185	160	10	53	0	3100	3050
13	184	163	10	30	0	3100	3100
14	169	-	0	49	0	3150	3100
15	170	160	0	26	0	3125	3050
16	170	155	0	56	0	3100	3100
17	170	155	0	91	0	3150	3100
18	185	161	20	36	0	3100	3050
19	184	153	0	29	0	3125	3125
20	185	170	0	24	0	3150	3150
21	182	155	0	226	0	3000	3000
22	182	150	20	25	0	3150	3150
23	181	159	0	28	0	3150	3125
24	180	162	0	32	0	3150	3125
25	179	160	0	52	0	3150	3175
26	175	160	0	74	0	3100	3100
27	174	155	0	72	0	3100	3100
28	173	161	0	70	0	3100	3100
29	172	154	0	70	0	3100	3100

VI.3. CD1 - 4307 RET 40x10

Tabela 39 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4307 RET 40x10.

n	PM_tot	fresa	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	187	168	15	23	10	6200	-
2	182	170	0	18	0	6200	-
3	192	162	30	46	30	6200	-
4	186	160	20	53	40	6200	-
5	180	153	25	55	40	6200	-
6	175	175	0	62	50	6200	-
7	180	160	15	59	45	6200	-
8	181	166	10	50	35	6200	-
9	178	164	0	47	35	6200	-
10	180	166	10	56	45	6200	-
11	178	164	10	32	20	6200	-
12	179	170	0	63	50	6200	-
13	185	169	10	35	25	6200	-
14	173	165	0	40	30	6200	-
15	176	171	0	47	30	6200	-
16	180	168	10	58	45	6200	-
17	173	171	0	64	45	6200	-
18	173	173	0	44	30	6200	-
19	180	169	0	23	10	6200	-
20	190	167	20	40	30	6200	-
21	185	156	25	17	0	6200	-
22	190	172	15	20	0	6200	-
23	185	171	10	27	15	6200	-
24	185	177	0	24	10	6200	-
25	189	173	15	30	20	6200	-
26	185	171	10	22	0	6200	-
27	180	167	10	32	20	6200	-
28	182	175	0	29	5	6200	-
29	185	168	15	44	30	6200	-
30	181	154	20	30	20	6200	-

VI.4. CD1 - 4307 RET 50x15

Tabela 40 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4307 RET 50x15.

n	PM_tot	fresa	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	128	97	17	29	15	3100	3050
2	130	130	0	73	0	3100	3000
3	130	92	15	577	480	3180	3180
4	125	105	10	32	0	3100	3050
5	128	110	0	33	0	3050	3075
6	127	108	11	410	120	3175	3180
7	125	100	15	31	0	3055	3050
8	126	119	0	31	15	3100	3050
9	-	-	-	30	15	3120	3080
10	-	-	-	33	0	3100	3020
11	-	-	-	35	15	3095	3045
12	-	-	-	30	0	3120	3040
13	-	-	-	30	0	3100	3045
14	-	-	-	155	45	3080	3080
15	-	-	-	33	10	3125	3000
16	130	106	12	35	20	3075	3090
17	126	111	0	29	15	3075	3080
18	126	107	0	36	20	3075	3050
19	127	107	0	36	0	3075	3075
20	131	105	10	34	15	3075	3080
21	130	107	10	436	340	3190	3190
22	134	110	10	26	10	3150	3000
23	134	108	10	37	0	3075	3080
24	132	106	10	25	0	3075	3090
25	132	110	10	31	0	3075	3050
26	131	106	0	25	0	3120	3040
27	130	108	0	110	0	3190	3090
28	133	107	0	20	0	3090	3050
29	136	107	15	20	0	3050	3050
30	131	107	10	22	0	3090	3070

Na linha de estiragem CD2 foram analisadas as pontas dos perfis descritos na Tabela 41.

Tabela 41 - Produtos produzidos na linha CD2 sujeitos a medição de pontas de sucata

Perfil	Grade	Dimensão
Retangular	4305	50x40
	4307	80x20
	4305	38,10
Quadrangular	4104	40
	4307	40
	4305	50
	4307	50
Hexagonal	-	-

VI.5. CD2 - 4305 RET 50x40

Tabela 42 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4305 RET 50X40.

n	PM_tot	vinco	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	70	195	0	-	-	2200	-
2	75	215	0	19	0	3036	-
3	108	200	0	205	0	3495	3500
4	75	185	0	209	0	3410	3420
5	77	190	0	45	25	3510	3515
6	71	240	25	46	0	3500	3520

VI.6. CD2 - 4307 RET 80x20

Tabela 43 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4307 RET 80x20.

n	PM_tot	vinco	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	87	170	0	40	0	3460	3450
2	83	-	0	106	0	3600	3610
3	93	175	0	48	0	3550	3550
4	94	175	20	65	0	3550	3550
5	99	173	15	42	20	3550	3550
6	91	170	20	60	0	3620	3630
7	91	165	0	35	0	3580	3570
8	80	145	0	173	165	3580	3570
9	84	165	0	144	125	3580	3580
10	90	-	0	143	0	3580	3580
11	165	169	35	27	0	3640	3630
12	159	170	72	32	0	3525	3620
13	193	158	20	35	0	3455	3455
14	165	162	0	29	0	3575	3530
15	170	165	0	30	0	3690	3660
16	160	165	0	26	0	3555	3540
17	164	156	0	31	0	3560	3530
18	161	170	90	37	0	3600	3580
19	150	161	55	33	0	3500	3480
20	165	158	0	24	0	3615	3565

VI.7. CD2 - 4305 QUA 38,10

Tabela 44 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4305 QUA 38,10.

n	PM_tot	vinco	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	52	184	0	480	0	3400	3420
2	48	188	0	197	0	3510	3500
3	61	184	15	941	0	3500	3500
4	62	204	0	10	0	3400	3400
5	76	205	0	-	-	3600	3620
6	80	193	10	-	-	3500	3500
7	69	215	45	630	0	3400	3395
8	66	-	0	10	0	3570	3580
9	76	-	0	10	0	3585	3585
10	46	185	0	720	0	3500	-
11	50	175	10	153	0	3515	3515
12	67	-	0	187	0	3550	3550

VI.8. CD2 - 4104 QUA 40

Tabela 45 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4104 QUA 40.

n	PM_tot	vinco	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	384	232	90	310	290	3200	-
2	218	210	0	577	556	3200	-
3	230	230	70	346	325	3200	-
4	202	198	120	36	0	3125	3125
5	226	224	70	818	79	3200	-
6	236	215	120	155	0	3130	-
7	210	200	130	11	0	3150	3150
8	216	213	140	29	0	3150	3150
9	212	203	125	286	0	3050	3050
10	199	192	105	36	0	3180	3180
11	197	206	115	761	740	3200	-
12	210	202	135	28	0	3080	3080
13	243	231	70	612	570	3200	-
14	208	204	130	15	0	3050	3050
15	214	212	160	30	15	3200	3200
16	203	205	140	20	0	-	-
17	201	201	145	25	0	-	-
18	222	221	90	161	0	-	-
19	205	206	135	1030	740	3200	-
20	203	202	120	50	35	3200	3200
21	210	210	140	84	40	3200	3200
22	223	216	125	618	215	3200	-
23	223	212	145	1057	635	3200	-
24	215	203	145	36	20	3200	3200
25	220	209	156	19	0	3200	3200
26	202	202	145	38	0	3200	3200
27	206	205	0	86	0	3200	3200

VI.9. CD2 - 4307 QUA 40

Tabela 46 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4307 QUA 40.

n	PM_tot	vinco	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	57	190	0	63	0	3200	3185
2	-	196	-	96	80	3200	3200
3	-	188	-	222	135	3200	3200
4	69	201	0	53	35	3200	3200
5	70	-	0	-	-	3200	3200
6	67	203	0	248	210	3200	3200
7	67	197	0	-	-	3200	3200
8	68	197	0	-	-	3200	3200
9	73	201	0	-	-	3200	3200
10	62	189	0	40	0	3200	3200
11	70	205	10	20	0	3200	3190
12	71	195	0	15	0	3190	3180
13	66	193	0	20	0	3190	3160
14	85	193	0	9	0	3170	3140
15	82	204	15	16	0	3185	3180
16	71	194	0	9	0	3190	3180
17	71	189	0	23	0	3075	3120
18	66	198	0	10	0	3200	3180
19	66	175	10	64	0	3185	3160
20	69	182	0	57	0	3185	3150
21	68	-	0	52	35	3180	3160
22	66	180	15	30	15	3165	3145
23	57	186	0	70	0	-	-
24	66	177	0	51	0	3170	3165
25	64	165	25	55	40	3170	3165
26	63	183	15	61	0	3180	3165
27	63	181	20	52	0	3180	3165
28	70	167	0	39	0	3180	3170
29	68	170	0	44	0	3180	3170
30	72	174	35	50	10	3170	3160
31	74	175	30	39	0	3170	3165
32	62	168	15	52	20	3170	3170

VI.10. CD2 - 4305 QUA 50

Tabela 47 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4305 QUA 50.

n	PM_tot	vinco	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	70	205	0	15	0	3200	2485
2	73	187	15	147	0	3080	3080
3	58	220	0	10	0	3150	3150
4	59	201	0	17	0	3150	3150
5	66	195	0	25	0	3000	3000
6	60	191	0	365	0	3200	2850
7	54	198	0	10	0	3200	2130
8	75	199	20	271	0	3100	3100
9	63	191	0	10	0	3200	2100
10	64	200	0	10	0	3200	2200
11	47	206	0	163	0	3180	3180
12	54	204	0	253	0	3050	3050
13	102	203	0	860	0	3200	2000
14	249	232	0	10	0	3000	3000
15	78	210	15	762	0	3200	2400
16	67	194	15	90	0	3080	3080
17	48	187	0	175	0	3050	3050
18	62	-	0	518	0	3200	2630
19	66	193	0	694	0	3200	2450
20	120	192	0	15	0	3075	3075
21	70	199	0	218	0	3060	3060
22	57	203	0	223	0	3080	3080
23	63	212	0	261	0	3065	3065
24	94	207	0	112	0	3050	3050
25	75	190	0	16	0	-	-
26	84	190	25	208	0	3200	3200
27	76	180	15	235	0	3000	3000
28	83	191	20	239	0	3000	3000
29	63	202	0	220	0	3000	3000
30	62	192	20	246	0	3060	3060

VI.11. CD2 - 4307 QUA 50

Tabela 48 - Dados, em mm, recolhidos de n amostras para o perfil 4307 QUA 50.

n	PM_tot	vinco	PM_boa	PT_tot	PT_boa	Comp_bar_1	Comp_bar_2
1	66	171	20	144	30	3200	3200
2	69	191	25	110	0	3150	3150
3	63	179	15	226	130	3200	3200
4	60	183	15	108	0	3200	3200
5	77	189	20	128	0	3150	3150
6	66	185	25	135	0	3130	3130
7	46	185	0	100	0	3110	3110
8	65	184	20	110	0	3125	3125
9	51	186	0	98	0	3200	2700
10	55	186	0	100	0	3150	3150
11	128	-	0	90	75	3200	3200
12	75	189	20	103	0	3140	3140
13	148	210	20	71	55	3200	3200
14	60	200	10	145	0	3130	3130
15	55	190	0	156	0	3110	3110
16	76	195	0	191	15	3100	3100
17	106	213	0	105	90	3200	3200
18	140	201	15	20	0	3200	3200
19	119	186	0	135	65	3200	3200
20	75	231	25	145	0	3200	3200
21	150	-	0	20	0	3200	3200
22	185	215	30	16	0	3200	3200
23	130	236	10	15	0	3200	3200
24	70	192	0	142	0	3200	3200
25	58	195	0	110	0	3170	3170
26	137	235	0	10	0	3180	3180
27	63	177	15	670	545	3200	3200
28	75	192	0	110	0	3200	3200

Anexo VII

Modelo descritivo do processo de previsão do produto final



Figura 119 - Matéria-prima e produtos resultantes de cada etapa de produção de estirados.

A utilização de ferramentas matemáticas tem crescido no ambiente industrial, devido a necessidade de adquirir uma melhor gestão das matérias-primas, recursos humanos e tecnológicos, contribuindo para melhorias no processo de produção. Na operação de corte ocorre a produção de desperdícios, os quais não podem ser reaproveitados e, por isso, devem ser minimizados. Neste sentido, o modelo matemático permitiria um correto planejamento, usando os recursos de modo mais eficiente.

Usando o conhecimento adquirido sobre o modo de processamento de barras de aço na empresa, foi descrito matematicamente o corte unidimensional destas. Em cada etapa de corte está definido um comprimento alvo, em milímetros, o qual depende do comprimento final do produto estirado e, conseqüentemente, do número de barras a que dá origem.

Observando o processo, verificou-se que existem dois tipos de perdas associados ao processo de corte (descrito em Wavrcynczak, Ulnricht, & Teixeira, 2015): uma perda associada à atividade de corte propriamente dita, a qual depende do equipamento de corte (largura da serra de fita, do serrote ou da tesoura); outra fonte de perda está associada à não utilização de pedaços de barras que não apresentam dimensões adequadas ou apresentam defeitos irreparáveis – sobra. Este modelo pressupõe as características presentes na Tabela 49 relativamente às variáveis usadas.

Tabela 49 - Principais variáveis do modelo de otimização.

