



IPS Instituto
Politécnico de Setúbal
Escola Superior de
Tecnologia de Setúbal

DIANA SOFIA
CARNEIRO SOARES

**INDICADORES E CONTROLO DE
QUALIDADE NA GESTÃO DA
PRODUÇÃO**



Relatório de Dissertação do Mestrado em
Engenharia de Produção

ORIENTADOR

Professor Doutor Filipe José Didelet Pereira

fevereiro de 21

DIANA SOFIA
CARNEIRO SOARES

**INDICADORES E CONTROLO DE
QUALIDADE NA GESTÃO DA
PRODUÇÃO**

JÚRI

Presidente: Professor Doutor, José Simões, IPS

Orientador: Professor Doutor, Filipe Pereira, IPS

Vogal: Professora Doutora Olga Costa

Agradecimentos

Na realização da presente dissertação, obtive apoio direto e indireto de várias pessoas às quais estou profundamente grata.

Correndo o risco de injustamente não mencionar algum dos contributos, quero deixar expresso os meus agradecimentos:

- Engenheiro Luís Carreira – Diretor de Produção e Manutenção da Indorama Portugal PTA, por propor-me que fizesse parte desta investigação e a descrevesse como dissertação de final de curso, à disponibilidade de toda a documentação existente sobre os equipamentos e processo envolvidos e a toda a sua disponibilidade e apoio na execução e implementação do projeto;
- Engenheiro Nuno Fernandes – Supervisor de produção na Indorama Portugal PTA por toda a disponibilidade para o solucionar de dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo da execução do projeto;
- Engenheiro Roberto Mulargiu – Diretor de Tecnologia da Indorama Portugal PTA por toda a sua disponibilidade para o solucionar de dúvidas e facilitar o acesso á informação técnica;
- Professor Doutor Filipe Didelet pela sua orientação, total apoio, disponibilidade, pelo conhecimento que transmitiu, opiniões e críticas, solucionar de dúvidas e pelas palavras de incentivo;
- Professor Doutor José Simões também pela orientação e total apoio na organização e formatação do projeto e palavras de apoio;
- Professores Doutor Ricardo Cláudio, e Doutora Maria João Carmezim, por todo o apoio e orientação na fase de pesquisa bibliográfica para o projeto.

Resumo

A presente dissertação teve como estudo os indicadores e o controlo da qualidade na gestão da produção da Indorama Ventures Portugal PTA (IVP PTA), situada na zona industrial da cidade de Sines. Esta empresa tem como finalidade produzir ácido tereftálico purificado (PTA) que consiste num pó branco, que é a matéria prima para a produção de polietileno tereftalato (PET) sendo este último um polímero termoplástico. O objetivo deste estudo consistiu na avaliação das variações dos indicadores ao longo do tempo, na comparação dos indicadores com valores de referência analisando os resultados obtidos. Definiram-se parâmetros de melhoria através da gestão de equipamentos. Verificou-se a disponibilidade dos equipamentos e analisaram-se os custos de controlo. A metodologia utilizada incluiu:

- Trabalho de pesquisa;
- Recolha de informação/dados relevantes;
- Tratamento e avaliação de dados;
- Análise e controlo de dados;
- Definição de parâmetros de melhorias.

Os objetivos contemplaram a definição das variações dos indicadores de processo ao longo do tempo e a comparação com valores de referência, a Definição de parâmetros de melhoria, a melhoria do desempenho através da gestão de equipamentos/operações, passando pela análise da respetiva disponibilidade. Os objetivos foram alcançados no que se refere à análise dos indicadores, à definição de parâmetros de melhoria e à gestão e análise da disponibilidade de equipamentos. Sendo que os gráficos de controlo de processo são amplamente utilizados em ambientes industriais para manter a qualidade do produto e são de fácil utilização e compreensão, houve também uma preocupação em pesquisar algumas das ferramentas e técnicas com eles relacionadas, ainda que não diretamente utilizadas no trabalho, como é o caso do planeamento de experiências. Finalmente, há que estabelecer um conjunto de indicadores de desempenho de manutenção e de produção de acordo com os objetivos da empresa.

Palavras-chave: Indicadores, Controlo de qualidade, Gestão de equipamentos, Gestão de operações, Gestão da produção, Manutenção.

Abstract

The present dissertation had as study the indicators and the quality control in the production management of Indorama Ventures Portugal PTA (IVP PTA), located in the industrial area of the city of Sines. This company produce purified terephthalic acid (PTA) which consists of a white powder, which is the raw material for the production of polyethylene terephthalate (PET), the latter being a thermoplastic polymer. The aim of this study was to evaluate the variations of the indicators over time, comparing the indicators with reference values, analyzing the results obtained. Improvement parameters were defined through equipment management. The availability of the equipment was checked and the control costs were analyzed. The methodology used included:

- Research work;
- Collection of relevant information;
- Data treatment and evaluation;
- Data analysis and control;
- Definition of improvement parameters.

The objectives included the definition of changes in process indicators over time and comparison with reference values, the definition of improvement parameters, the improvement of performance through the management of equipment/operations, including the analysis of their availability. The objectives were achieved with regard to the analysis of indicators, the definition of improvement parameters and the management and analysis of equipment availability. Since process control graphics are widely used in industrial environments to maintain product quality and are easy to use and understand, there was also a concern to research some of the tools and techniques related to them, although not directly used at work, as is the case with experience planning. Finally, it is necessary to establish a set of maintenance and production performance indicators in accordance with the company's objectives.

Keywords: Indicators, Quality control, Equipment management, Operations management, Production management, Maintenance.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	ii
Abstract	iii
Índice	iv
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas.....	vii
Lista de Siglas e Acrónimos.....	viii
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Introdução e âmbito do trabalho	2
1.1.1 Gestão de Operações.....	3
1.1.2. Fiabilidade, Manutenção e Qualidade	3
1.2. Objetivos	4
1.3. Organização da dissertação.....	5
Capítulo 2	6
Revisão bibliográfica	6
2.1. Indicadores-Chave de desempenho.....	7
2.2. Indicadores-Chave de desempenho na Manutenção	13
2.3. KPIs numa fábrica de produção de brita utilizando simulação dinâmica	14
2.4. Indicadores-chave de desempenho para avaliação sustentável da produção no setor de petróleo e gás	19
2.5. Indicadores-chave de desempenho para operação e manutenção de parques eólicos	24
2.6. <i>Sistema de simulação e gestão focado em KPIs para projeto ecoeficiente de sistemas de produção intensivos em energia</i>	28
2.7. Principais indicadores de desempenho para a gestão de operações de produção	30
2.8. KPIs para gestão de operações de produção	33
2.9. Dos fluxos de planeamento de produção aos KPIs de gestão de operações de fabricação: vinculando os padrões ISO 18828 E ISO22400	35
2.10. Alterações de KPIs em maquinaria inteligente usando KPI-ML	37
2.11. Principais indicadores de desempenho da produção no futuro	37
2.12. Avaliação de inovação utilizando indicadores chave de desempenho	42
2.13. Cartas de controlo	43
2.14. Desenho e Análise de Experiências na Gestão da Manutenção	48
2.15. Criticidade do equipamento	53
2.16. Técnicas de testes em miniaturas para gestão da vida útil de equipamentos operacionais	54
2.17. Gestão de logística da cadeia de serviços para aumentar o tempo de atividade dos equipamentos	56

2.18. Maximizar a disponibilidade de ativos e reduzir os custos de manutenção	57
2.19. Gestão da Produção	59
Capítulo 3	62
Caso de Estudo	62
3.1. História da Indorama Ventures Portugal	63
3.2. O processo.....	64
3.2.1. <i>Fábrica de Utilidades.....</i>	64
3.2.2. <i>Fábrica de PTA.....</i>	66
3.3. Gestão da Produção	68
3.4. Metodologia utilizada.....	70
3.5. Indicadores de desempenho (KPIs)	70
3.5.1. <i>Volume de Produção.....</i>	70
3.5.2. <i>Disponibilidade da Fábrica</i>	71
3.5.3. <i>Rendimento da qualidade da Fábrica</i>	71
3.5.4. <i>Desempenho da qualidade da Fábrica</i>	71
3.5.5. <i>Eficiência geral da Fábrica</i>	71
3.6. Análise dos indicadores	72
3.6.1. <i>Volume de Produção.....</i>	72
3.6.2. <i>Disponibilidade da Fábrica</i>	75
3.6.3. <i>Rendimento da Qualidade da Fábrica.....</i>	76
3.6.4. <i>Desempenho da Qualidade da Fábrica</i>	77
3.6.5. <i>Eficiência geral da Fábrica</i>	78
3.7. Análise e propostas de melhoria.....	80
3.7.1. <i>Filtração e secagem – Descrição do processo</i>	81
3.7.2. <i>Análise da temperatura de saída do secador da Oxidação</i>	84
3.7.3. <i>Análise de melhoria.....</i>	92
Capítulo 4	98
Conclusões	98
4.1. Conclusões gerais	99
4.2. Conclusões específicas	101
4.3. Sugestões para trabalhos futuros.....	102
Bibliografia.....	103
ANEXOS	1