Variável	Descrição	Caracterização
P_{M5}	Excesso de barra útil (kg)	Contínua
N_v	Número do varão	Discreta
n_1	Número de cortes no corte de matéria-prima	Discreta
n_2	Número de cortes no corte de laminados	Discreta
n_3	Número de cortes no corte na estirados	Discreta
y	Representa o produto numa determinada quantidade	Discreta
n_c	Número da encomenda	Discreta

VII.1. Receção da matéria-prima

Neste sector encontra-se uma gama de possibilidades de matéria-prima cuja utilização é diferenciada relativamente à linha de laminagem (TC e TA) e produtos. Em alguns casos, o mesmo produto pode recorrer a matérias-primas diferentes, como representado na Tabela 50. A partir desta informação selecciona-se a matéria a usar, a qual tem em conta a *grade* requerida pelo cliente. Os varões não são pesados individualmente à entrada, o que cria incerteza no processo de planeamento e a necessidade de prever estas variáveis com base teórica.

Tabela 50 - Exemplo de aplicação das matérias-primas disponíveis.

Matéria-prima	Dimensão característica	Perfil	TA	TC	Produto
MP1	140	Quadrado	x		P1
MP2	38	Redondo		x	P2, P3
MP3	48	Redondo		x	P3

VII.2. Corte da matéria-prima



Figura 120 - Representação da operação de corte de matéria-prima.

Na fase de corte da matéria-prima (Figura 120) a decisão é, fundamentalmente, o número de cortes a realizar, n_1 , ou seja, o número de lingotes ou biletas produzidos. Entende-se por lingote ou bileta o material após corte (mesmas dimensões do que o varão, mas de menor comprimento) e que alimenta o processo de laminagem.

Nesta etapa, os cortes podem ser realizados para que o comprimento dos lingotes obtido no final seja igual – corte em partes iguais – ou então, com comprimentos diversos – corte especial.

Para um único varão, esta etapa é descrita pelas equações 3, 4 e 5, as quais se baseiam na conservação de massa. Aqui, M_0 e M_{1i} são, respetivamente, a massa do varão e do lingote/bileta i , em kg, e p_{M1} , a componente associada ao desperdício nesta operação. Geralmente, considera-

se que a perda total é proporcional à massa total, representada por θ_1 é considerado 20% em TC.

$$M0 = \sum_i^I M1_i + p_{M1} \quad (3)$$

$$M1_i = \begin{cases} \frac{M0 - p_{M1}}{n_1 + 1}, & \text{corte em partes iguais} \\ MMP, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4)$$

$$p_{M1} = \theta_1 * M0 \quad (5)$$

VII.3. Corte da laminagem



Figura 121 - Representação da operação de corte após laminagem.

No processo de laminagem é realizado o alongamento do lingote e por fim é cortado, dando origem a barras laminadas (Figura 121). Isto é representado na Figura 121.

Da mesma forma, a massa de cada lingote corresponde à soma da massa das barras laminadas, $M2_{i,j}$, e perdas associadas a este processo, p_{M2} . Nesta etapa, a decisão é novamente o número de cortes realizados, n_2 . Considerando que n_2 cortes originam $(n_2 + 1)$ barras, a massa do lingote é dada pela equação 6. O desperdício desta etapa, p_{M2} , é proporcional à massa do lingote sendo a constante de proporcionalidade θ_2 .

$$M1_i = \sum_j^J M2_{i,j} + p_{M2} \quad (6)$$

$$M2_{i,j} = \begin{cases} \frac{M1_i - p_{M2}}{n_2 + 1}, & \text{corte em partes iguais} \\ MLAM, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (7)$$

$$p_{M2} = \theta_2 * M1_i \quad (8)$$

VII.4. Corte da Estiragem



Figura 122 - Representação da operação de corte após estiragem.

De forma análoga aos casos anteriores, as equações 9 e 10 demonstram o corte de estirados (Figura 122). A massa de cada barra laminada corresponde à soma da massa das barras estiradas, $M3_{i,j,n}$, e as perdas associadas a este processo incluem as perdas de processos intermédios, p_{M3} ; perdas devido a pontas de sucata, p_{M4} , e associadas ao excesso de barra útil, p_{M5} . Neste caso, n_3 , não considera o corte executado para remoção de pontas, sendo este, n_4 , dado pela equação 11.

$$M2_{i,j} = \sum_n^N M3_{i,j,n} + p_{M3} + p_{M4} + p_{M5} \quad (9)$$

$$M3_{i,j} = \begin{cases} \frac{M2_i - p_{M2}}{n_3 + 1}, & \text{corte em partes iguais} \\ MLAM, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (10)$$

$$n_4 = n_3 + 2 \quad (11)$$

Anexo VIII

Análise estatística da informação recolhida

Após identificar a distribuição que melhor descreve a variação de todas as variáveis, foram analisadas com mais pormenor apenas as que têm impacto direto no desempenho do processo, dado que é útil para aplicação no programa de previsão usado pelo planeamento; neste caso, o comprimento da barra ideal, o qual inclui todo o comprimento útil da barra que poderia ter sido vendido, e o comprimento total das pontas de sucata considerado danificado.

VIII.1. CD1 - 4571 RET 30x4

Tabela 51 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4571 RET 30x4.

Variável	Distribuição mais adequada	Valor p
PM_tot	Weibull de 3 parâmetros	0,361
fresa	-	-
PM_boa	-	-
PT_tot	Maior Valor Extremo	0,098
PT_boa	Gama	0,081
TOTAL_pontas	Weibull de 3 parâmetros	0,305
PARTE_DanM	Menor Valor Extremo	0,080
PARTE_DanT	Lognormal	0,399
TOTAL_boa	Gama	0,164
TOTAL_Dan	Weibull de 3 parâmetros	>0,500
Comp_Bar_1	-	-
Comp_Bar_2	-	-
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	Weibull de 3 parâmetros	0,305
Barra_ideal	Weibull de 3 parâmetros	0,150

A Tabela 51 apresenta os modelos que melhor se ajustam aos dados obtidos. O símbolo “-” indica que nenhum dos modelos presentes no software usado se ajustou com um valor p aceitável (maior do que 0,05).

Este é um novo produto e, por essa razão, não apresenta dados de sucata relativos ao ano anterior. Nesta medição obteve uma percentagem de sucata de 4,73%. Por ser a primeira produção em massa, foi definido um valor de pontas de estirados com um fator de segurança, o qual foi adequado (Figura 123). Como se pode verificar, a distribuição de probabilidade normal é adequada à representação da variação desta variável e, estando o processo sob controlo estatístico, pode-se considerar que a probabilidade de falhar é aproximadamente zero. Observa-se que o processo não está centralizado, mas neste caso, deve-se apenas observar o limite superior, pelo que, numa próxima análise deve ser melhor definido o limite inferior, com base no histórico.

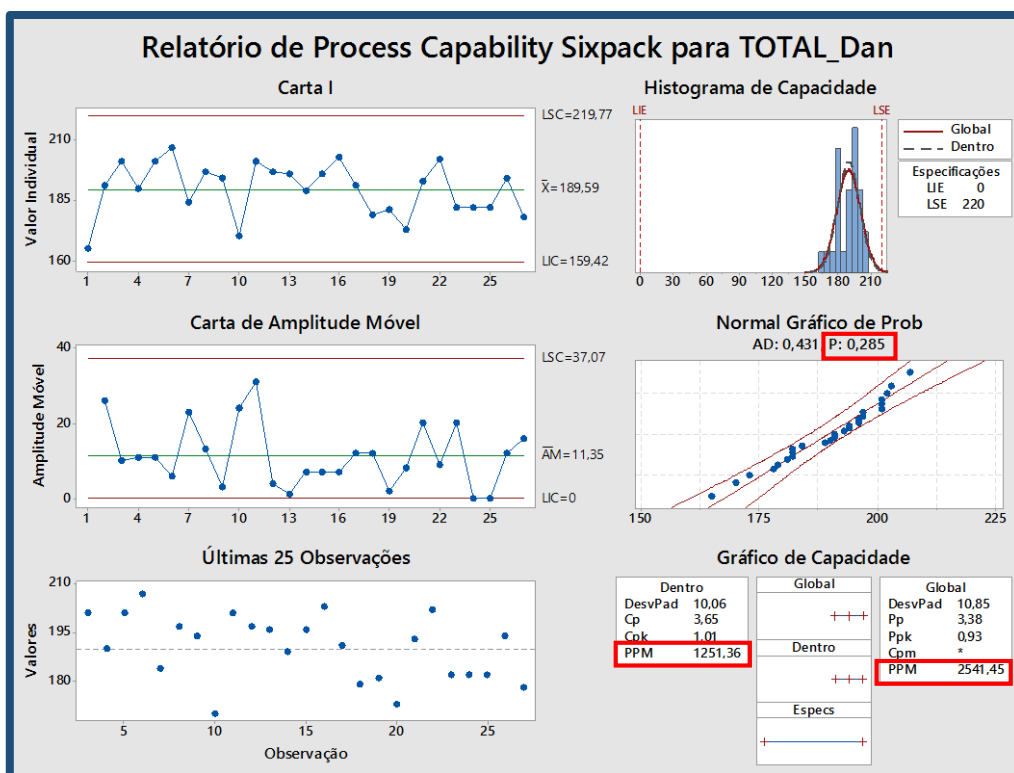


Figura 123 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4571 RET 30x4.

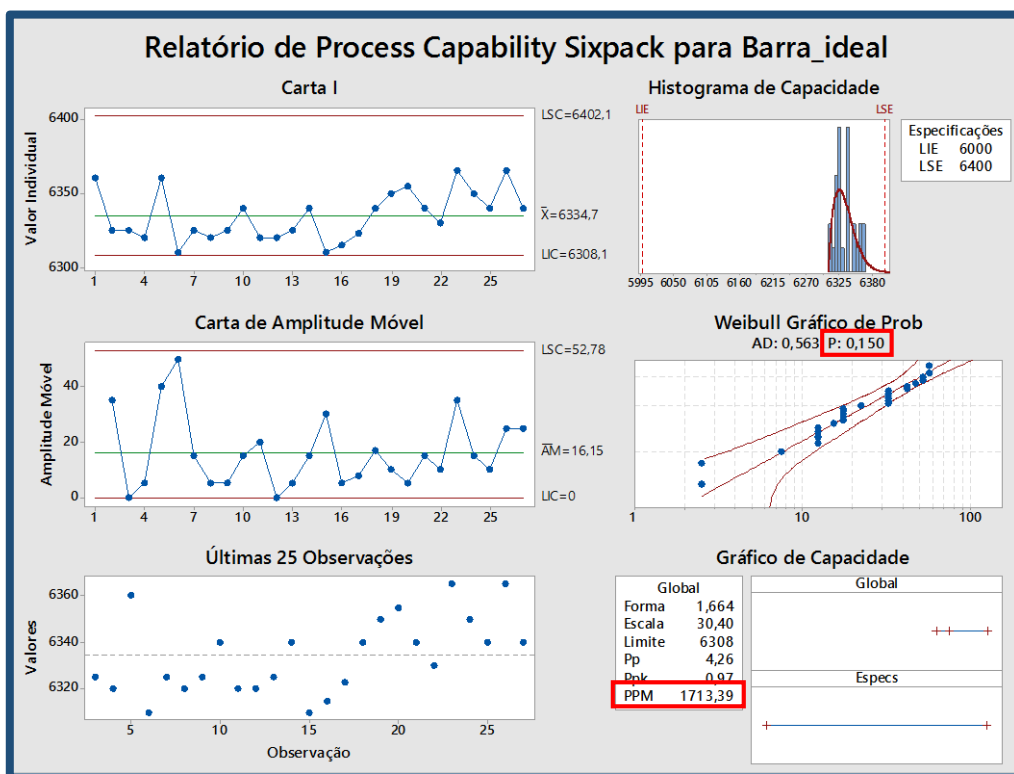


Figura 124 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4571 RET 30x4.

O comprimento total útil da barra encontra-se também dentro dos limites especificados (Figura 124). Relativamente ao desempenho do processo, face à variável especificada pelo cliente, verifica-se que o processo aparenta ser capaz. Contudo, este não está centrado face à tolerância definida, apresentando risco de a variável estar acima da gama definida. Neste caso, não tem um elevado impacto financeiro, como no caso da ocorrência de uma barra curta, mas aumenta a probabilidade de obter valores de percentagem de sucata maiores. A Figura 125 demonstra o aspeto das pontas de sucata deste perfil.

Numa situação em que a distribuição mais adequada não é a distribuição normal, existe um erro associado na análise de capacidade do processo. Por outro lado, a utilização do índice de desempenho de um processo também pode ser questionável, segundo Reis (2016). No entanto, se o modelo descrever bem a distribuição dos dados, a ferramenta *Capability Sixpack (Nonnormal)* do Minitab® permite uma estimativa fiável (Minitab Inc, 2016).



Figura 125 - Pontas de sucata do produto 4571 RET 30x4.

VIII.2. CD1 - 4305 RET 35x15

Tabela 52 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4305 RET 35x15.

Variável	Distribuição mais adequada	Valor p
PM_tot	Weibull	0,054
fresa	Maior Valor Extremo	0,059
PM_boa	-	-
PT_tot	Weibull de 3 parâmetros	>0,500
PT_boa	-	-
TOTAL_pontas	Maior Valor Extremo	0,133
PARTE_DanM	Lognormal	0,275
PARTE_DanT	Lognormal	0,530
TOTAL_boa	-	-
TOTAL_Dan	Maior Valor Extremo	>0,250
Comp_Bar_1	-	-
Comp_Bar_2	-	-
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	Normal	0,977
Barra_ideal	Logística	>0,250

A Tabela 52 apresenta os modelos que melhor se ajustam aos dados obtidos neste caso de estudo. O símbolo “-“ indica que nenhum dos modelos presentes no software usado se ajustou com um valor p aceitável (maior do que 0,05). Este estudo é apresentado na secção 4.3.2..

VIII.3. CD1 - 4307 RET 40x10

Tabela 53 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 RET 40x10.