Lista de Figuras

Figura 1 – Fiabilidade do equipamento e custos operacionais – adaptado [34].....	11
Figura 2 - Pirâmide de objetivos - adaptado [36]	13
Figura 3 - Lista de atividades que contribuem para o tempo de processamento real (APT) - adaptado [3]	16
Figura 4 – Medidas logísticas e de qualidade no processo de produção de brita - adaptado [3]	17
Figura 5 – Hierarquia - adaptado [10]	21
Figura 6 – Pontuação das empresas – adaptado [10]	23
Figura 7 – Categorias e requisitos correspondentes. [12]	25
Figura 8 - Modelação KPI-PMS - adaptado [31]	29
Figura 9 - Lacunas entre a norma ISO 22400 e as necessidades dos processos industriais - adaptado[40].....	31
Figura 10 – Relacionamento entre indicadores - adaptado[15]	38
Figura 11 – Cadeia de Valor de acordo com <i>Porter</i> - adaptado[15]	39
Figura 12 – Novos KPIs - adaptado[15]	40
Figura 13 – Aplicação do conceito[15]	41
Figura 14 - Carta de controlo tipo X - adaptado[20].....	44
Figura 15 – Avaliação da condição do ativo[13]	58
Figura 16 – Indorama Ventures Portugal [14]	64
Figura 17 – Localização da fábrica das Utilidades [28].....	65
Figura 18 – Localização da fábrica de PTA [26]	67
Figura 19 – Esquema da área da filtração da Oxidação [24].....	81
Figura 20 – Esquema do filtro rotativo de vácuo (RVDF) [24]	82
Figura 21 – Esquema da área de secagem da oxidação [23].....	82
Figura 22 – Secador de CTA – Oxidação [23]	83
Figura 23 – Secador de CTA – Oxidação [23]	83
Figura 24 – Esquema do secador da oxidação [23].....	84
Figura 25 – 1º período de análise de temperatura do M1-423	85
Figura 26 – 2º período de análise de temperatura do M1-423	86
Figura 27 – 3º período de análise de temperatura do M1-423	86
Figura 28 – 4º período de análise de temperatura do M1-423	87
Figura 29 – 5º período de análise de temperatura do M1-423	87
Figura 30 - 6º período de análise de temperatura do M1-423	88
Figura 31 – 7º período de análise de temperatura do M1-423	89
Figura 32 – 8º período de análise de temperatura do M1-423	89
Figura 33 – 9º período de análise de temperatura do M1-423	90
Figura 34 – 10º período de análise de temperatura do M1-423	91
Figura 35 – 11º período de análise de temperatura do M1-423	91

Figura 36 – Esquema geral da secção – Secagem de CTA. [23].....	92
Figura 37 – Controlo de pressão do secador M1-423 [23]	92
Figura 38 – Controlo de Temperatura do secador – M1-423 [23]	93
Figura 39 – Análise de temperatura de polímeros [33].....	94
Figura 40 – Amostras de tecido do tipo PVDF vs PEEK	95
Figura 41 – Trend da temperatura e pressão do M1-423 no período de 05/07/20 a 10/09/20	96
Figura 42 - Trend da temperatura e pressão do M1-423 no período de 13/12/20 a 08/02/21	96
Figura 43 – Preço do PTA - dezembro de 2020 [29]	97
Figura 44 – Tendências de preço – PTA [29]	97

Lista de Tabelas

Tabela 1 – KPI's da Indorama Ventures Portugal[22].....	4
Tabela 2 - Principais indicadores de desempenho - adaptado [34].....	11
Tabela 3 - KPIs [10].....	19
Tabela 4 - Importância dos KPIs - adaptado [10]	21
Tabela 5 – Performance para cada instalação - adaptado [10].....	23
Tabela 6 - Substituir a taxa de alocação original[40].....	32
Tabela 7 – Substituir a utilização da eficiência [40].....	32
Tabela 8 – Substituir taxa de instalação [40]	32
Tabela 9 – Gestão da Produção da IVP [21]	68
Tabela 10 – Valores de referência dos KPIs - adaptado [22]	72
Tabela 11- Volume de Produção de PTA - 2018	72
Tabela 12 – Volume de Produção de PTA – 2019	73
Tabela 13 – Volume de Produção de PTA - 2020	74
Tabela 14 – Disponibilidade da fábrica PTA - 2018.....	75
Tabela 15 - Disponibilidade da fábrica PTA - 2019	75
Tabela 16 - Disponibilidade da fábrica PTA - 2020	75
Tabela 17 – Rendimento da Qualidade da fábrica PTA - 2018	76
Tabela 18 - Rendimento da Qualidade da fábrica PTA - 2019.....	76
Tabela 19 - Rendimento da Qualidade da fábrica PTA - 2020.....	76
Tabela 20 – Desempenho da qualidade da fábrica PTA - 2018.....	77
Tabela 21 - Desempenho da qualidade da fábrica PTA - 2019.....	77
Tabela 22 - Desempenho da qualidade da fábrica PTA - 2020.....	78
Tabela 23 – Eficiência geral da fabrica PTA - 2018.....	78
Tabela 24 - Eficiência geral da fabrica PTA - 2019	79
Tabela 25 - Eficiência geral da fabrica PTA - 2020	79
Tabela 26 – Resumo mensal dos KPIs da IVP não alcançados	80

Lista de Siglas e Acrónimos

AEBT	Tempo real ocupado do equipamento
AEDT	Tempo real de inatividade do equipamento
AENPT	Tempo real sem processamento do equipamento
AEP	Produção anual de energia
AHP	Análise da Variância
ANOVA	Análise da Variância
ANP	Processo de rede analítica
APQ	Quantidade real de processamento
APTP	Tempo de processamento real
ATR	Taxa de transferência real
CAPEX	Investimento
CBM	Manutenção baseada em condições
CEP	Controlo Estatístico do Processo
CMR	Tratado internacional sobre o transporte terrestre transfronteiriço de mercadorias
COF	Consequência de falha
CTA	Ácido Tereftálico Crude
DAFT	Custos de defeitos e defeitos reais
DCS	Distributed Control System
DoE	Desenho e Análise de Experiências
DSCR	Índice de Cobertura de Serviço da Dívida
DW	Água desmineralizada

EA	Disponibilidade de equipamento
EE	Eficácia do equipamento
ELECTRE	<i>Elimination and Choice Expressing the Reality</i>
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
ETE	Estação de tratamento de efluente
EWMA	Gráfico de média móvel ponderada exponencialmente
FCFE	Fluxo de caixa livre para patrimônio líquido
HRSG	<i>Heat Recovery Steam Generator</i>
ISO	Organização Internacional de Padronização
IVP	Indorama Ventures Portugal
KPI	Indicador-chave de desempenho
KPI-MDB	Painel móvel dinâmico de KPI
KPI-PMS	Modelo de Processo de Produção e Sistema de Simulação
LCOE	Custo nivelado de energia
LSB	<i>La Seda de Barcelona</i>
LSL	Limite de especificação Superior
MADM	Tomada de Decisão de Múltiplos Atributos
MCDM	<i>Multi Criteria Decision Making</i>
MGF	<i>Functionally Graded Materials</i>
MODM	Tomada de Decisão de Múltiplos Objetivos
MSP	Prestador de serviços de manutenção
MRO	Reparo e revisão de manutenção
MTBF	Tempo médio entre falhas

MTBR	Tempo médio entre reparações
MTTF	Tempo médio para a falha
MTTR	Tempo médio de reparação
NPQ	Quantidade sem processamento
NPT	Tempo sem processamento
OEE	Eficácia Geral do Equipamento
OLS	<i>Ordinary Least Squares</i>
OPEX	Despesas operacionais
O&M	Operação e Manutenção
PA	Disponibilidade de processo
PBT	Tempo ocupado planeado
PBTP	Tempo ocupado planeado de um processo
PCV	Válvula de controlo de pressão
PDT	Tempo de inatividade planeado
PE	Eficácia do processo
PEEK	<i>Polyetheretherketone</i>
PER	Processo Especial de Revitalização
PET	Polietileno Tereftalato
PHD	<i>Process History Database</i>
PIN	Projeto de Interesse Nacional
PLQ	Quantidade de perda de processamento
PM	Manutenção preventiva
PME	Pequenas e médias empresas

PMS	Sistema de Medição e Desempenho
POF	Probabilidade de falha
POT	Tempo planeado de operação
PPQ	Quantidade de processamento planeada
PTA	Ácido Tereftálico Purificado
PTR	Taxa de produtividade planeada
PVDF	<i>Polyvinylidene Fluoride</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
QR	Relação de qualidade
RCM	Manutenção Centrada na Fiabilidade
RQ	Quantidade de referência
RT	Tempo de referência
RVDF	<i>Rotary Vacuum Drum Filter</i>
SPT	Ensaio de punção pequena
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
TI	Tecnologia de Informação
TPQ	Quantidade total do produto
TQM	Gestão de qualidade total
TR	Taxa de transferência
UE	Utilização de equipamentos
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
USL	Limite de especificação Superior
UTS	Resistência à tração final

VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
VPL	Valor Presente Líquido
WBCSD	Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável
WF	Parque Eólico
WO	Ordem de trabalho

Capítulo 1

Introdução

A gestão operacional tem vindo a ser cada vez mais alvo de atenção por parte dos responsáveis pelo planeamento e controlo dos processos de produção. Com o aumento da competitividade, aquilo que era a gestão rotineira da área da produção tornou-se um subsistema dinâmico, com uma procura constante por uma maior eficiência, de modo a responder às sucessivas alterações do mercado. [18]

O capítulo 1 está dividido em três subcapítulos. O primeiro subcapítulo desenvolve uma apresentação sobre a Indorama Ventures Portugal PTA, visto que o trabalho foi desenvolvido a partir dos dados desta e com o objetivo de propor e aplicar os parâmetros de melhoria. Desenvolve também alguns tópicos importantes relacionados com gestão de operações, indicadores, controlo de qualidade, manutenção e gestão de equipamentos.

O segundo subcapítulo descreve os objetivos específicos do presente estudo.

Por fim, o terceiro subcapítulo onde é descrita a organização e assuntos abordados ao longo dos capítulos do presente projeto.

1.1. Introdução e âmbito do trabalho

A presente dissertação de âmbito escolar do Mestrado em Engenharia de Produção, contemplou assuntos relacionados com a gestão da produção, desenvolvendo e colocando em prática conhecimentos adquiridos nas aulas de Planeamento Operacional, Investigação Operacional, Sistemas Integrados de Gestão, Manutenção e Fiabilidade e Planeamento da Qualidade.

O ácido tereftálico purificado (PTA) está na grande maioria dos casos associado à produção de fibras de poliéster ou resina de polietileno tereftalato (PET), com utilização em muitas áreas tais como as indústrias têxteis, alimentar ou automóvel.

A Indorama Ventures Portugal PTA (IVP PTA) divide-se em duas áreas importantes, a fábrica de Utilidades e a fábrica de Produção de PTA.

A fábrica de Utilidades fornece à fábrica de Produção de PTA, azoto, hidrogénio, ar de instrumentos, água desmineralizada e vapor. Para além disso recebe o efluente gerado na fábrica de PTA, encaminhando-o para a estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Águas de Santo André.

A fábrica de produção de PTA é constituída por duas fábricas, a fábrica de oxidação e a fábrica da purificação, que como os nomes indicam, na fábrica de oxidação é onde é realizada a reação de oxidação que vai formar o ácido tereftálico crude (CTA). Na fábrica de purificação é onde o CTA é transformado em PTA através de processos químicos e termodinâmicos.

A IVP PTA encontra-se dividida nas seguintes áreas:

- Produção de PTA;
- Produção de Utilidades;
- Tecnologia;
- Segurança, Saúde e Ambiente;
- Mecânica e Engenharia;
- Recursos Humanos;
- Qualidade;
- Informática.

As áreas Financeira e Logística reportam externamente.

1.1.1 Gestão de Operações

Até meados do século XX o tecido empresarial foi dominado pelas organizações de natureza produtiva, isto é, empresas cujo objetivo era apenas a transformação de matérias-primas ou produtos num bem final que seria vendido a outras empresas que, por sua vez, transformariam novamente o produto ou o fariam chegar ao consumidor final. A gestão operacional destas empresas centrava-se pois quase exclusivamente nos seus recursos produtivos, que asseguravam a criação do valor acrescentado, uma vez que a preocupação fundamental era atingir elevados níveis de fiabilidade e eficiência, permitindo obter aquilo que nessa altura era a principal vantagem competitiva: o baixo custo. Era pois habitual traduzir o termo anglo-saxónico *Operations Management*, que reflete a gestão operacional das organizações, por “Gestão da Produção”. [18]

Entretanto, como resultado do desenvolvimento do setor terciário e mais recentemente com o fenómeno da globalização, a competitividade aumentou drasticamente, e as organizações, num rápido processo de adaptação, transformaram-se radicalmente. Neste caminho de adaptação as empresas transformadoras passaram a valorizar não só os processos produtivos, mas também outras áreas funcionais complementares, determinantes do seu sucesso, nomeadamente a área de *marketing* e as de investigação e desenvolvimento, passando assim a conter uma maior componente de “serviços”. [18]

É, pois, com naturalidade que se tem assistido ao abandono da nomenclatura “Gestão da Produção” como tradução de *Operations Management*, em favor de “Gestão de Operações”, que reflete uma abordagem mais abrangente da gestão operacional das organizações, seja qual for a sua natureza.

O objetivo fundamental da gestão de operações é garantir a transformação eficaz dos recursos (*inputs*) em produtos ou serviços (*outputs*). Por isso seja qual for a organização, as decisões a tomar neste âmbito são semelhantes e dizem respeito à forma como os produtos ou serviços irão ser produzidos, nomeadamente no que respeita ao planeamento de atividades, à utilização eficaz dos recursos e à seleção dos indicadores a utilizar na monitorização da *performance* da organização. [18]

1.1.2. Fiabilidade, Manutenção e Qualidade

O conceito de manutenção tem evoluído ao longo dos tempos assim como tem evoluído o que se deve entender, dentro da empresa, como função Manutenção.

Este conceito de manutenção é definido pela EN 13306:2007 como “a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um elemento, destinadas a conservá-lo ou repô-lo num estado no qual execute a função requerida”. A função manutenção pode assumir modificações do elemento, o que terá repercussões na avaliação posterior da fiabilidade.

É com o objetivo de definir políticas de Manutenção para os elementos que se aplicam modelos de fiabilidade. [18]

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um estudo na Indorama Ventures Portugal PTA, no departamento da Produção, tendo como objetivos específicos:

- ✓ Definir as variações dos indicadores de processo ao longo do tempo, comparação dos indicadores com valores de referência e análise de resultados;
- ✓ Definir parâmetros de melhoria, se necessário;
- ✓ Gestão de equipamentos/operações de forma a melhorar a performance;
- ✓ Análise da disponibilidade de equipamentos.

A Indorama Ventures Portugal PTA, é uma empresa recente em Portugal, que está a produzir em contínuo há cerca de dois anos, pois foi comprada à antiga Artlant que foi alvo de um processo especial de revitalização.

Portanto, estes objetivos são necessários à empresa, porque é um trabalho em falta. Existem Indicadores de Produção definidos:

Tabela 1 – KPI's da Indorama Ventures Portugal[22]

Indicadores de Desempenho	Métrica
Volume de Produção	Produção/Planeado
Disponibilidade da Fábrica	Horas reais de funcionamento/Horas planeadas
Rendimento da qualidade da Fábrica (taxa de produção dentro de especificação)	(PTA Produzido - PTA Reciclado)/PTA Produzido
Desempenho da qualidade da Fábrica (taxa de produção de PTA face ao design da fábrica)	Produção de PTA/ (Horas de funcionamento*80t/h (máximo de produção))
Eficiência geral da Fábrica	Disponibilidade*Rendimento*Desempenho

Estes indicadores necessitam de avaliação, análise de resultados e comparação, para determinar se a empresa está num bom caminho de produção.

Assim, surgiu a necessidade de avaliação de indicadores-chave de desempenho e cartas de controlo para a elaboração do estudo em causa, esperando resultados positivos para implementação futura na empresa.

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação foi dividida por várias etapas de trabalho que estão organizadas e apresentadas em capítulos.

O capítulo 1 apresenta a introdução da dissertação onde especifica os objetivos do trabalho, apresentação da empresa e aborda alguns conceitos importantes para a conceção da pesquisa.

O capítulo 2, revisão bibliográfica, que permitiu a pesquisa de conceitos, técnicas e mecanismos de resolução de problemas, obtendo assim matéria e suporte necessário para decidir e desenvolver técnicas para melhorar a eficiência da empresa.

No capítulo 3 e intitulado como “Caso de Estudo”, desenvolveu-se a dissertação e descreveu-se o processo da Indorama Ventures Portugal em pormenor, seguindo-se da apresentação e análise dos indicadores da empresa. Constatado o incumprimento dos indicadores e verificado as várias causas, avaliou-se o considerado *bottleneck* da empresa: a eficiência do secador da fábrica da oxidação. Neste capítulo é descrito a análise detalhada do funcionamento e condições do secador, as melhorias implementadas ao processo de filtração e secagem da oxidação e observação posterior das melhorias.

Por fim, no capítulo 4 foram descritas as conclusões do projeto e as propostas futuras de melhoria.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

O segundo capítulo está dividido em dezanove subcapítulos que descrevem a pesquisa bibliográfica de vários artigos científicos para o presente estudo. Esta pesquisa inclui informação sobre indicadores chave de desempenho, exemplos de como foram aplicados e de que modo melhoraram os objetivos das empresas. Descreve KPIs para a gestão da produção e da manutenção e compara as normativas existentes.

Inclui também o resumo de artigos que explicam o que são cartas de controlo e como se aplicam. Descreve desenho e análise de experiências na gestão da manutenção e também inclui alguma matéria sobre criticidade do equipamento e sobre gestão da produção.

2.1. Indicadores-Chave de desempenho

Nas empresas mundiais, a gestão de manutenção preocupa-se em garantir o bom funcionamento das instalações, sistemas e equipamentos, garantindo que sejam alcançadas boas condições operacionais com a máxima disponibilidade, tudo a um custo global otimizado. Os gestores de manutenção programam as intervenções para as oportunidades e alcance exato, de acordo com as boas práticas técnicas e exigências legais, a fim de evitar perda de função ou redução de rendimento. No caso de falha inesperada, são desejadas respostas ágeis na menor perda de tempo possível, mão de obra e materiais.

Os gestores têm a responsabilidade de planejar, controlar e supervisionar a manutenção e melhoria dos métodos organizacionais que também beneficiam as metas gerais dentro das empresas. No entanto, os objetivos de manutenção da empresa têm uma alta relação com seu contexto de negócios, estratégias, processos e sistemas específicos.

Estabelecer um conjunto utilizável de indicadores de desempenho de manutenção depende principalmente dos objetivos de manutenção e dos objetivos da empresa. [11]

A medição do desempenho de manutenção é, na verdade, um processo multidisciplinar, uma vez que leva em conta múltiplos aspetos das atividades de manutenção e, por isso, a seleção dos melhores indicadores de desempenho de manutenção é uma tarefa complexa que pode ser formulada como um problema de MCDM (*Multi Criteria Decision Making*).

O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é um dos métodos do MCDM, desenvolvido para problemas de classificação e também é indicado por Wind e Saaty (1980) entre outros autores para determinar a importância relativa de atividades ou critérios. O acrónimo ELECTRE significa “Eliminação e Escolha que Expressa a Realidade” (Kaya e Kahraman, 2011) é um método MCDM bem conhecido que tem sido aplicado para ajudar os tomadores de decisão quando várias alternativas e critérios conflitantes precisam ser avaliados.