Variável	Distribuição mais adequada	Valor p
PM_tot	Normal	0,304
fresa	Weibull de 3 parâmetros	>0,500
PM_boa	-	-
PT_tot	Weibull	0,195
PT_boa	Menor Valor Extremo	0,159
TOTAL_pontas	-	-
PARTE_DanM	Weibull de 3 parâmetros	>0,500
PARTE_DanT	Maior Valor Extremo	0,239
TOTAL_boa	Normal	0,35
TOTAL_Dan	Lognormal	0,754
Comp_Bar_1	-	-
Comp_Bar_2	-	-
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	-	-
Barra_ideal	Normal	0,350

Este produto é um dos mais produzidos. A percentagem de sucata obtida na medição foi 2,78%, o que é considerado um bom resultado face aos 4,64% de 2015. A Tabela 53 apresenta os modelos que melhor se ajustam a cada uma das variáveis estudadas e o respetivo valor p. O símbolo “-“ indica que nenhum dos modelos presentes no software usado se ajusta com um valor p aceitável (maior do que 0,05).

A variável TOTAL_Dan corresponde à parte da ponta de sucata de estirados considerada danificada e aparenta ser definida por um modelo normal (Figura 126). No histograma de capacidade, verifica-se que parte dos valores estão fora do intervalo definido pela empresa. Na verdade, esta variável apenas apresenta um limite superior, o qual é usado na metodologia de planeamento. Por isso, a ocorrência de valores acima do alvo aumenta a probabilidade de existirem barras curtas. Nesta situação, formas de garantir que todos os valores estão dentro do intervalo são: reduzir a variabilidade associada ao processo ou aumentar o limite máximo. A primeira solução necessita de um estudo intensivo das várias etapas a montante do processo; a segunda, implica um aumento da sucata numa situação de planeamento ao máximo. Neste caso, o gráfico de capacidade não é um indicador fiável relativamente à definição de processo centrado uma vez que apenas o limite máximo deve ser considerado.

Para verificar se o processo está sob controlo estatístico, relativamente à variável Barra_ideal recorreu-se à análise dos dados por meio de cartas de controlo, no qual se obteve uma resposta positiva (Figura 127). Posteriormente avaliou-se a capacidade do processo, comparando os valores obtidos de comprimento total útil com a tolerância definida pelo cliente. Os limites de especificação, para este caso, são 6 a 6,5 m, o que corresponde

a uma tolerância de 500 mm. Este valor é um dos que permite uma maior margem de manobra e geralmente leva a uma menor taxa de falha.

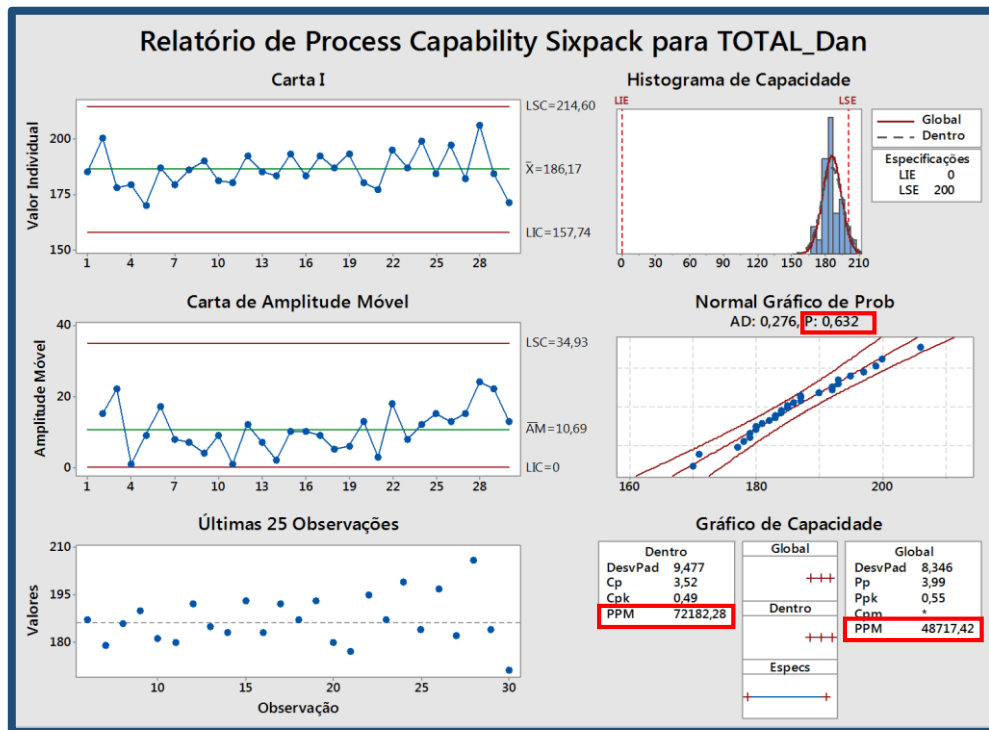


Figura 126 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 RET 40x10.

A hipótese desta variável ser ajustada por uma distribuição normal é aceitável ($p = 0,35$). O gráfico de capacidade, que pressupõe que o processo está sob controlo estatístico e a distribuição é normal, restrições estas que são válidas, indica que o processo não está centrado, isto é, $c_p \neq c_{pk}$, mas é potencialmente capaz ($c_p > 2$).

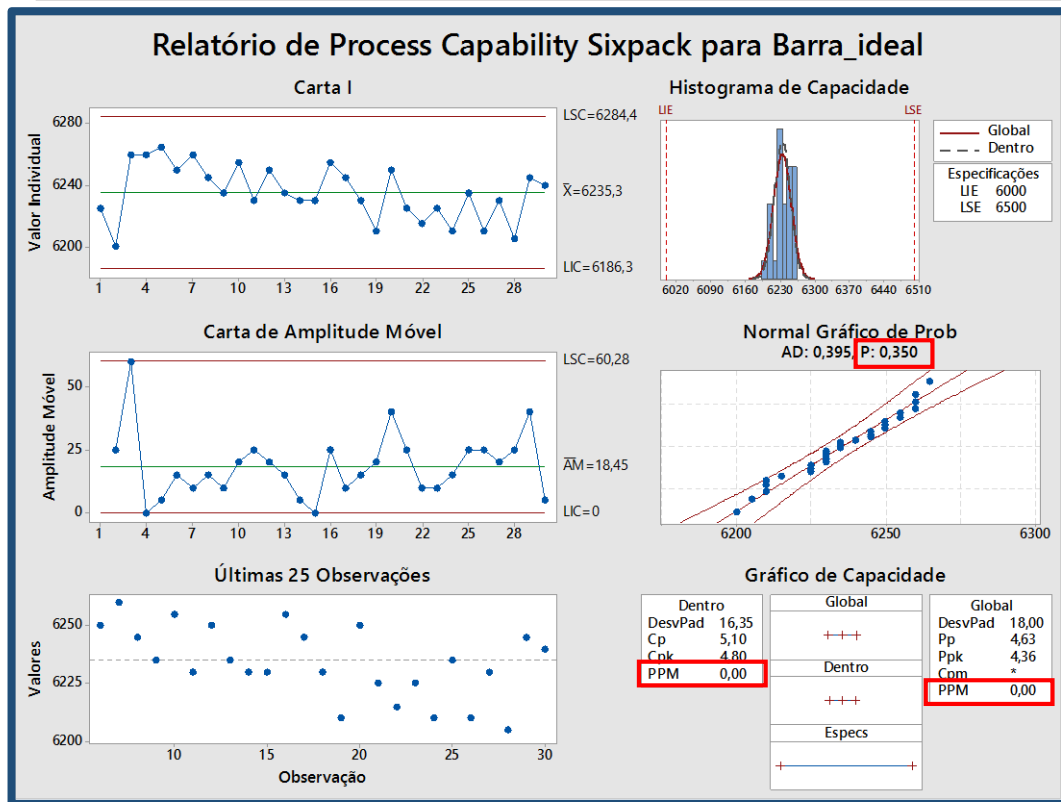


Figura 127 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4307 RET 40x10.

VIII.4. CD1 - 4307 RET 50x15

Tabela 54 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 RET 50x15.

Variável	Distribuição mais adequada	Valor p
PM_tot	Normal	0,369
fresa	-	-
PM_boa	-	-
PT_tot	-	-
PT_boa	-	-
TOTAL_pontas	-	-
PARTE_DanM	Normal	0,766
PARTE_DanT	Weibull de 3 parâmetros	0,197
TOTAL_boa	-	-
TOTAL_Dan	-	-
Comp_Bar_1	-	-
Comp_Bar_2	-	-
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	-	-
Barra_ideal	-	-

A Tabela 54 apresenta os modelos que melhor se ajustam a cada uma das variáveis estudadas e o respetivo valor p. O símbolo “-” indica que nenhum dos modelos presentes no software usado se ajusta com um valor p aceitável.

Este produto apresentou uma percentagem de sucata de 4,39% na medição e uma média de 4,66% em 2015. Quando são comparadas barras com as mesmas condições de estiragem e com o mesmo plano de previsão, mas correspondentes a atados diferentes (Figura 128), verifica-se que a gama de variação do comprimento total da barra, a qual inclui pontas, é acentuada e ocorre em ambos os atados.

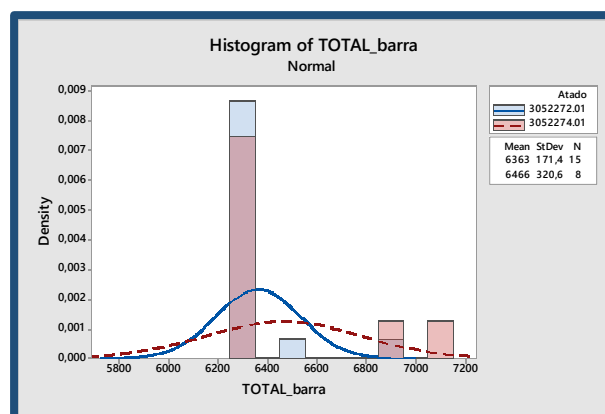


Figura 128 - Comparação da variabilidade das barras estiradas provenientes de atados distintos do produto 4307 RET 50x15.

Face aos dados recolhidos relativos à variável TOTAL_Dan, verificou-se que o limite máximo definido para esta variável não é adequado e que o processo não está completamente sob controlo estatístico (Figura 129). Isto indica que ocorreram causas especiais que, por sua vez, devem ser o primeiro problema a solucionar. Para além disto, as suposições para a análise de capacidade não são satisfeitas, pois não foi encontrado nenhum modelo

cujo ajuste à distribuição dos dados fosse aceitável. Consequentemente, não é possível determinar a capacidade do processo de uma forma fiável.

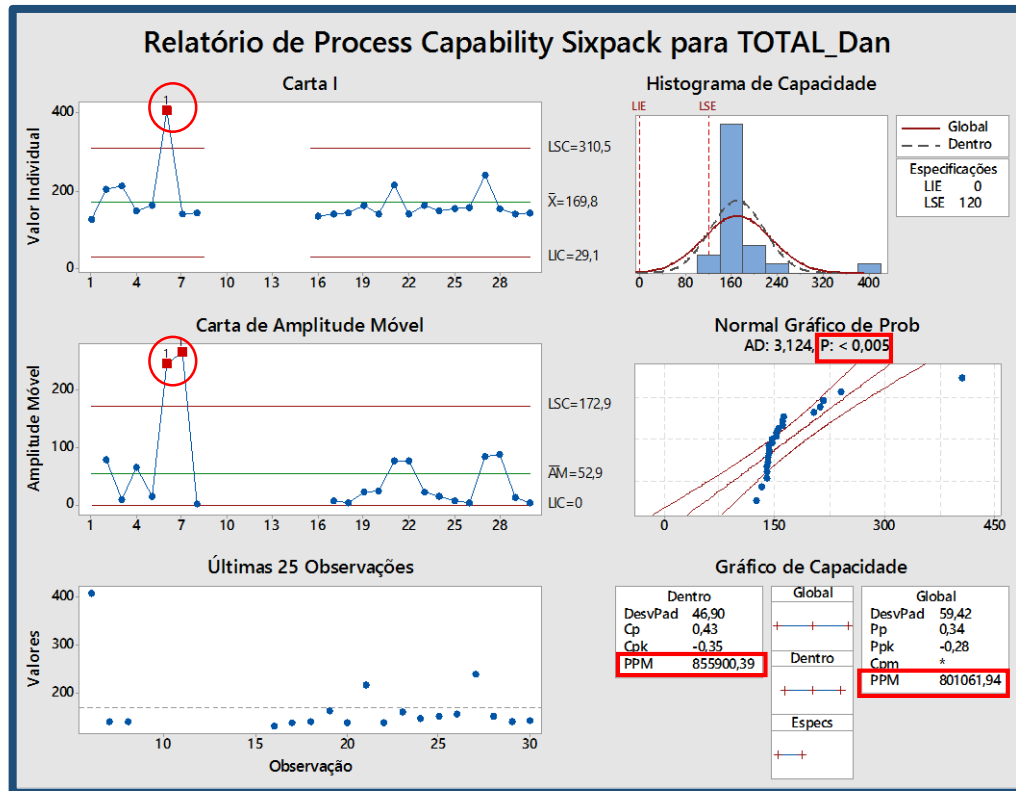


Figura 129 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 RET 50x15.

Comparando, novamente, a variação real com o alvo do planeamento, verificou-se que foram usados 6 lingotes e que existiam 6 pontas mais extensas, numa situação em que todas as barras finais foram cortadas com o mesmo tamanho. Isto indicia que a última barra ficou com as sobras. Uma causa possível desta situação pode ser o excesso de peso do lingote, contudo, verificou-se que as barras não foram cortadas ao máximo, o que quer dizer que a razão pelo qual isto aconteceu se deve provavelmente à presença de defeitos existentes nas extremidades. A Figura 130 demonstra algumas das amostras obtidas neste conjunto de medições, onde são detetados alguns defeitos.



Figura 130 - Pontas de sucata do produto 4307 RET 50x15.

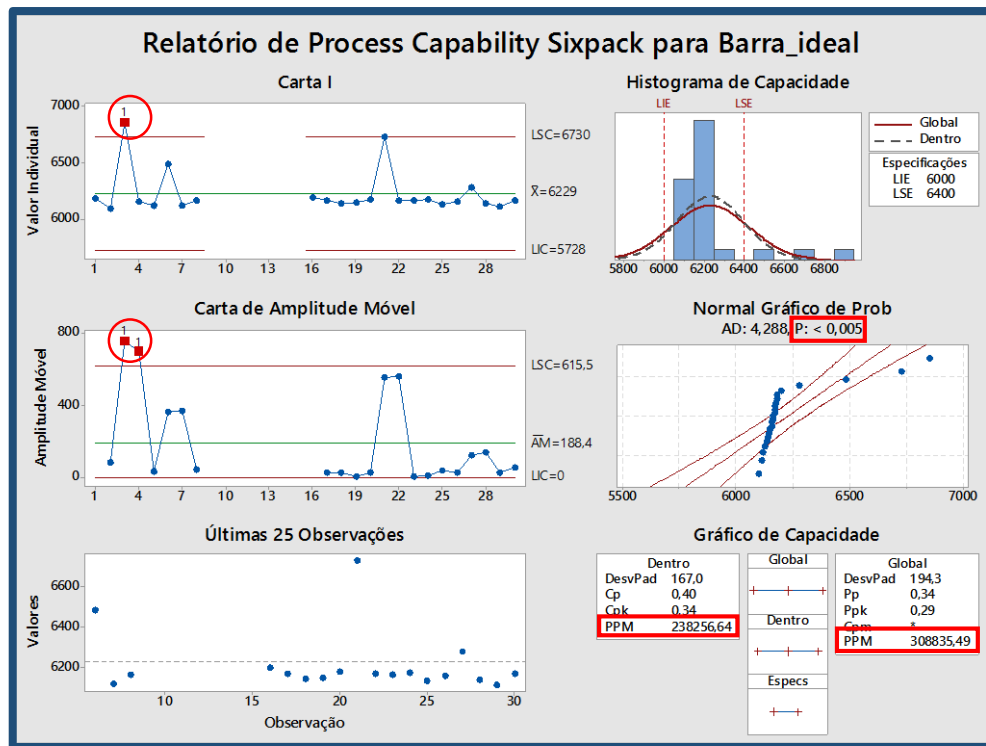


Figura 131 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4307 RET 50x15.

Observando o comprimento da barra total útil, na Figura 131, verifica-se que o processo não está completamente sob controlo estatístico, nem as especificações do cliente são satisfeitas. E, mais uma vez, não foi possível delinear o comportamento desta variável por nenhum modelo (valor $p < 0.005$).

VIII.5. CD1 - 4307 HEX 32

Tabela 55 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 HEX 32.

Variável	Distribuição mais adequada	Valor p
PM_tot	Normal	0,886
PM_boa	Menor Valor Extremo	0,076
PT_tot	Exponencial de 2 parâmetros	0,080
PT_boa	-	-
TOTAL_pontas	-	-
PARTE_DanM	Normal	0,422
PARTE_DanT	Weibull de 3 parâmetros	0,070
TOTAL_boa	Lognormal	0,791
TOTAL_Dan	Normal	0,895
Comp_Bar_1	-	-
Comp_Bar_2	-	-
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	-	-
Barra_ideal	Menor Valor Extremo	0,089

A produção de perfis hexagonais foi iniciada recentemente e têm sido realizados alguns ajustes. Este perfil (Figura 132) é produzido na linha de estiragem CD1 e apresentou uma percentagem de sucata média em 2015 de 5,15%. Nesta medição a percentagem de sucata obtida é de 2,99%. A Tabela 55 apresenta os modelos que melhor se ajustam a cada uma das variáveis estudadas e o respetivo valor p. O símbolo “-“ indica que nenhum dos modelos presentes no software usado se ajusta com um valor p aceitável.

Na análise efetuada na Figura 133, verificou-se que o comprimento total em que as pontas estão danificadas apresenta uma distribuição normal, num processo sob controlo estatístico e com um rendimento de aproximadamente 100%. A variação averiguada pode ser causada devido ao peso do lingote ser superior ao utilizado no planeamento sem redefinição de novos comprimentos de corte na fase de laminagem.

A distribuição verificada no comprimento da barra é designada de menor valor extremo, sendo que, como se pode observar na Figura 134, apresenta um valor p pequeno. Nestas condições, estima-se que a satisfação dos requisitos do cliente é efetuada em apenas 55%.

As próximas análises consistem na interpretação da variabilidade associada a produtos produzidos na linha CD2, uma linha de estiragem bastante recente.



Figura 132 - Pontas de sucata do produto 4307 HEX 32.

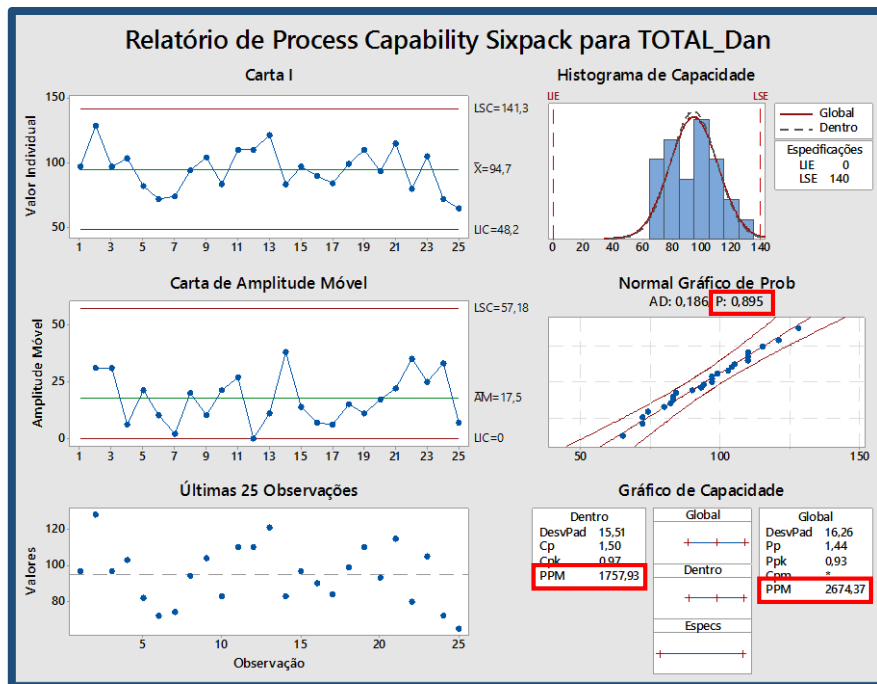


Figura 133 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 HEX 32.

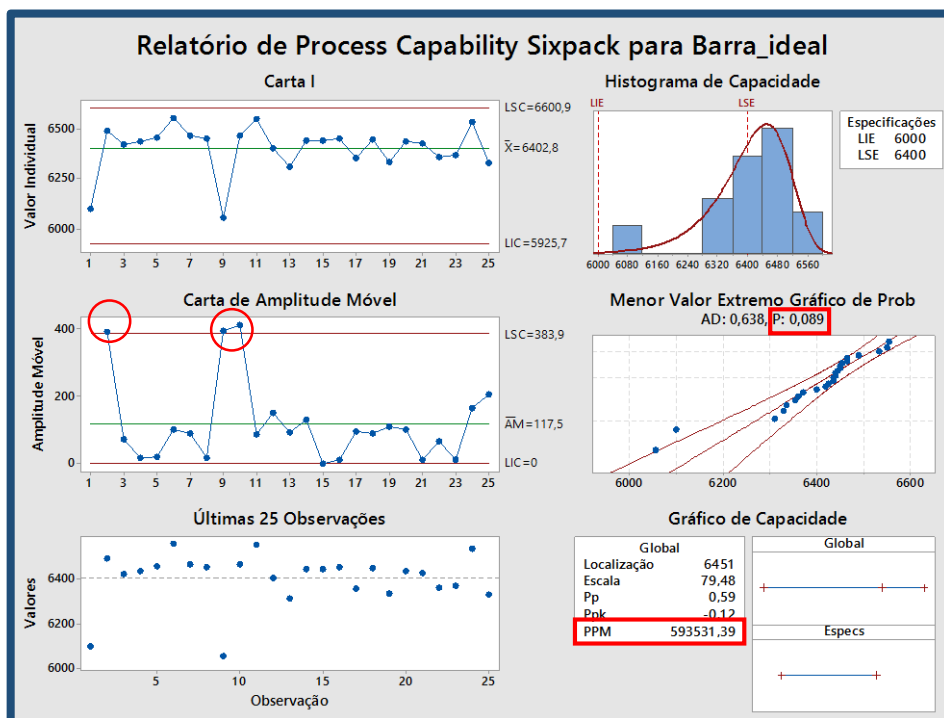


Figura 134 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4307 HEX 32.

VIII.6. CD2 - 4305 RET 50x40

Tabela 56 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4305 RET 50x40.

Variável	Distribuição mais adequada	Valor p
PM_tot	Exponencial	>0,250
vinco	Lognormal	0,666
PM_boa	-	-
PT_tot	Lognormal	0,242
PT_boa	-	-
TOTAL_pontas	Exponencial	0,272
PARTE_DanM	Exponencial de 2 parâmetros	0,237
PARTE_DanT	Exponencial	0,212
TOTAL_boa	-	-
TOTAL_Dan	Exponencial	0,271
Comp_Bar_1	Menor Valor Extremo	0,106
Comp_Bar_2	Menor Valor Extremo	>0,250
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	Weibull de 3 parâmetros	0,285
Barra_ideal	Exponencial de 2 parâmetros	0,104

A Tabela 56 apresenta os modelos que melhor se ajustam a cada uma das variáveis estudadas e o respetivo valor p. O símbolo “-“ indica que nenhum dos modelos presentes no software usado se ajusta com um valor p aceitável.

A recolha de dados contemplou um menor número de amostras do que as recolhidas nas outras medições. Isto deve-se ao facto de determinados produtos serem produzidos em menor quantidade. Esta medição obteve uma percentagem de sucata de 3,55%, sendo que em 2015, a sua média foi de 3,56%.

Na análise efetuada, verificou-se que o comprimento total em que as pontas estão danificadas apresenta uma distribuição normal e o processo produtivo está dentro de controlo estatístico, correspondendo a um rendimento de, aproximadamente 100%. Todavia, o número de amostras é demasiado baixo para afirmar com certeza que o mesmo acontece com a população a que pertence. Por este motivo, não será aqui apresentado. Neste seguimento, serviu apenas para confirmar a satisfação das especificações, de onde se concluiu que o limite superior deve ser repensado (Figura 135).

A especificação desta variável foi realizada considerando que ocorria o corte das pontas bisel no sector de laminagem e, efetivamente, se isto tivesse ocorrido, a especificação teria sido satisfeita. No entanto, isto não aconteceu. Este estudo sugeriu então que é necessário garantir a realização da metodologia de forma consistente. Por outro lado, esta perda, que é inevitável, deveria contribuir para as perdas do setor de laminagem e, de certa forma, foi usada no respetivo planeamento. Por isso, não teve grande impacto na distribuição final do comprimento da barra face ao target considerado no planeamento.

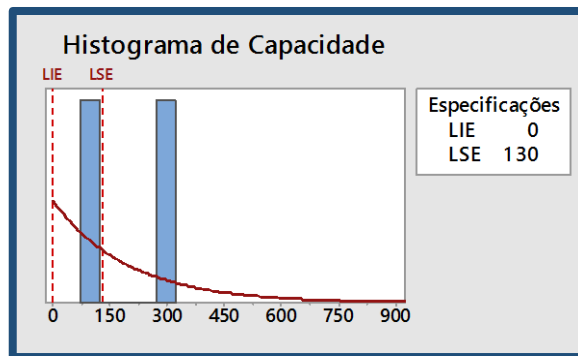


Figura 135 - Validação dos limites de especificação usados para a variável TOTAL_Dan para o produto 4305 RET 50x40.

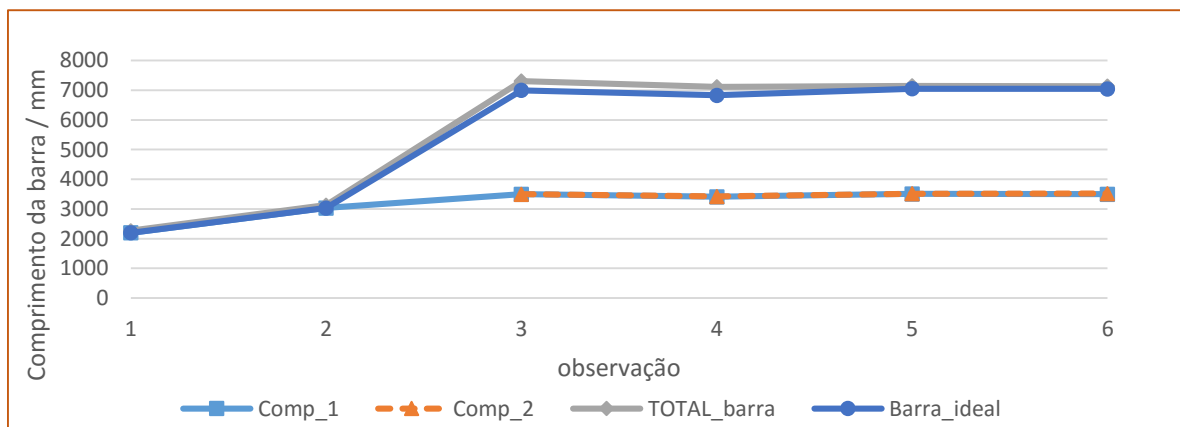


Figura 136 - Variação do comprimento das barras estiradas antes e depois do corte para produto 4305 RET 50x40.