Os métodos AHP e ELECTRE propõe a sua aplicação na seleção de KPIs (indicadores-chave de desempenho) relevantes para manutenção, utilizando o popular software MS Excel, por meio do VBA (*Visual Basic for Applications*), os procedimentos matemáticos dos métodos foram programados visando fornecer análises computacionais de problemas de tomada de decisão.

Na EN 15341 (2007) são fornecidos indicadores de desempenho da manutenção para avaliar e melhorar a eficiência e eficácia, a fim de alcançar a excelência na manutenção de ativos técnicos. Esta norma também apresenta alguns passos como a metodologia para a seleção e uso de indicadores de desempenho da manutenção. A fim de selecionar indicadores relevantes, a norma EN 15341 (2007), refere que o primeiro passo é definir os objetivos a serem alcançados em cada nível da empresa, cuja exigência é identificar o modelo adequado de gestão de manutenção, a fim de melhorar desempenho. [11]

A norma EN 15341 (2007) descreve a manutenção como um sistema para gestão de KPIs para medir o desempenho da manutenção num quadro categorizado em três grupos

(económico, técnico e organizacional) e três níveis para indicadores mais específicos. Em Kumar et al. (2011) além de enumerar os potenciais usos de KPIs, refere que podem ser classificados como principais ou atrasados, dependendo se são ou não preditivos, e também os diferencia, sugerindo que caíam em dois grandes grupos, duros e moles relativamente à quantidade de dados envolvidos para medir.

Muchiri et al. (2011) propôs uma estrutura conceitual que fornece diretrizes para a escolha de indicadores de desempenho da função da manutenção que visa em alinhar os objetivos de manutenção com os objetivos corporativos e de produção, e fornece uma ligação entre os objetivos de manutenção, processo de manutenção e resultados de manutenção. Esses autores identificaram indicadores de desempenho do processo de manutenção e resultados de manutenção.

Pacaiova et al. (2011) apresenta as principais vantagens e desvantagens em processos de construção de KPI em manutenção e alguns princípios de gestão e desenvolvimento de estrutura de KPI apropriado. Neste contexto, estes autores também reforçam que o relacionamento com a manutenção e a produção é um fator importante para o sucesso da medição do desempenho da manutenção e para atender às necessidades dos clientes.

Muchiri et al. (2010) explora o uso de medição de desempenho e gestão de indicadores de manutenção, investigando como os KPIs são adquiridos ou escolhidos.

Diferentes categorias de KPIs e estruturas distintas foram amplamente discutidas e propostas por vários autores para monitorizar e controlar as atividades da manutenção. Embora a revisão da literatura tenha mostrado diferentes tipos de KPIs de manutenção e muitas estruturas de medição de desempenho, observou-se que são poucas as publicações que propõem metodologias para a seleção de KPIs relevantes, especialmente no campo da manutenção. [11]

O MCDM é dividido em duas ramificações principais: Tomada de Decisão de Múltiplos Objetivos (MODM) e Tomada de Decisão de Múltiplos Atributos (MADM). Na literatura, o acrónimo MCDM é frequentemente usado para indicar métodos MADM ou MODM.

Nos problemas de MODM são empregados modelos de programação de múltiplos objetivos para otimizar um conjunto de objetivos conflitantes sujeitos a um conjunto de restrições matemáticas (Zhou et al., 2006). O objetivo é determinar variáveis de decisão, otimizando um conjunto de funções objetivo, num domínio contínuo que satisfaça um conjunto de restrições e as preferências do tomador de decisão. Uma aplicação de métodos multiobjectivos, no campo da manutenção, pode ser encontrada em Quan et al. (2007), onde os autores apresentam um algoritmo para resolver um problema de programação de manutenção preventiva.

Para Yoon e Hwang (1995), MADM refere-se a tomar decisões de preferência sobre as alternativas disponíveis que são caracterizadas por múltiplos atributos. Os problemas da MADM geralmente envolvem variáveis discretas, que são um número finito de alternativas pré-especificadas para serem avaliadas em relação a um conjunto de atributos (critérios). Usando medidas adequadas, o decisor avalia as alternativas com relação a cada critério ponderado e uma matriz de decisão é construída a partir da qual cada método extrai um resultado de

seleção ou classificação.

Existem numerosos métodos MCDM, alguns deles são brevemente explicados por Pohekar e Ramachandran (2004) e Zhou et al. (2006) que descrevem uma classificação dos métodos de análise de decisão. No entanto, a literatura é extensa neste campo. [11]

O AHP é frequentemente encontrado na literatura para resolver vários problemas de classificação. AHP é usado por Pang (2007), Nazeri et al. (2011) e Ishizaka et al. (2012) para a seleção do fornecedor. Para a seleção da máquina, Ic (2011) usou o AHP que avalia os componentes de maquinação. Cabral et al. (2012) propõem o uso do processo de rede analítica (ANP), uma extensão do AHP, escolhendo as práticas e KPIs mais adequados.

Existe uma vasta literatura do MCDM em que nos deparamos com abordagens que lidam com o método ELECTRE. Baseado no método original ELECTRE I, encontramos Sevkli (2010), Bojkovic et al. (2010), Ermatita et al. (2011), Hatami-Marbini e Tavana (2011) e também Aytac et al. (2011), propondo metodologias de tomada de decisão.

Triantaphyllou et al. (1997) utilizaram o AHP para determinar os critérios mais importantes na tomada de decisões de manutenção.

Horenbeek e Pintelon (2013), apresentam um desenvolvimento de uma estrutura de medição de desempenho de manutenção, usando a ANP, para auxiliar o gestor de manutenção na definição e seleção das informações relevantes. [11]

Vale a pena notar que não existe uma solução ótima e única para estas questões, sendo necessário usar as preferências do tomador de decisão para diferenciar as soluções. Diante de tais problemas, muitos autores apresentam o alto potencial de diferentes métodos de MCDM. A tomada de decisão na seleção de indicadores para uso na medição de desempenho de manutenção pode ser auxiliada com a condução de métodos de classificação MCDM.

O método AHP é aplicado para determinar os pesos dos critérios do processo de decisão, que são exigidos nos procedimentos do método ELECTRE I, que por sua vez é utilizado para superar as melhores alternativas (KPIs) entre aquelas consideradas pelo tomador de decisão. A importância relativa de critérios relevantes é um conceito central para os métodos da MCDM (Alfares e Duffuaa, 2009) e o ELECTRE I é um desses métodos que usa parâmetros numéricos de peso para descrever a importância relativa de diferentes critérios. Wind e Saaty (1980) indicam o AHP como o método para determinar a importância relativa de um conjunto de atividades ou critérios.

A origem do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) remonta a 1971, tem grandes enriquecimentos teóricos até o final dos anos 70 e foi proposta pela primeira vez por Thomas Saaty em 1980.

ELECTRE I é um método simples para problemas de escolha (Roy, 1991), no entanto, os seus resultados podem ser trabalhados para obter uma classificação de alternativas.

O método ELECTRE (*Elimination e Choix Traduisant la REalité*) foi apresentado por Bernard Roy no final da década de 1960.

O ELECTRE baseia-se no conceito de classificação por comparações entre alternativas nos critérios apropriados. Roy (1991) relata que o ELECTRE I foi o primeiro método de auxílio à decisão usando o conceito de relação de superação. A abordagem ELECTRE evoluiu para

um número de variantes baseadas no mesmo conceito hoje, cobrindo diferentes tipos de problemas de decisão. Uma evolução foi apresentada por Delf e Nijkamp (1976), que desenvolveram uma análise complementar aos resultados desse método, introduzindo o cálculo dos valores de concordância diferencial e discordância agregados (concordância líquida e valores de discordância). [11]

A métrica é apenas um termo que significa "medir" (um processo ou um resultado). A combinação de várias medições produz indicadores, que servem para destacar alguma condição ou destacar uma questão para a qual precisamos responder. Os principais indicadores de desempenho (KPI) combinam várias métricas e indicadores para gerar objetivos de desempenho. Fornecem uma avaliação de parâmetros críticos ou processos-chave. KPIs para a eficácia da manutenção foram discutidos definidos e refinados durante o tempo em que a manutenção proactiva já existia. O KPI combina métricas e indicadores-chave para medir o desempenho da manutenção em muitas áreas. As métricas são essenciais para estabelecer metas e medir o desempenho. Métricas mal escolhidas ou combinadas, podem produzir indicadores enganosos que resultam em medidas incorretas e/ou de baixo desempenho. Medidas imprecisas produzem decisões de má gestão.

Para determinar os pontos fortes e fracos da manutenção, o KPI deve ser dividido nessas áreas para que você precise conhecer os níveis de desempenho. Na manutenção, estas são áreas como manutenção preventiva, processo de gestão de materiais, planejamento e programação, e assim por diante, até que dois KPIs do departamento de Manutenção sejam definidos:

- ✓ Custos operacionais do departamento de Manutenção (Performance orçamental);
- ✓ Fiabilidade do equipamento.