Detetou-se a existência de uma barra curta, na Figura 136, cuja causa não é sabida ao certo. Geralmente, numa situação semelhante, o lingote pode não ter tido peso suficiente face ao que se tinha planeado.

Este perfil (Figura 137) foi planeado usando a metodologia para um número ímpar de barras, pelo que existem dois limites de especificação mínimo e máximo usados para comparar a satisfação dos mesmos, sendo um, o dobro do outro. Esta análise apresenta muitas falhas, mas mesmo assim permitiu detetar alguns problemas associados ao processo.



Figura 137 - Pontas de sucata do produto 4305 RET 50x40.

Especialmente, a complexidade associada ao planeamento de um número ímpar de barras estiradas e a dificuldade em identificar qual das barras, antes do corte de estirados, correspondem às barras planeadas ao dobro ou à unidade.

VIII.7. CD2 - 4307 RET 80x20

Tabela 57 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 RET 80x20.

Variável	Distribuição mais adequada	Valor p
PM_tot	-	-
vinco	Transformação de Box-Cox	0,506
PM_boa	-	-
PT_tot	Transformação de Johnson	0,886
PT_boa	-	-
TOTAL_pontas	Transformação de Johnson	0,433
PARTE_DanM	Exponencial de 2 Parâmetros	0,092
PARTE_DanT	Transformação de Johnson	0,995
TOTAL_boa	-	-
TOTAL_Dan	Transformação de Johnson	0,431
Comp_Bar_1	Normal	0,304
Comp_Bar_2	Transformação de Box-Cox	0,452
Comp_Barra	Weibull	0,175
TOTAL_barra	Transformação de Box-Cox	0,462
Barra_ideal	Transformação de Box-Cox	0,575



Figura 138 - Pontas de sucata do atado 3052449.01 do produto 4307 RET 80x20.

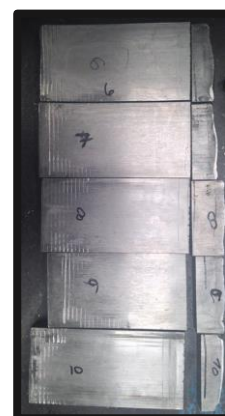


Figura 139 - Pontas de sucata do atado 3052447.01 do produto 4307 RET 80x20.

Este perfil apresentou uma percentagem de sucata média em 2015 de 4,60%. Nesta medição a percentagem de sucata obtida foi de 4,59%. Comparando as figuras 138 e 139 pode-se verificar que existiu uma variação no comprimento da ponta de sucata. Isto deve-se possivelmente à alteração da indicação de corte entre ambos os atados. No entanto, esta foi apenas uma instrução provisória, a qual não foi a causa da instabilidade verificada no processo. Aliás, esta mudança de instrução não teve qualquer efeito nesta variável porque a definição de parte boa e parte danificada foi mantida para efeitos de análise. Caso considerasse que a parte boa apenas seria contabilizada a partir do vinco (nova instrução dada ao operador) o resultado não seria o mesmo.

A partir da análise da variação do comprimento das pontas danificadas, verificou-se que o processo não está completamente sob controlo, ocorrendo uma variação acentuada na amostra 10, apresenta na Figura 140 Esta ponta apresenta uma marca de reparação, a qual foi demasiado profunda e não permitiu a sua reutilização. Atendendo agora às especificações usadas relativamente a esta variável averigua-se que estas não foram satisfeitas,

sendo, por isso, necessário apurar onde se observou essa variação e a causa do sucedido. Apenas depois de se eliminar a causa aleatória, é possível reduzir a variabilidade do processo. Por outro lado, numa primeira fase é necessário redefinir a especificação de modo a evitar a ocorrência de barras curtas.

Estimando o ganho, em euros, associado a esta medição observou-se que seria a que apresentava um impacto maior, alcançando os 20 €.

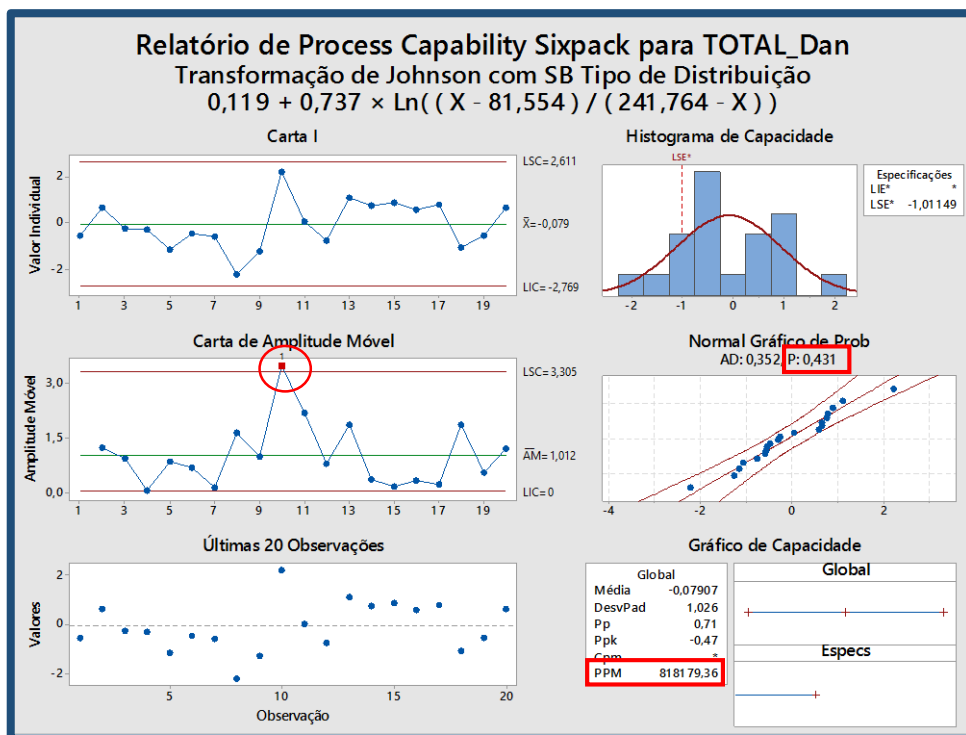


Figura 140 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 RET 80x20.

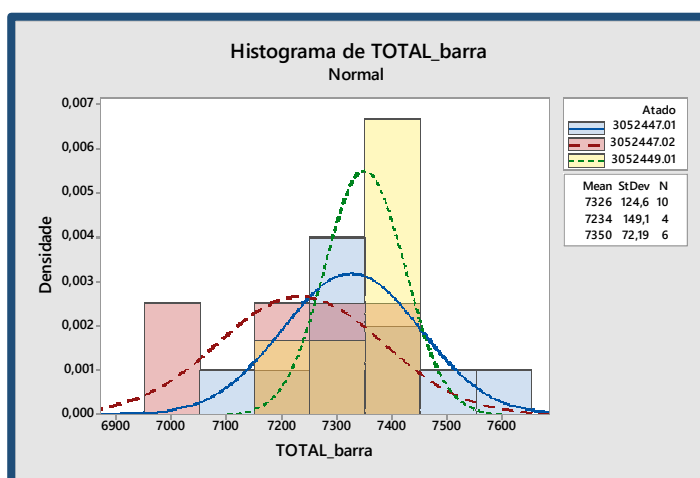


Figura 141 - Comparação entre a dispersão do comprimento das barras estiradas antes do corte das pontas para diferentes atados para o caso do produto 4307 RET 80x20.

Na Figura 141, é notável a distinção entre a variação do comprimento das barras estiradas antes de serem removidas as pontas de sucata. Verifica-se ainda que os atados que surgem de uma divisão (linhas azul e vermelha) apresentam uma distribuição semelhante, com maior variabilidade nos dados.

Em relação ao comprimento útil da barra (Figura 142) verifica-se que o processo está sob controlo estatístico, praticamente centralizado e pode-se afirmar que é capaz de dar resposta aos requisitos do cliente, uma vez que C_p é superior a 2. No entanto, a distribuição da sua probabilidade apenas é gaussiana quando aplicada transformação de Box-Cox.

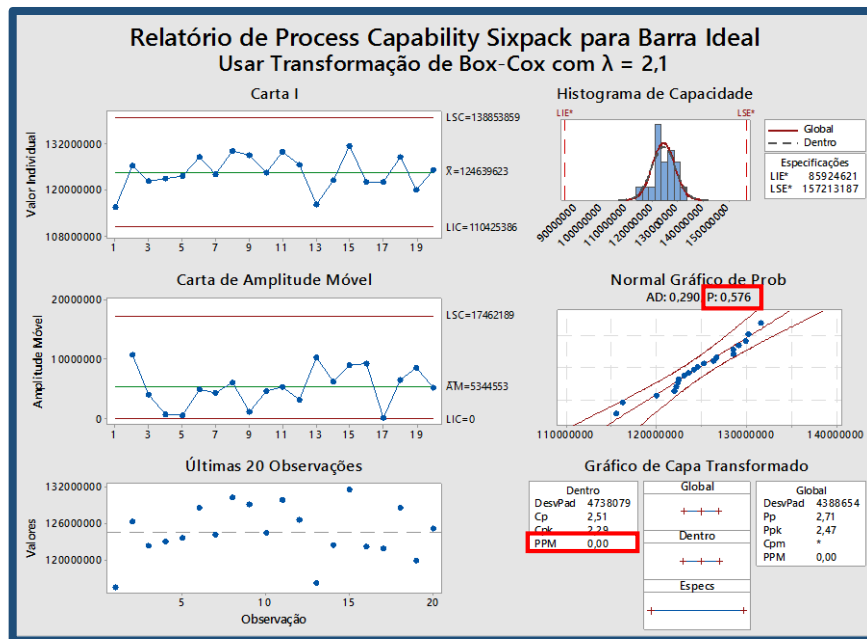


Figura 142 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4307 RET 80x20.

VIII.8. CD2 - 4305 QUA 38,10

Tabela 58 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4305 QUA 38,10.

Variável	Distribuição mais adequada	Valor p
PM_tot	Lognormal	0,386
vinco	Transformação de Box-Cox	0,549
PM_boa	-	-
PT_tot	Weibull de 3 parâmetros	0,230
PT_boa	-	-
TOTAL_pontas	Transformação de Johnson	0,769
PARTE_DanM	Normal	0,502
PARTE_DanT	Exponencial de 2 Parâmetros	>0,250
TOTAL_boa	-	-
TOTAL_Dan	Exponencial	0,706
Comp_Bar_1	menor valor extremo	>0,250
Comp_Bar_2	Transformação de Box-Cox	0,463
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	Transformação de Johnson	0,643
Barra_ideal	Weibull de 3 parâmetros	0,303

Com fundamentos na experiência da empresa, a *grade* 1.4305 é, por si só, uma *grade* de difícil manuseamento, uma vez que geralmente apresenta uma elevada quantidade de defeitos, quer devido de alterações calculadas, quer por alterações imprevisíveis.

Esta medição demonstrou uma situação que gerou uma elevada quantidade de sucata (7%), que poderia parecer uma situação incomum. No entanto, a média de sucata relativa a 2015 não é muito diferente deste valor, alcançando 6,59%, pelo que se conclui que existe uma necessidade de validação das condições usadas no seu processamento.

Verifica-se, na Figura 143, a falta de algumas pontas de trás. Isto é devido a algumas destas pontas caírem através de uma ranhura existente na máquina não permitindo a análise. Nesta situação, foi considerado o tamanho máximo para que essa queda ocorresse, o que corresponde a 10 mm.



Figura 143 - Pontas de sucata do produto 4305 QUA 38,10.

A Figura 144 demonstra que existiram pontas de sucata com comprimento superior ao esperado, demonstrando ainda que a dispersão da sua probabilidade de ocorrência é bem justificada por um modelo exponencial. O problema que se detetou nesta medição foi a existência de arestas boleadas. Geralmente este defeito é detetado logo após a laminagem e tem como principal causa a falta de massa na barra devido provavelmente da falta de massa do lingote ou o bisel.

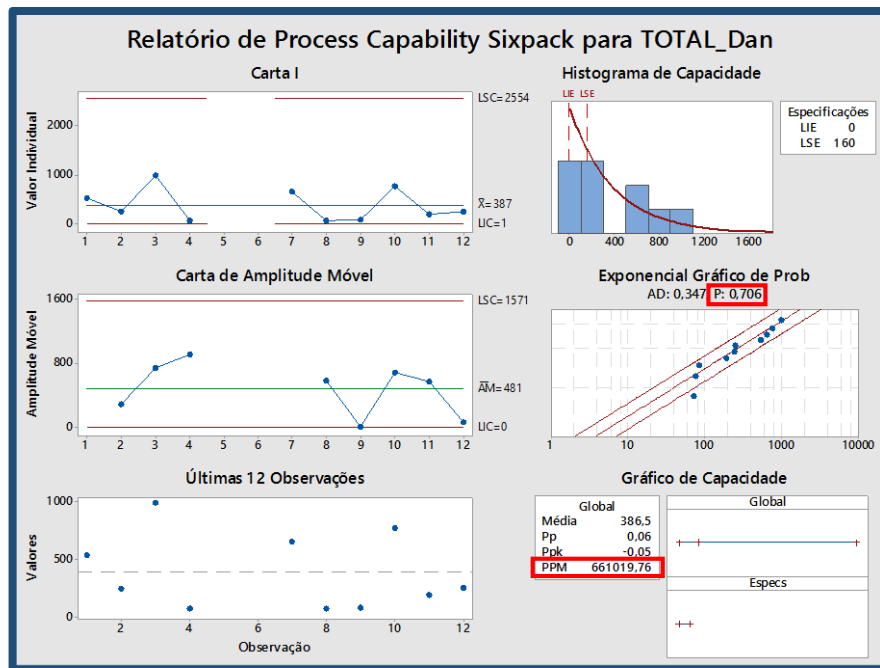


Figura 144 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4305 QUA 38,10.

Observando o impacto no comprimento final, na Figura 145, verificou-se que gerou uma barra curta, apesar dos comprimentos das pontas terem sido muito superiores ao planeado.

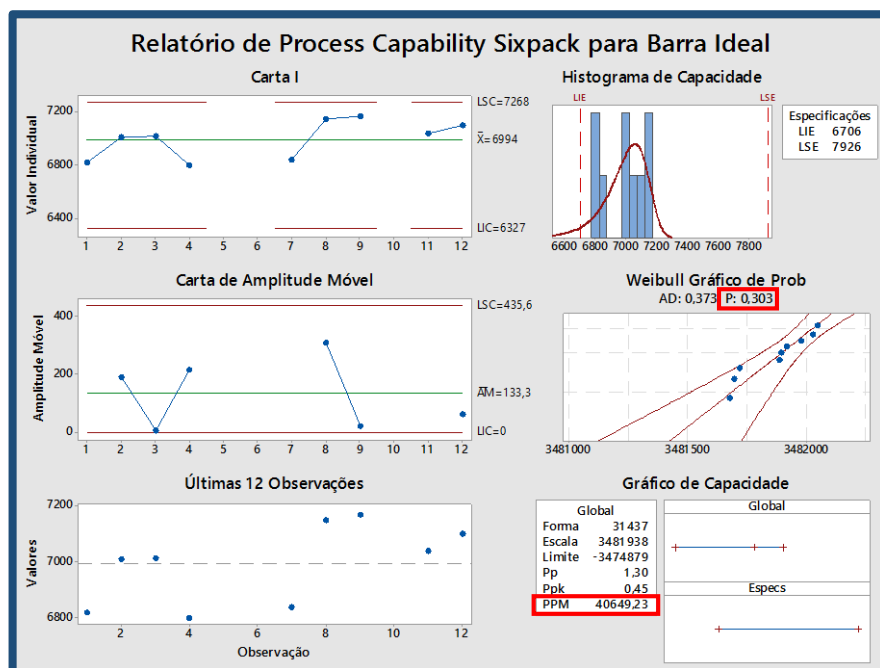


Figura 145 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4305 QUA 38,10.

VIII.9. CD2 - 4104 QUA 40

Tabela 59 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4104 QUA 40.

Variável	Distribuição mais	Valor
PM_tot	-	-
vinco	Maior Valor Extremo	>0,250
PM_boa	-	-
PT_tot	-	-
PT_boa	-	-
TOTAL_pontas	-	-
PARTE_DanM	Exponencial de 2 parâmetros	>0,250
PARTE_DanT	-	-
TOTAL_boa	-	-
TOTAL_Dan	Tranformação de Jonhson	0,234
Comp_Bar_1	-	-
Comp_Bar_2	-	-
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	-	-
Barra_ideal	-	-



Figura 146 - Pontas de sucata do produto 4104 QUA 40.

Este perfil (Figura 146) apresentou uma variação das suas variáveis muito instável, não conseguindo uma boa definição dessa variação, como verificado na Tabela 60. Isto levou a uma percentagem de sucata de 7,12% que comparativamente à média de 2015 (9,83%) pode ser considerada um valor comum.

Analisando agora o comportamento da dispersão dos valores obtidos em TOTAL_Dan e as especificações internas, verificou-se que estas não foram cumpridas (Figura 149). Sendo, por isso, necessário corrigir os valores usado na sua previsão. As especificações referentes a pontas de sucata são determinadas para alguns perfis por extrapolação ou interpolação, o que pode levar a um maior erro. Este pode ter sido um desses casos. Outra situação que poderá causar a insatisfação dessas especificações é a elevada variabilidade associada ao processo, como se verifica na Figura 147.

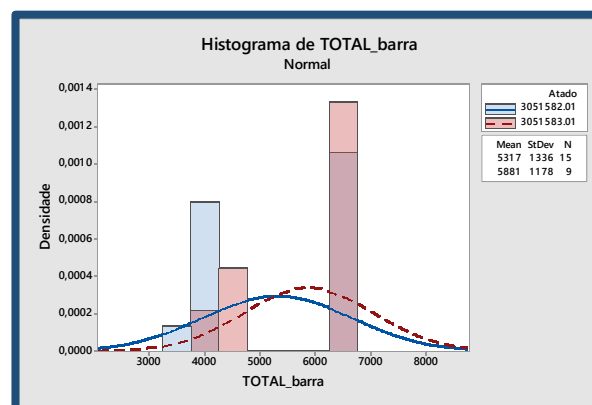


Figura 147 - Comparação entre a dispersão do comprimento das barras estiradas antes do corte das pontas para diferentes atados para o caso do produto 4104 QUA 40.

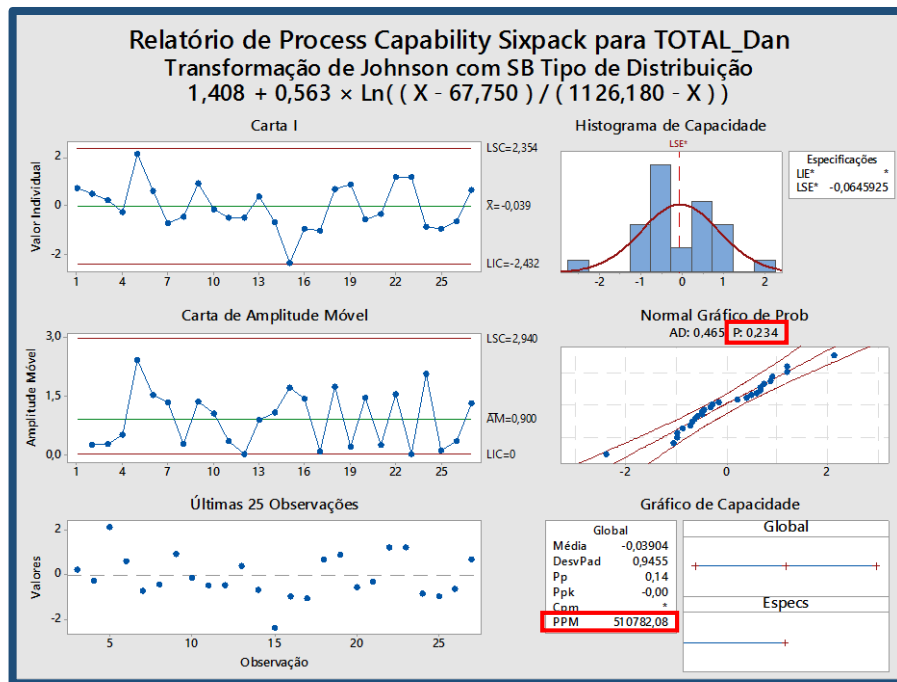


Figura 148 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o caso do produto 4104 QUA 40.

Comparando agora o comprimento útil da barra com os requisitos do cliente, verifica-se que o comprimento útil da barra é superior ao máximo, o que leva a uma maior percentagem de sucata geral. Uma vez que o comprimento das pontas está subdimensionado, esta ocorrência pode estar associada a outras suposições usadas no planeamento, como o índice de perda mássica. Contudo, face à média de sucata no passado, esse valor pode não estar desajustado. Neste seguimento, deve-se averiguar a existência de causas especiais, eliminá-las e depois, sim, pode-se proceder a um melhor controlo da variabilidade associada. A Figura 149 demonstra que o processo não está sob controlo estatístico.

Este produto foi mais um exemplo de utilização da metodologia de planeamento de um número de barras ímpar. E, talvez por isso tenha existido alguma variabilidade quando analisadas as barras ideais (total sem imperfeições). Por outro lado, verificou-se também que em alguns casos as barras eram cortadas ao máximo, mas noutros, eram cortadas ao mínimo. Geralmente, as barras que originavam apenas uma barra estirada final eram cortadas ao máximo indicando um sobredimensionamento do comprimento planeado. Enquanto as barras planeadas ao dobro eram cortadas com um comprimento muito próximo do mínimo. Mas para além disto, verificou-se a presença de casos de barras que originaram duas barras finais e que foram cortadas ao máximo, nomeadamente a amostra 21, a qual gerou instabilidade no processo.

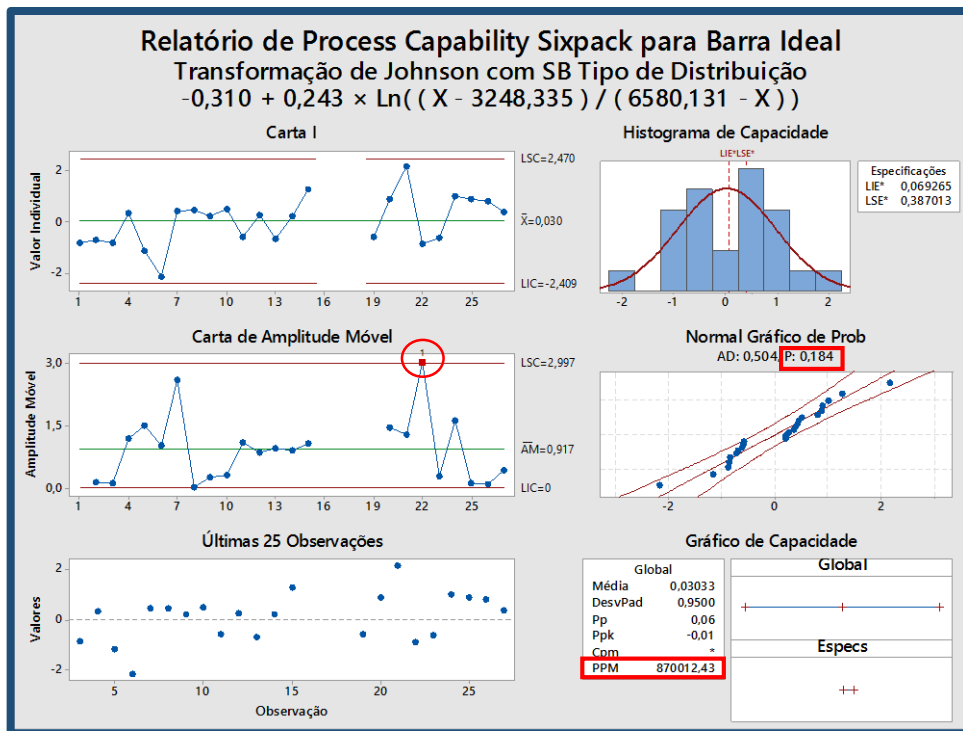


Figura 149 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4104 QUA 40.

VIII.10. CD2 - 4307 QUA 40

Tabela 60 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 QUA 40.

Variável	Distribuição mais adequada	Valor p
PM_tot	Loglogística	0,193
vinco	Transformação de Box-Cox	0,511
PM_boa	-	-
PT_tot	Exponencial de 2 Parâmetros	0,151
PT_boa	-	-
TOTAL_pontas	-	-
PARTE_DanM	Transformação de Johnson	0,671
PARTE_DanT	Transformação de Johnson	0,255
TOTAL_boa	-	-
TOTAL_Dan	Normal	0,538
Comp_Bar_1	-	-
Comp_Bar_2	-	-
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	Transformação de Johnson	0,969
Barra_ideal	Transformação de Johnson	0,905



Figura 150 - Pontas de sucata do atado 3052500.01 do produto 4307 QUA 40.

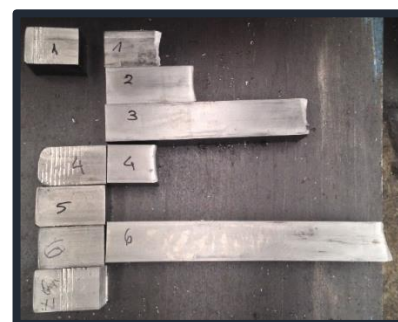


Figura 151 - Pontas de sucata do atado 3052503.02 do produto 4307 QUA 40.

Este perfil é um dos mais produzidos e, por isso, apresenta uma elevada contribuição na percentagem de sucata global do sector de estiragem. Nesta medição, apresentou uma média de 3,50%, enquanto em 2015 alcançou 4,23%. Mas, quando analisada a instabilidade dos comprimentos da barra associados a cada atado, verificou-se que no atado representado pela Figura 150, a variabilidade é muito menor face ao outro (Figura 151). Isto é demonstrado pela Figura 152.

Tentou-se compreender porquê esta variação tão distinta entre atados, no entanto, não se chegou a nenhuma causa possível. É relevante saber que o atado com menor desvio face à média foi estirado em último lugar, num dia distinto dos outros. No entanto, a laminagem foi realizada nas mesmas condições que os restantes atados.

Comparando a variável TOTAL_Dan (Figura 153), verificou-se que, nas últimas amostras, esta variável apresentava uma maior variação. No entanto, ainda assim apresenta uma variação normal e sob controlo estatístico, alcançando um rendimento de 99%.