A fiabilidade do equipamento deve estar relacionada com a produção, produção versus capacidade e custo por unidade produzida. Por outro lado, os custos operacionais devem ser cuidadosamente considerados. Iniciar a mudança vai inicialmente aumentar as despesas do departamento de manutenção. Precisar com precisão um orçamento centrado na mudança é essencial para que o KPI represente com precisão o desempenho do orçamento do departamento. [34]

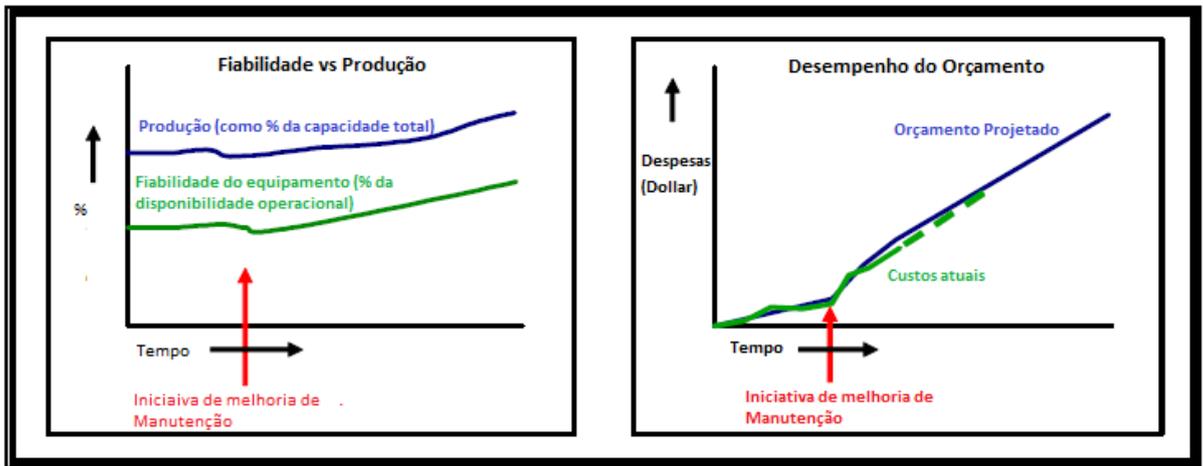


Figura 1 – Fiabilidade do equipamento e custos operacionais – adaptado [34]

Os principais indicadores são métricos específicos da tarefa. Estes respondem mais rápido do que as métricas de resultados e são selecionados para indicar o progresso em direção aos objetivos de longo prazo. Os principais indicadores são os que medem o desempenho antes que um problema surja.

A necessidade de identificar os KPIs além da fiabilidade do equipamento e do desempenho do orçamento é para definir áreas responsáveis por tendências negativas (indicadores antecedentes). [34]

Tabela 2 - Principais indicadores de desempenho - adaptado [34]

Indicadores chave de desempenho	
<p>Fiabilidade/Manutenção</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTBF (<i>mean time between failures – tempo médio entre falhas</i>) – por total de operação e área e depois por equipamento; • MTTR (<i>mean time to repair – tempo médio de reparação</i>) – <i>manutenção de cada equipamento</i>; • MTBR (<i>mean time between repairs – tempo médio entre reparações</i>) - = MTBF – MTTR; • OEE (<i>overall equipment effectiveness – eficácia geral do equipamento</i>) – disponibilidade x eficiência (velocidade lenta) x Qualidade (tudo em percentagem). 	<p>Gestão de materiais</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nível de serviço de armazenagem (% stock esgotado) – vezes que uma pessoa vai levantar uma peça que está em stock e recebe-a porque a peça está disponível, dividido, pelo número de vezes que uma pessoa vai ao armazém levantar uma peça e ela não está disponível; • Precisão de stock como percentagem. <p>Formação de competências (o gestor deve promover formação para os trabalhadores de manutenção)</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTBF; • Uso de peças – baseado numa área específica de formação, como rolamentos;

<p>Manutenção preventiva (inclui manutenção preditiva)</p> <ul style="list-style-type: none"> • PPM = horas trabalhadas/horas trabalhas de emergência • PPM = WOs (work orders – ordens de trabalho) / CM (corrective maintenace – manutenção corretiva, trabalho planeado) ordens de trabalho resultam das inspeções de manutenção preventiva (PM). <p>Planeamento e agendamento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planeado/conformidade do agendamento – (todas as horas para o trabalho de manutenção de todo o trabalho devem ser cobertas e não por ordens de serviço gerais) esta é uma percentagem de todas as horas de trabalho programadas realmente concluídas dividido pelo total de horas de trabalho de manutenção; • Trabalho planeado – percentagem do total horal planeadas dividido pelo total de horas agendadas. 	<p>Supervisão da Manutenção</p> <ul style="list-style-type: none"> • Controlo de manutenção – percentagem das horas de trabalho não planeadas, dividido, pelo total de horas trabalhadas; • Eficiência da equipa - % das horas de trabalho agendadas completadas, dividido, pelo tempo estimado; • Ordem de trabalho - % de trabalhos feitos por uma ordem de trabalho. <p>Produtividade do processo de trabalho</p> <ul style="list-style-type: none"> • Custos de manutenção dividido por valor patrimonial líquido; • Custo total por unidade produzida; • Horas extra como % total de horas trabalhadas.
--	--

2.2. Indicadores-Chave de desempenho na Manutenção

O trabalho realizado pela Manutenção precisa suportar os objetivos de negócios e a estratégia operacional.

A maneira ideal de mostrar isso é ter um desempenho de manutenção claramente vinculado às razões pelas quais a sua empresa está no negócio. Na figura 2 é possível ver como os KPIs correspondem aos objetivos de negócios.

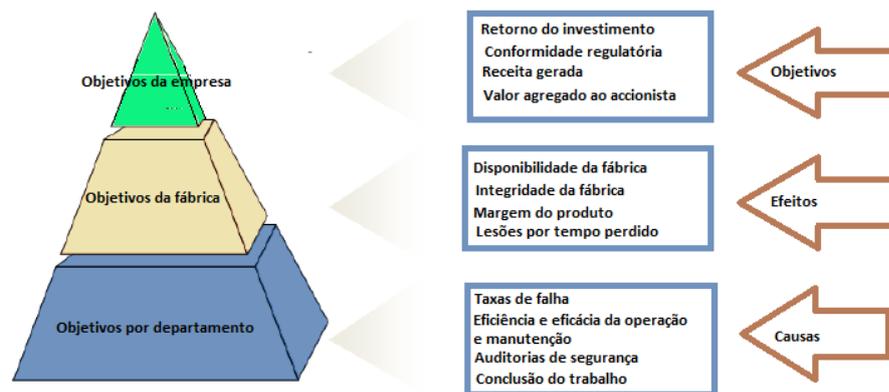


Figura 2 - Pirâmide de objetivos - adaptado [36]

Os tipos de KPIs da manutenção que são úteis para os negócios são aqueles que:

- ✓ Identifiquem a causa da falha do equipamento (meça a influencia dos fatores do ciclo de vida do equipamento);
- ✓ Direcionem a manutenção consoante o tempo e recursos (medir a eficácia e a eficiência do departamento da Manutenção);
- ✓ Identifiquem se a Manutenção está a remover as causas da falha (melhoria da fiabilidade e os resultados do esforço da manutenção);
- ✓ Direcionem os benefícios comerciais fornecidos pela Manutenção (meça a contribuição do valor comercial da Manutenção). [36]

Ao longo dos séculos, compreende-se que a manutenção bem-sucedida não é uma questão de consertar as coisas, mas sim não ter de consertar as coisas. Quando é bem feito, a manutenção oferece fiabilidade e riscos menores que fazem com que os custos investidos diminuam ano após ano.

O segredo não é concentrar-se em fazer manutenção, mas sim em criar fiabilidade e remover o risco operacional. A manutenção tem o dever de interromper os problemas iniciais e quando há problemas, é responsável por eliminá-los para que a fiabilidade e redução dos riscos sejam produzidos.

Os KPIs da Manutenção deverão ser usados nos seguintes fatores:

- ✓ Ordens de serviço de manutenção gastas na melhoria de equipamentos;
- ✓ Tempo de manutenção e esforço gasto na remoção de causas de falha;
- ✓ Tempo de manutenção e esforço na melhoria dos procedimentos de manutenção;
- ✓ Tempo de manutenção e esforço gasto na melhoria das habilidades/

conhecimentos do técnico de manutenção;

- ✓ Tempo de manutenção e esforço gastos na redução de problemas operacionais;
- ✓ Tempo gasto na remoção do esforço e custo desperdiçados nos processos de manutenção;
- ✓ Esforços para melhorar processos de gestão de stocks e fiabilidade de peças armazenadas;
- ✓ Ordens de serviço de manutenção gastas na melhoria da segurança. [36]

A manutenção eficiente é por um lado ter a menor equipa de manutenção, mas principalmente ter menos falhas de equipamento porque o equipamento é mantido adequadamente. Manutenção eficiente significa fazer um trabalho de alta qualidade logo pela primeira vez.

O equipamento falha porque a integridade da estrutura da peça entra em colapso devido a sobrecarga ou degradação. Existem seis causas principais de falha do equipamento mecânico: contaminação do lubrificante, desequilíbrio, desalinhamento, distorção do componente de trabalho, fixação incorreta e vibração induzida. Para equipamentos elétricos as seis principais causas são: a contaminação, vibração induzida, temperatura excessiva, humidade, distorção e estabilidade da fonte de alimentação. A estes problemas de manutenção chama-se *The Big 6* e devem ser removidos inicialmente pela Manutenção.

O comportamento da manutenção proactiva impede que o *The Big 6* aconteça, enquanto a manutenção reativa corrige-os depois de acontecerem. [36]

2.3. KPIs numa fábrica de produção de brita utilizando simulação dinâmica

Os relatórios da ISO 22400 apresentaram um conjunto de KPIs para avaliar o desempenho das operações de fabricação e processamento usando cinco elementos básicos de medições (ISO, 2014a, b, 2017, 2018). Os elementos básicos para um sistema de produção, conforme identificado pela norma ISO 22400, estão relacionados a medições planeadas e em tempo real, quantidades logísticas, números de qualidade, termos de manutenção e consumo de energia. Os elementos básicos podem ser capturados continuamente das operações de produção e processamento, que podem ser usados para calcular KPIs úteis em tempo real, para tomada de decisão em diferentes níveis dentro de uma organização, como operadores, gestores e gestão de operações de fábrica. [3]

Os elementos do tempo planeado representam o que é esperado do equipamento ou processo, enquanto os elementos em tempo real representam o que é realmente alcançado a partir do equipamento ou processo. Os elementos da medição planeada e em tempo real dependem do tipo de equipamento e processo em consideração. As definições fundamentais de medição de tempo são descritas na seção abaixo:

- Tempo de referência (RT): indica o tempo total pelo qual as operações estão a ser

observadas para os cálculos de KPI (por exemplo, uma hora, um dia, uma semana, um mês ou um ano).