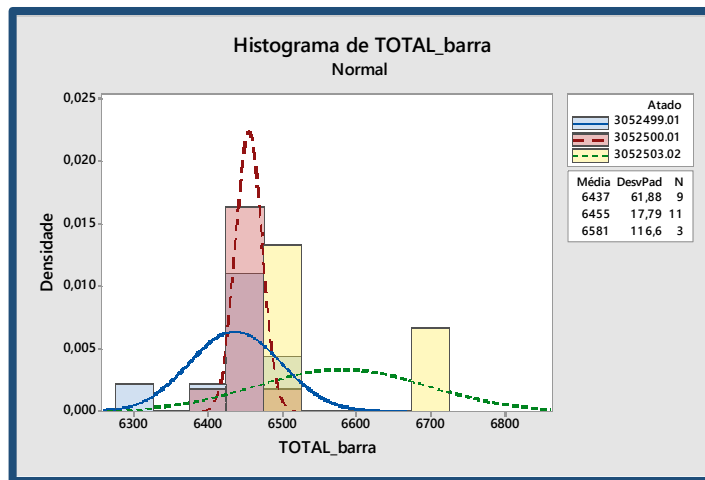


Figura 152 - Comparação entre a dispersão do comprimento das barras estiradas antes do corte das pontas para diferentes atados para o caso do produto 4307 QUA 40.

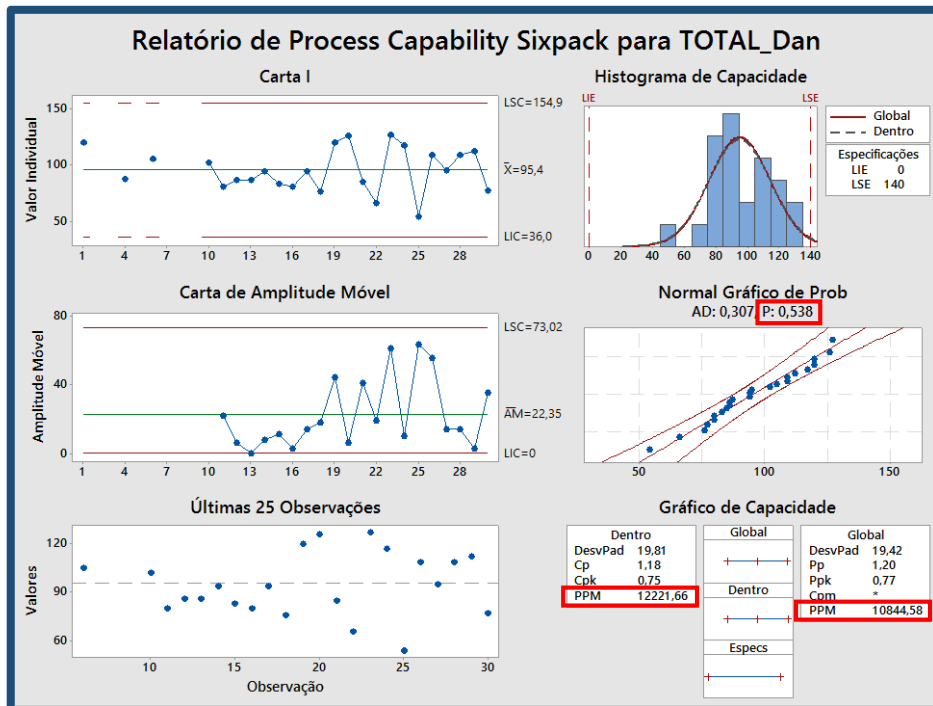


Figura 153 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4307 QUA 40.

Relativamente ao comprimento da barra útil (Figura 154), com distribuição normal, e mais uma vez sob controlo estatístico (apesar de existirem valores em falta), observou-se que a variabilidade dos valores é muito grande não permitindo satisfazer os requisitos do cliente com um rendimento de 100%. Isto indica que é necessário atuar na variabilidade associada ao processo.

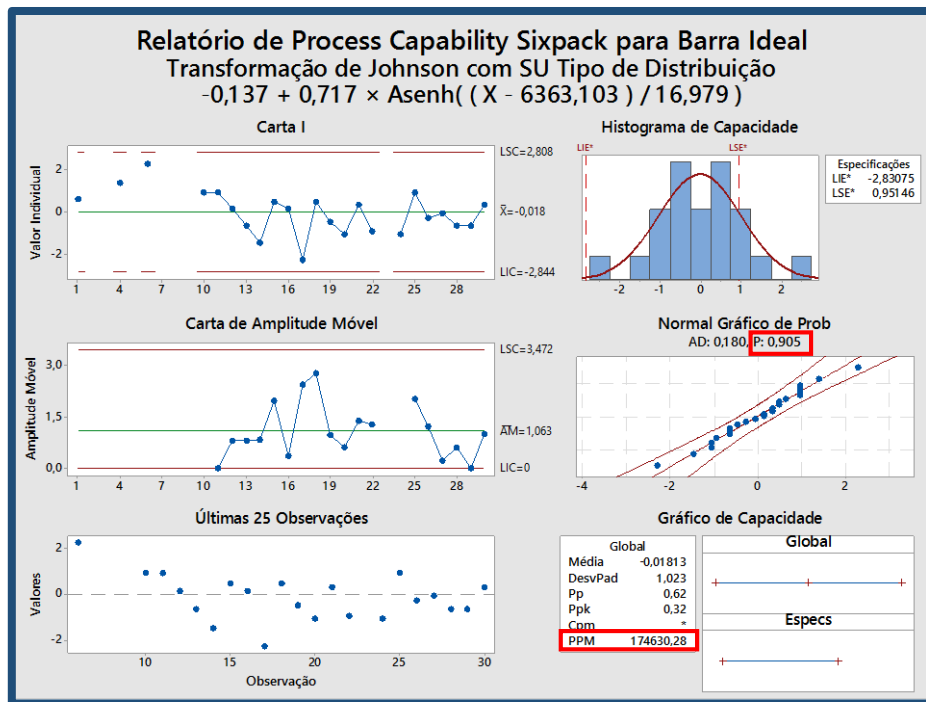


Figura 154 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4307 QUA 40.

VIII.11. CD2 - 4305 QUA 50

Tabela 61 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4305 QUA 50.

Variável	Distribuição mais	Valor
PM_tot	Transformação de	0,969
vinco	Transformação Box-	0,706
PM_boa	-	-
PT_tot	-	-
PT_boa	-	-
TOTAL_pontas	Exponencial de 2	0,168
PARTE_DanM	Transformação de	0,727
PARTE_DanT	-	-
TOTAL_boa	-	-
TOTAL_Dan	Exponencial de 2	0,164
Comp_Bar_1	-	-
Comp_Bar_2	Transformação de	0,119
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	Transformação de	0,798
Barra_ideal	Transformação de	0,487



Figura 155 - Pontas de sucata do atado 3051683.01 do produto 4305 QUA 50.



Figura 156 - Pontas de sucata do atado 3051682.01 do produto 4305 QUA 50.

Nesta medição, apresentou uma média de 4,97%, enquanto em 2015 alcançou 6,15%. Aqui é referida média de medição dada a contribuição de vários atados os quais apresentam percentagem de sucata que oscila de 4,0% a 6,1%. Esta instabilidade nos comprimentos da barra está representada na Figura 157, sendo que é possível observar, na prática, a partir das Figuras 155 e 156. O atado apresentado nesta última figura demonstra alguma instabilidade no processo que deve ser eliminada.

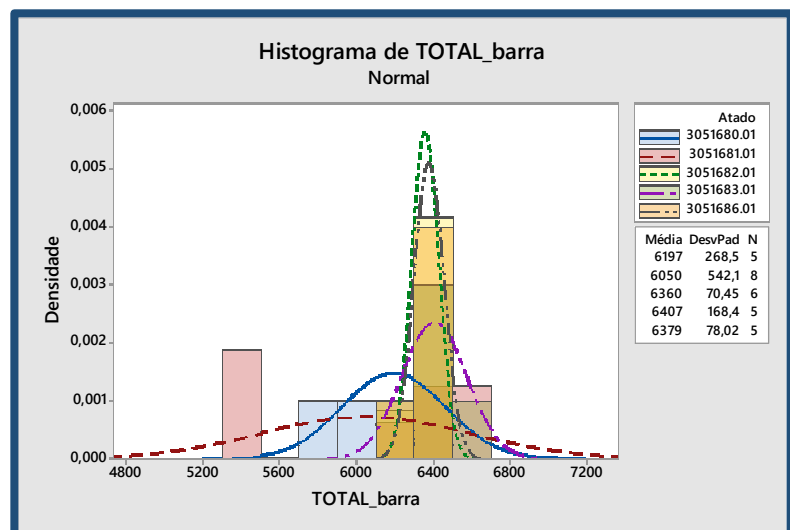


Figura 157 - Comparação entre a dispersão do comprimento das barras estiradas antes do corte das pontas para diferentes atados para o caso do produto 4305 QUA 50.

Relativamente ao comprimento da ponta danificada, a qual exhibe uma distribuição exponencial, aparenta existir alguma tendência, demonstrando estar fora de controlo. Esta tendência é encontrada nas amostras finais, as quais correspondem ao atado da Figura 158. Verifica-se ainda a existência de alguns valores acima da gama de especificação das pontas.

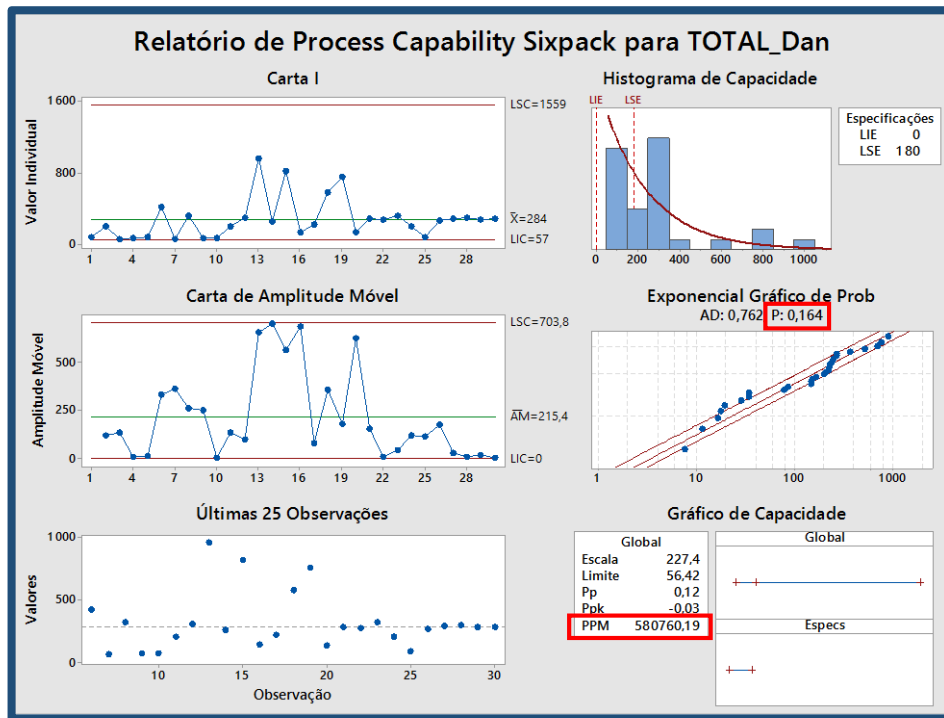


Figura 158 - Resumo da análise de capacidade para a variável TOTAL_Dan para o produto 4305 QUA 50.

Na Figura 159 é apresentado o estudo para a variável Barra_ideal. A barra útil, por sua vez, com distribuição normal após aplicar a transformação de Johnson, aparenta estar sob controlo estatístico. Contudo, apresenta muitas barras que se encontram fora da gama de especificação do cliente, quer abaixo, quer acima. Isto leva a uma maior quantidade de sucata produzida e material de segunda, que é vendido como sucata. Na verdade, prevê-se um rendimento de apenas 68%.

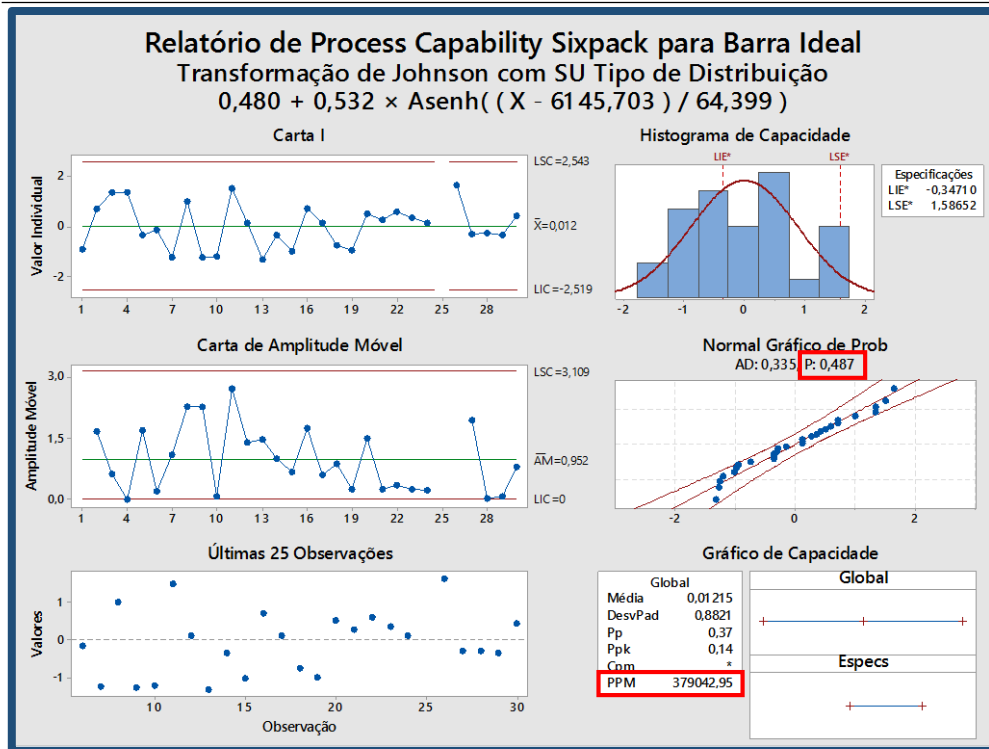


Figura 159 - Resumo da análise de capacidade para a variável Barra_ideal para o produto 4305 QUA 50.