- Tempo planeado de operação (POT): refere-se ao tempo em que um equipamento ou processo está planeado para ser operado. Isso indica as mudanças operacionais numa fábrica de produção contínua (por exemplo, 24 horas por 7 dias ou 8 horas em 5 dias da semana).

- Tempo sem processamento (NPT): baseia-se no agendamento em que o processo é encerrado (por exemplo, 1 dia por semana).

- Tempo ocupado planeado (PBT): refere-se ao tempo em que um equipamento ou processo é planeado para executar o processamento do produto. Isso é dado pelo tempo de operação planeado menos o tempo de inatividade planeado.

- Tempo de inatividade planeado (PDT): refere-se ao tempo para o trabalho de manutenção planeado a ser executado no equipamento. Isso também depende do agendamento da operação do processo e da estratégia de manutenção para um determinado processo. (por exemplo, paragem todas as sextas-feiras para verificações regulares de manutenção).

- Tempo real de equipamento ocupado (AEBT): indica o tempo real em que um equipamento está disponível para ser usado na operação de processo.

- Tempo real de inatividade do equipamento (AEDT): refere-se ao tempo real em que o equipamento não está disponível devido a manutenção não programada, falha etc. Isso também inclui o tempo de recalibração, que é realizado para compensar o efeito do desgaste no equipamento.

- Tempo real de processamento (APT): Este tempo indica o tempo real em que o equipamento está a trabalhar e a executar a operação de processamento dentro da especificação mínima do equipamento. Isto indica a atividade de agregação de valor do equipamento.

- Tempo real sem processamento do equipamento (AENPT): refere-se ao tempo real em que o equipamento não está a executar uma operação de processamento com a especificação desejada, embora esteja disponível. Este indica a dependência do equipamento no processo, como atraso tempo, espera e dependências do sistema de controlo. [3]

A relação de elementos temporais acima definida pode ser dada pelo conjunto de equações:

$$POT = RT - NPT \quad (6)$$

$$PBT = POT - PDT \quad (7)$$

$$AEBT = PBT - AEDT \quad (8)$$

$$APT = AEBT - AENPT \quad (9)$$

Uma breve lista de atividades que contribuem para o tempo de processamento real (APT) para o equipamento considerado é apresentada na figura 3. Cada equipamento está associado a diferentes funcionalidades e, conseqüentemente, a manutenção, a falha e os atrasos no

equipamento são diferentes. [3]

Equipamento	PDT	AEDT	AENPT
<p>Parafuso sem fim Função: transportar o produto do ponto A para o B.</p>	<p>Rotina de manutenção</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificação de corrosão e desgaste; - Verificação do sistema do motor; - Calibração da máquina 	<p>Manutenção não programada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Motor partido; - Rasgo na correia; - Veio partido; - Recalibração da máquina; - Alarme do detetor de metal; 	<p>Efeitos processuais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Paragem do fornecimento de matéria-prima devido a falha do equipamento dependente anterior; - Corte da expedição de material devido a falha do equipamento dependente subsequente; - Configuração do sistema de controlo entre 2 ou mais equipamentos; - Material processado acima da especificação requerida pelo equipamento; - Exceder a capacidade do silo, ou o silo estar vazio.
<p>Triturador Função: reduzir o material a um tamanho determinado</p>	<p>Rotina de manutenção</p> <ul style="list-style-type: none"> - Substituir o revestimento; - Substituição da cobertura protetora; - Estado da máquina; - Lubrificação; - Verificação do motor; - Calibração Periódica; 	<p>Manutenção não programada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reabastecer óleo; - Falha repentina, eixo partido, proteção partida; - Recalibração; <p>Paragem não programada:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pressão elevada; - Remoção de objeto estranho. 	
<p>Tela Função: Separar os vários tamanhos</p>	<p>Rotina de manutenção</p> <ul style="list-style-type: none"> - Substituição do deck da tela; - Verificação do sistema do motor; - Verificação da máquina; 	<p>Manutenção não programada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tela partida; - Desgaste excessivo; - Motor desalinhado; - Tecido da tela danificado. 	
<p>Silo Função: armazenar o material como buffer</p>	<p>Rotina de manutenção</p> <ul style="list-style-type: none"> - Problemas de segregação; 	<p>Manutenção não programada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transbordo do material; - Material pastoso. 	

Figura 3 - Lista de atividades que contribuem para o tempo de processamento real (APT) - adaptado [3]

Os KPIs que usam as medidas do elemento de tempo são descritos abaixo:

- Utilização de equipamentos (UE):

A utilização do equipamento (UE) de um equipamento é dada pela razão entre o tempo real de processamento (APTE) e o tempo real ocupado do equipamento (AEBTE). É expresso como uma percentagem (0–100%). Melhorias na utilização do equipamento resultarão na sincronização dos equipamentos envolvidos no processo.

- Disponibilidade de equipamento (EA):

A disponibilidade do equipamento (EA) de um equipamento é fornecida pela razão entre o tempo real de processamento (APTE) e o tempo ocupado planeado (PBTE). É expresso como uma percentagem (0–100%). O valor indica quando um equipamento é realmente usado para processamento. Espera-se que a melhoria na disponibilidade de equipamentos aumente, melhorando o trabalho de manutenção e reduzindo os efeitos do processo.

- Disponibilidade de processo (PA)

A definição de disponibilidade do equipamento também pode ser estendida para medir a disponibilidade do processo (PA). É fornecido pela razão entre o tempo de processamento real (AFTP) e o tempo ocupado planeado (PBTP) de um processo. A medida de disponibilidade do processo visa destacar as interdependências de vários subprocessos envolvidos em uma produção.

- Medição logística e de qualidade

Os elementos logísticos e de medição da qualidade são indicadores da quantidade de produtos produzidos e da qualidade dessa quantidade. [3]

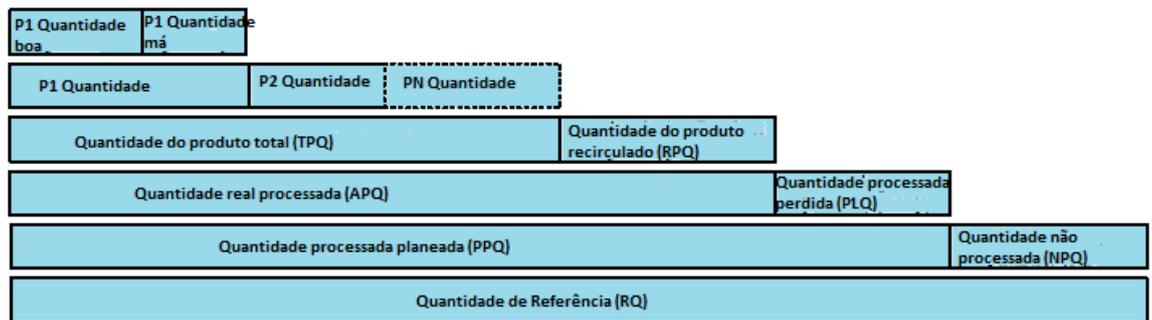


Figura 4 – Medidas logísticas e de qualidade no processo de produção de brita - adaptado [3]

A Figura 4 representada, apresenta uma breve visão geral das medidas logísticas e de qualidade descritas abaixo:

- Quantidade de referência (RQ): este valor refere-se à quantidade máxima de processamento definida ou instalada (especificação do fabricante) de um equipamento ou processo por um determinado período.

- Quantidade de processamento planeada (PPQ): este valor refere-se à quantidade de processamento de material pretendida por um equipamento ou processo por um determinado período. Isso é definido pela estratégia operacional de uma fábrica.

Este valor pode ser derivado com base no valor instalado ou pelo desempenho histórico do equipamento.

- Quantidade sem processamento (NPQ): a quantidade sem processamento é definida como a diferença entre a quantidade de processamento instalada do equipamento e a quantidade de processamento planeada do equipamento para um determinado período.

- Quantidade de perda de processamento (PLQ): é a quantidade de perda de quantidade de processamento de material devido ao desgaste do equipamento, tempo de inatividade inesperado, quebra do equipamento, configuração incorreta do circuito etc.

- Quantidade real de processamento (APQ): é a quantidade de material realmente processado pelo equipamento durante a atividade de agregação de valor por um determinado período. É fornecida pela quantidade de processamento planeada menos a quantidade de perda de processamento.

- Quantidade total do produto (TPQ): refere-se à soma da quantidade total desejada de

produto produzido durante a operação de processamento de um equipamento ou processo por um determinado período. O produto total pode consistir no número N de produtos, dependendo da função do equipamento e do processo.

Os KPI's associados à medição logística e de qualidade são combinados com os elementos temporais para calcular as entidades que tomam decisões. [3]

- Taxa de transferência (TR):

É a razão entre a quantidade do material processado e o tempo de processamento. É definido em termos de quantidade por unidade de tempo (por exemplo, toneladas / hora). Na indústria, o termo capacidade é alternadamente usado para taxa de transferência e é uma maneira fundamental para calcular a produção do processo.

- Taxa de produtividade planeada (PTR): é a proporção entre a quantidade de processamento planeada (PPQ) e o tempo ocupado planeado (PBT) de um equipamento ou processo. Unidade de medida: toneladas por hora.

- Taxa de transferência real (ATR): é a razão entre a quantidade real de processamento (APQ) e o tempo ocupado (PBT) do equipamento. Unidade de medida: toneladas por hora.

- Eficácia do equipamento (EE)

Representa a relação entre a taxa de transferência real e a taxa de transferência planeada. É expresso como uma percentagem (0–100%). Representa a eficácia do funcionamento de um equipamento para atender aos requisitos de produção planeados. Espera-se que a eficácia do equipamento aumente, melhorando a disponibilidade do equipamento juntamente com a operação do equipamento nas configurações apropriadas. A operação do equipamento precisa de ajustes regulares e cronograma de manutenção, dependendo do desgaste do equipamento à medida que processa o material.

- Eficácia do processo (PE)

A definição de eficácia também pode ser estendida para medir a eficácia do processo (PE) para comparar o desempenho de dois ou mais subprocessos. É dado pela razão entre as taxas de transferência reais e as taxas de transferência planeada. É expresso como uma percentagem (0–100%).

- Rendimento do produto

É definida como a razão entre a quantidade do produto desejado e a quantidade total do produto produzido, calculada com base na taxa de transferência (TR). É expresso como uma percentagem (0–100%).

- Relação de qualidade (QR)

A taxa de qualidade é a relação entre as somas da taxa de transferência de um bom

produto e a taxa de transferência da quantidade total de produto de uma peça de equipamento específico. Isso está particularmente relacionado ao desempenho do equipamento para alcançar a sua funcionalidade. É expresso como uma percentagem (0–100%) e é desejado maximizá-lo. As configurações operacionais incorretas e desgaste do equipamento são os principais contribuintes para a diminuição da taxa de qualidade. [3]

Os KPIs desenvolvidos são implementados numa plataforma de simulação dinâmica, MATLAB/Simulink. A simulação dinâmica captura o desempenho em tempo real com um alto grau de conformidade, que pode ser útil para aprimoramentos, diagnóstico e otimização de processos com o uso de KPIs. O uso dos KPIs é um processo interativo e o aprendizado com a experiência é a chave para uma implementação duradoura.

Além disso, a medição de toda a saída do processo às vezes é económica ou tecnicamente inviável quando o processo simulado pode ser de uso potencial. É necessário o uso gratuito de modelos de simulação e dados em tempo real para tomar decisões úteis. [3]

2.4. Indicadores-chave de desempenho para avaliação sustentável da produção no setor de petróleo e gás

Os indicadores mais usados para avaliação da produção sustentável na indústria de petróleo são encaminhados ao Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD). Neste estudo, os KPIs da “*Triple Bottom Line*” (TBL) foram identificados com base nas diretrizes da *Global Reporting Initiative GRI G3* (Lançado em 2006) e nas melhores práticas de empresas de petróleo.

A metodologia possui três estágios principais. Primeiro, os KPIs iniciais para avaliação da produção sustentável foram identificados e derivados da literatura. Segundo, os KPIs iniciais foram validados para as práticas do setor. Por fim, foi desenvolvida uma avaliação do desempenho da produção sustentável com base nos KPIs, utilizando a metodologia *Analytic Hierarchy Process (AHP)*. [10]

Tabela 3 - KPIs [10]

Fatores	Indicadores
Económico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lucro líquido; 2. Crescimento da receita 3. Retorno sobre ativos; 4. Relação lucro/receita; 5. Redução de custos; 6. Adesão ao plano de produção %; 7. Melhoria do desempenho de entrega;
Meio Ambiente	<ol style="list-style-type: none"> 8. Gases de efeito de estufa; 9. Queima de gás;

	10. Consumo de água; 11. Derrames de óleo; 12. Redução de resíduos:
Social	13. Taxa da frequência de lesões; 14. Investimento social; 15. Aquisição local e desenvolvimento de fornecedores; 16. Prevenir a corrupção; 17. Diversidade e inclusão dos trabalhadores; 18. Compromisso com os trabalhadores; 19. Formação e desenvolvimento dos trabalhadores.

Os KPIs iniciais foram validados por uma pesquisa da indústria realizada para uma grande empresa petrolífera, escolhida devido ao seu nível atual de compromissos ambientais, pela participação no mercado de 40% na indústria petrolífera da Líbia e as oito áreas de operação com um total de funcionários acima de 6000, dedica-se à exploração, produção e refino de petróleo bruto e gás natural (totalmente integrado).

Um modelo de avaliação para o desempenho sustentável da produção na indústria de petróleo foi desenvolvido com base nos KPIs identificados. A metodologia do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi aplicada no desenvolvimento do modelo que consiste em construir a hierarquia, ponderar os KPIs, classificar os KPIs, calcular as pontuações das empresas e classificar as empresas. [10]

O método *Analytical Hierarchy Process* (AHP) é aplicado para priorizar os indicadores de desempenho, resumindo as opiniões de especialistas. Espera-se que os KPIs propostos permitam e ajudem este setor a alcançar um desempenho mais alto na produção sustentável e garantir a sustentabilidade dos negócios. [10]

O processo de hierarquia analítica (AHP) tornou-se um dos métodos mais amplamente utilizados para problemas de tomada de decisão com vários critérios (MCDM). É uma abordagem de decisão projetada para ajudar na solução de problemas complexos de múltiplos critérios para vários domínios de aplicação. A metodologia AHP tem vários benefícios. Primeiro, ajuda a decompor um problema não estruturado numa hierarquia de decisão racional. Segundo, pode obter mais informações de especialistas ou tomadores de decisão, empregando a comparação aos pares de grupos individuais de elementos. Terceiro, define os cálculos para atribuir pesos aos elementos. Quarto, usa a medida de consistência para validar a consistência da classificação dos especialistas e tomadores de decisão. As etapas a seguir mostram o desenvolvimento de um modelo baseado em AHP para avaliação do desempenho da produção sustentável na indústria de petróleo. [10]

- Construir a hierarquia

Os KPIs identificados para avaliação da produção sustentável na indústria do petróleo são usados na construção de uma hierarquia. Os três grupos foram definidos e construídos na hierarquia, incluindo meta, fatores e indicadores. Na hierarquia, avaliar o desempenho da produção sustentável da indústria de petróleo é o objetivo. O próximo nível consiste em fatores ambientais, económicos e sociais da TBL. O terceiro nível consiste nos indicadores que descrevem cada fator com um total de catorze. A hierarquia é mostrada na Fig.5.

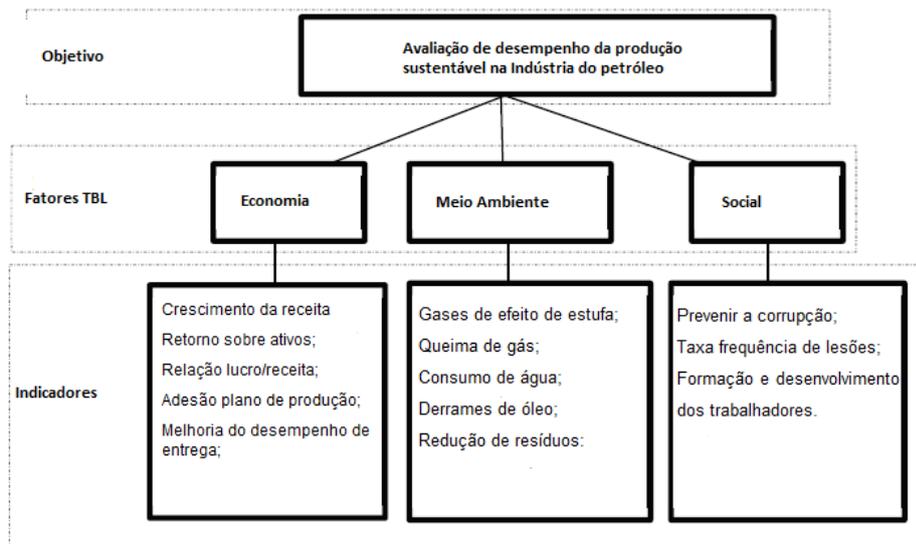


Figura 5 – Hierarquia - adaptado [10]

- Ponderar os KPIs

Depois que a hierarquia foi construída, o peso da importância dos KPIs deve ser calculado. Um questionário de comparação por pares foi então elaborado. Foram consultados cinco gestores seniores da companhia de petróleo para dar as suas preferências aos KPIs. Os gestores foram cuidadosamente selecionados com base na sua experiência na indústria do petróleo. As comparações aos pares foram determinadas entre fatores e indicadores em cada fator dos KPIs. Uma escala de 1 a 9 (1 = igualmente, 3 = moderada, 5 = forte, 7 = muito forte, 9 = extrema) foi usada para refletir essas preferências. [10]

Tabela 4 - Importância dos KPIs - adaptado [10]

Fatores	Peso	Indicadores	Peso
Económico	0.4569	1. Crescimento da receita;	0.0869
		2. Retorno sobre ativos;	0.0758
		3. Relação lucro/receita;	0.0982
		4. Redução de custos;	0.0605
		5. Adesão ao plano de produção %;	0.0692
		6. Melhoria do desempenho de entrega;	0.0663
Meio Ambiente	0.2894	7. Gases de efeito de estufa;	0.0667
		8. Queima de gás;	0.0878
		9. Derrames de óleo;	0.0794
		10. Redução de resíduos;	0.0201
		11. Consumo de água;	0.0354

Social	0.2537	12. Prevenir a corrupção;	0.0874
		13. Taxa da frequência de lesões;	0.0865
		14. Formação e desenvolvimento dos trabalhadores.	0.0798