VIII.12. CD2 - 4307 QUA 50

Tabela 62 - Modelos que melhor caracterizaram a distribuição da probabilidade das diversas variáveis analisadas para o perfil 4307 QUA 50.

Variável	Distribuição mais adequada	Valor p
PM_tot	Transformação de Johnson	0,220
vinco	Transformação de Johnson	0,853
PM_boa	-	-
PT_tot	Transformação Box-Cox	0,265
PT_boa	-	-
TOTAL_pontas	Lognormal	0,274
PARTE_DanM	Transformação de Johnson	0,107
PARTE_DanT	-	-
TOTAL_boa	-	-
TOTAL_Dan	Transformação de Johnson	0,642
Comp_Bar_1	-	-
Comp_Bar_2	-	-
Comp_Barra	-	-
TOTAL_barra	Transformação de Johnson	0,203
Barra_ideal	Transformação de Johnson	0,321



Figura 160 - Pontas de sucata do atado 3051682.01 do produto 4307 QUA 50

A Tabela 62 apresenta os modelos que melhor se ajustam aos dados obtidos neste caso de estudo. O símbolo “-“ indica que nenhum dos modelos presentes no software usado se ajustou com um valor p aceitável (maior do que 0,05). Este estudo é apresentado na secção 4.3.2..

Anexo IX

Melhoria

IX.1. Hierarquização de erros

Tabela 63 - Hierarquização das causas e respetivos erros por frequência e importância.

Causas	Erro	Frequência	Importância
Instabilidade do processo/ Variabilidade acentuada	Processo	7	2°
Valor especificado proveniente de extrapolação/interpolação ineficiente	ER - Produção	4	1°
303 Bisel	<i>Grade</i>	2	7°
Planeamento de número de barras ímpar	Metodologia	2	4°
Peso do lingote superior ao utilizado no planeamento sem redefinição de novos comprimentos de corte na fase de laminagem	ER - OPE	1	5°
Realização da metodologia a jusante do processo de estiragem de modo incorreto	ER-OPE	1	9°
Alteração provisória da metodologia de aceitação de pontas	ER - Produção	1	10°
Falha no comprimento do corte das barras laminadas (serrote)	ER – OPE	1	3°
Planeamento em excesso (aproveitamento de matéria-prima)	ER - Planeamento	1	6°
Distração/ Falta de conhecimento/Suposição/ Indicações ambíguas	ER - OPE	1	8°

IX.2. Interpretação de cartas de controlo

A análise da estabilidade das cartas de controlo deve ser realizada, numa primeira fase, verificando a carta de controlo MR e só depois a carta I (Reis, 2016). Considera-se um “processo sob controlo estatístico” se e só se nenhuma das situações descritas em “regras para instabilidade” ocorrerem para ambas as cartas.

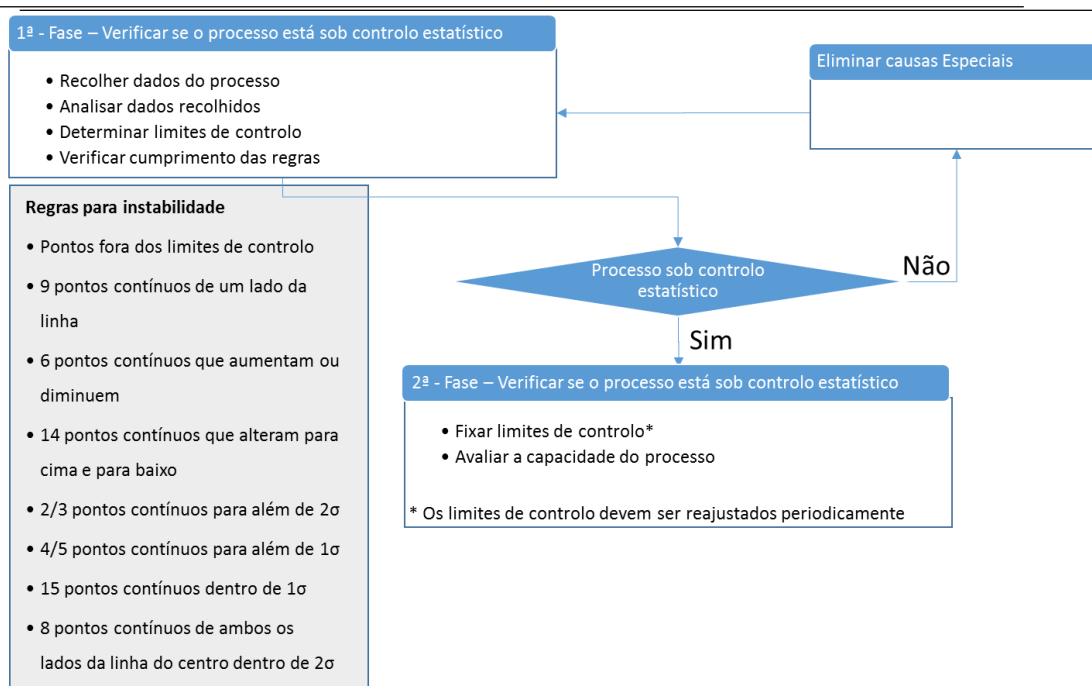


Figura 161 - Sequência de utilização e interpretação de cartas de controlo.

IX.3. Ponto de situação das ações

Tabela 64 - Descrição do estado em que se encontram as ações.

Ação	Estado	Data prevista finalização
IT - Instrução de medição	fechado	15 de junho de 2016
IT – Especificação de fresagem	fechado	15 de maio de 2016

Anexo X

Metodologia SPC proposta

Considerando um controlo apenas na linha de estiragem de CD1 devido a esta conter atados de maiores dimensões e ao facto de, para diferentes dimensões, a variabilidade verificada é menor. Isto permite restringir o controlo a uma menor variedade de perfis.

A metodologia proposta será descrita posteriormente. Para tal, será definido um plano de amostragem, Tabela 65, a metodologia de recolha de amostra, Tabela 66. O plano de amostragem responde às questões: “O quê?” “Quanto?” “Quando?”. A metodologia indica quem é responsável pela execução da tarefa, e como a executa e como interpretar os resultados.

As amostras devem obedecer ao princípio de “subgrupos racionais”, o que quer dizer que devem ser recolhidas de modo a maximizar a probabilidade de detetar causas especiais de variação entre amostras, mas minimizar a probabilidade de as detetar dentro da mesma amostra. É, por isso, comum o uso de várias amostras de pequenas dimensões (geralmente, cinco observações), medidas em espaços de tempo definidos (Orfão, 2016).

Na prática, o processo de estiragem não é realizado sempre para o mesmo perfil, sendo que durante o período de tempo planeado para estiragem de quadrados, podem ainda ser estirados perfis de várias dimensões e *grades* de modo intercalado. Isto não permite uma recolha de amostras baseada no tempo, como alguns autores sugerem. Outro fator de variação e que é introduzido neste processo, é o facto de o material poder ser produzido de forma seguida numa das etapas a montante, por exemplo na laminagem, e não apresentar a mesma sequência numa das operações seguintes.

Tabela 65 - Plano de amostragem.

Características da amostra (o que?)	Dimensão das amostras (quanto?)	Frequência de amostragem (quando?)
A amostra consiste em uma recolha de pontas de sucata recolhidas no corte de estirados da linha CD1.	A amostra deve apresentar uma dimensão que corresponde a 10% do número de barras de cada atado, arredondado em excesso.	Devem ser recolhidas observações igualmente espaçadas. De modo a recolher amostras aleatórias, devem ser recolhidas medições das barras em posições definidas aleatoriamente.

Tabela 66 - Metodologia.

Operador (quem recolhe?)	Recolha da amostra (como recolher?)	Cartas de controlo (como interpretar?)
A recolha da amostra é responsabilidade do operador de corte.	O procedimento de recolha de amostra deve ser o definido na secção 4.2.3.. No entanto, seria preferível a recolha de valores baseada em pesos.	O comportamento do processo é analisado para cada linha de estiragem em separado, a partir de uma carta de controlo do tipo X-bar-MR-bar, considerando a média móvel. Neste caso, os limites devem ser reajustados na mudança de perfil (geometria).

Por exemplo, considerando um atado de 44 barras, serão recolhidas 4 medições, as quais correspondem a 1 amostra. Estas medições podem se recolhidas nas observações nas seguintes posições, se definido previamente, 2, 9, 28 e 35. Estas posições devem ser seleccionadas aleatoriamente, sendo que existem programas capacitados para isso, se se desejar um procedimento rigoroso. Durante o seu turno, se forem produzidas 180 barras, serão recolhidas medições de 18 barras. A medição das varáveis não tem de ser imediata, desde que a ordem não seja alterada e seja conhecido o par (ponta da frente, ponta de trás)

Anexo XI

Matriz de causa-efeito

A seleção da causa a avaliar e atuar em primeiro lugar pode ser determinada com base em estimativas da importância para o cliente externo e interno (processos subsequentes). Para tomar esta decisão, pode ser realizada uma sessão informal, por exemplo *Brainstorming*, unindo elementos chave (de várias áreas do processo) para contabilizar qual os *inputs* que fazem mais pressão sobre os *outputs* do processo. O exemplo descrito de seguida foi usado a partir do diagrama causa-efeito apresentado na secção 4.3.1., o qual foi redigido para o problema “variabilidade do comprimento da barra estirada”. Esta metodologia foi baseada num projeto Seis Sigma aplicado na indústria têxtil descrito por Távora (2009).

O preenchimento da tabela deve ser dado numa escala de 1 a 10, sendo que 1 corresponde a “pouco efeito” e 10, a “grande impacto”. Neste seguimento, a cotação de cada *input* é dada pela multiplicação do nível de importância para o cliente com a apreciação atribuída em cada célula na mesma coluna. Por outro lado, na horizontal, as cotações são somadas. A avaliação deve ser realizada no *input* com maior cotação na coluna relativa ao “Total”

Nesta situação o cliente depende do problema a ser tratado. Se se estiver a tentar atingir metas cuja parte interessada é a própria empresa, como no caso da redução da sucata, o cliente é interno e, por isso, deve-se questionar a própria empresa quais os valores/restrições que pretendem atingir.

A próxima etapa seria a criação de um diagrama de Pareto, onde de forma simples e visual é possível interpretar os resultados recolhidos até aqui. Isto permite a tomada de decisão, a qual teve a ajuda de muitos contribuidores (plateia), o que leva à conceção de mais conhecimento. Esta etapa permitiria a redução de causas a atingir.

Posteriormente, para conhecer qual a variação efetiva da causa selecionada, pode e deve ser medida no local a entrada de variabilidade das causas selecionadas anteriormente. São exemplos de medições possíveis de efetuar na empresa: peso dos varões, dos lingotes, no corte de laminados, entre outros. Devem ser abordadas várias causas de modo a garantir que a entrada de variabilidade apresenta realmente grande impacto. Isto é realizado, então, com o intuito de alcançar, em primeiro lugar, o problema cujo efeito apresenta maior impacto num determinado *output* (produtividade, produção de sucata). Quando o problema for então detetado, deve ser analisado e ações de melhoria devem ser definidas.

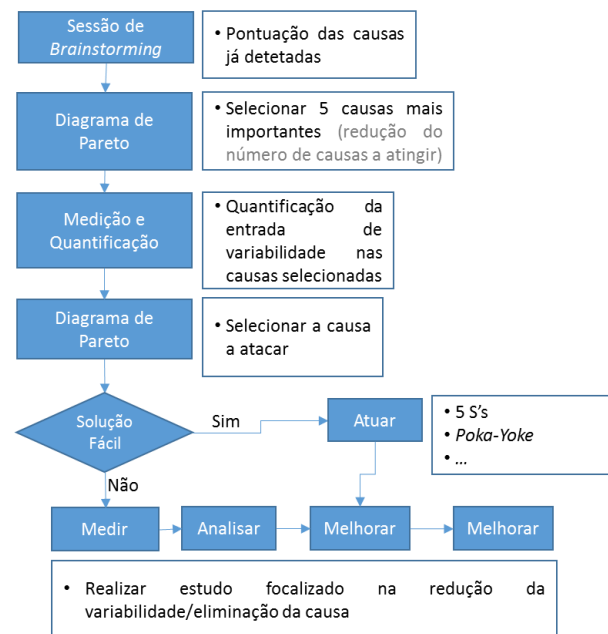


Figura 162 - Nova visão de uma metodologia para redução da variabilidade do processo.

Tabela 67 - Matriz de causa-efeito.

Nível de importância para o cliente							
<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>	Eficiência do processo	Sucata	Retrabalho	Número de operadores	Tempo de resposta	Total
1	Variedade de MP						
2	Peso de MP exato desconhecido						
3	<i>Grade</i>						
4	Planeamento						
5	Procedimentos não estandardizados						
6	Receção de MP						
7	Laminagem						
8	Manutenção						
9	Responsabilidade						
10	Formação						
11	Habilidade						
12	Motivação						
13	Experiência						
14	Pressão						
15	Turno						
16	Condições de Operação						
17	Batente em TC						
18	Batente Traça						
19	Afinação CV50						
20	Ponta Fresada						
21	Sistemas de Medição Rudimentares						
22	Traça CV50						
23	Traça CM75						
24	Corte Serrote Disco TA						
25	Corte Serrote Disco TC						
26	Serra de Fita						
27	Máquina de Estirar						
Total							