A Tabela 4 apresenta um resumo do resultado da importância dos KPIs da avaliação da produção sustentável na indústria do petróleo. Os pesos de importância mostram o valor de importância de um indicador em detrimento de outro indicador. Em termos de fatores, económico é o peso de maior importância com um valor de 0,4569. O lucro líquido (0,0982) é considerado o maior indicador importante de fator económico. Em relação ao fator ambiental, o gás queimado, é o indicador mais importante, com um valor de 0,0878 sobre outro. Prevenir a corrupção (0,0874) é considerado um indicador muito mais importante do que outro em termos de fator social. [10]

- Classificando os KPIs

Uma escala de escala de 1 a 7 é usada neste estudo para avaliar o desempenho de cada um dos KPIs, onde: 1 = muito mau; 2 = pouco pobre; 3 = humilde e justo; 4 = altamente justo; 5 = humilde bom; 6 = muito bom; 7 = excelente

- Calcular as pontuações da empresa

Os valores gerados a partir da classificação de desempenho são combinados com os pesos de importância correspondentes dos KPIs para obter as pontuações da empresa. A pontuação da empresa é calculada para a pontuação geral e também para a pontuação individual de cada fator. A pontuação geral e a pontuação individual de cada fator das empresas são classificadas em quatro níveis de desempenho, com base nas seguintes regras:

- ✓ Se $1 \leq \text{pontuação} \leq 3$, o nível de desempenho é baixo
- ✓ Se $3 < \text{scores} \leq 5$, o nível de desempenho é justo
- ✓ Se $5 < \text{scores} \leq 7$, o nível de desempenho é bom
- ✓ Se $\text{pontuação} > 7$, o nível de desempenho é excelente. [10]

A pontuação geral e a pontuação individual do fator das empresas avaliadas são classificadas em ordem decrescente. A empresa com a pontuação mais alta pode ser considerada como atingindo as melhores práticas.

Foi solicitado aos gestores de produção que avaliassem as três instalações de petróleo usando a escala de 1 a 7 nos KPIs de avaliação de produção sustentável. Os valores da classificação são usados para calcular a pontuação da empresa que consiste na pontuação geral e nas pontuações individuais de cada fator. A pontuação geral e a pontuação individual de cada fator das empresas comparadas são apresentadas num resultado final. [10]

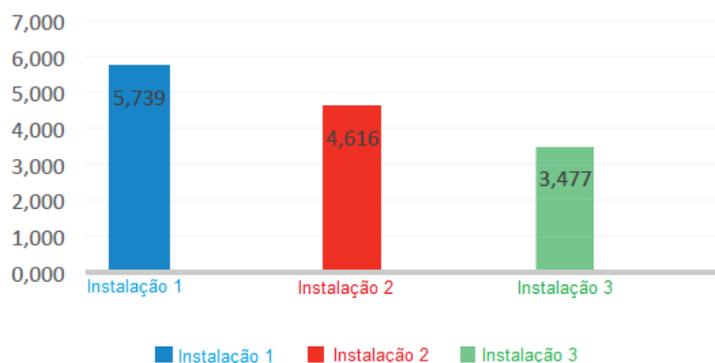


Figura 6 – Pontuação das empresas – adaptado [10]

Pode-se observar que a instalação 1 alcançou a maior pontuação geral com um nível de desempenho bom. Por outro lado, a instalação 3 tem a pontuação geral mais baixa com um nível de desempenho mau. Para fornecer um detalhe da pontuação geral, as pontuações individuais também são calculadas para cada fator de KPIs, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Performance para cada instalação - adaptado [10]

	Nível de Desempenho (pontuação individual)			
	Económico	Meio Ambiente	Social	Pontuação Geral
Instalação 1	6.872 (Bom)	4.321 (Suficiente)	6.025 (Bom)	5.739 (Bom)
Instalação 2	5.765 (Bom)	5.995 (Bom)	2.087 (Frac)	4.616 (Suficiente)
Instalação 3	4.405 (Suficiente)	2.161 (Frac)	3.865 (Suficiente)	3.477 (Suficiente)

A classificação e o nível de desempenho dos campos obtidos são bastante variados. A instalação 1 tem a classificação mais alta para todos os fatores com pontuação (5,739).

A instalação 2 possui pontuação individual do fator ambiental maior que a instalação 1. Pode-se concluir que a instalação com a menor pontuação geral pode não ser o pior em todos os fatores. Para tomar uma decisão de qualidade, estes fatores precisam ser vistos em detalhe para determinar os indicadores de desempenho da empresa ao avaliar a produção sustentável. [10]

2.5. Indicadores-chave de desempenho para operação e manutenção de parques eólicos

Um indicador chave de desempenho (KPI) é "uma métrica, que mede o quão bem uma organização ou um indivíduo executa uma atividade operacional, tática ou estratégica que é crítica para o sucesso atual e futuro da organização".

Com base no objetivo de definir KPIs para a Operação e Manutenção (O&M) de um Parque Eólico (WF), realizou-se a análise dos KPIs em cinco etapas principais. Utilizou-se a bem estabelecida técnica de brainstorming, que também é aplicada em outros campos.

Os KPIs devem responder à pergunta: quais as informações que devem ser monitorizadas pelas diferentes partes interessadas durante a fase de O&M de um WF? [12]

Várias partes interessadas estão envolvidas na O&M de um projeto de energia eólica. As decisões estratégicas baseiam-se nas informações que eles têm sobre o status atual do ativo operacional, referindo-se a diferentes aspetos, ou seja, aspetos regulatórios, económicos, técnicos e de segurança. As diferentes partes interessadas são identificadas e apresentadas, juntamente com suas principais necessidades de informação:

- Operador de Parque Eólico:

A operação fornece informações sobre a produção de energia, a eficiência, as perdas e as operações de produção.

- O Investidor:

Eles estão interessados principalmente nos aspetos económicos e financeiros do desenvolvimento do projeto de energia, incluindo informações sobre produção, eficiência, expectativas futuras, custos, dívidas, lucros e valor atual do conjunto.

- A Manutenção:

Os serviços de manutenção são geralmente enviados para um prestador de serviços de manutenção (MSP), que é o fabricante original de equipamentos.

- O Seguro:

As companhias de seguros prestam serviços para cobrir os custos de vários incidentes que podem durar a fase operacional do parque eólico. Estes podem incluir danos nas instalações e equipamentos associados a tempestades, roubos, ações criminosas ou incêndios, custos de comparação de peças, perda de receita, danos e outros danos a terceiros.

- Operador de rede e utilidade:

De acordo com os códigos da Europa, toda a energia produzida a partir do vento deve ser comprada por empresas elétricas, ou seja, uma concessionária. Esta parte interessada está interessada na produção de energia do parque eólico, nas expectativas futuras de produção e no preço da eletricidade. [12]

O público espera proteção do meio ambiente e interferência mínima da unidade nas comunidades vivas adjacentes. Finalmente, os utilizadores esperam preços competitivos de energia em comparação com outras fontes.

As cinco categorias, bem como os requisitos correspondentes, são mostradas na Figura 7.

Desempenho	Fiabilidade	Manutenção	Finanças	Segurança
Eficiência	Histórico de falhas	Custo do componente	Custo do componente	Problemas ambientais
Expectativas futuras	Fadiga	Histórico de falhas	Valor atual do ativo	Saúde e segurança
Produção	Estado de saúde	Logística	Dívidas e lucros	Indicadores de segurança
Perdas da Produção	Cargas	Horas de manutenção	Preço da eletricidade	
	Tempo de vida	Restrições de manutenção	Riscos e seguros	
			Subsídios	
			Custo desnecessário	

Figura 7 – Categorias e requisitos correspondentes. [12]

Para cada categoria definida realizou-se uma extensa revisão dos indicadores utilizados. As métricas identificadas são discutidas e depois avaliadas em relação às propriedades definidas.

- **Desempenho:**

Um dos interesses mais importantes do operador é o desempenho do ativo. A palavra desempenho é muito ampla e pode abranger muitos aspetos da operação, desde a produção anual de energia (AEP) até a receita gerada. Os indicadores devem responder à seguinte pergunta: o parque eólico está a produzir tanta energia quanto poderia?

Os indicadores utilizados nesta categoria são:

- **Índice de energia / vento**

Baseia-se na produção de várias estações de referência em uma ampla área geográfica. Estabelece um período estatisticamente "normal" do conteúdo anual de energia eólica, expresso em %, para que o operador possa distinguir entre o baixo desempenho da unidade e a força do vento abaixo dos níveis esperados; permite comparar a produção do parque eólico com o recurso eólico disponível. Embora preencha muitas das propriedades mencionadas na figura 7, ele não fornece ao operador informações suficientes para que decisões possam ser baseadas exclusivamente no índice.

- **Fator de capacidade**

Definida como a energia gerada durante um período de tempo dividido pela potência nominal da WF multiplicada pelo número de horas no mesmo período. Como o denominador é constante, ele não representa a produção energética teórica de acordo com as condições de vento do local. Embora seja um indicador útil para garantir a viabilidade do projeto e etapas de desenvolvimento, não é um indicador eficaz para avaliar a eficiência operacional da WF.

- **Desvio P₅₀**

Durante o processo de avaliação do vento, o desvio P₅₀ do rendimento de energia gera um nível da AEP que é esperado que exceda 50%.

Atualmente, muitos operadores observam a redução da AEP real a partir do P₅₀ calculado, principalmente quando estão á procura de desvios do orçamento planeado. Além disso, não existe um procedimento padrão para obter esta configuração.

- **Disponibilidade baseada no tempo**

Definido como o tempo acumulado em que a WT operacional está dividido pelo período total de tempo. Este indicador é específico e o valor observado é claramente definido, portanto, está operacional, mensurável e fácil de entender.

- Disponibilidade baseada em energia

A definição da produção energética e da energia efetiva disponível. É um indicador mais objetivo para comparação entre diferentes ativos, mas difícil de implementar. Embora exista uma quantidade muito grande de energia produzida durante um certo período, é difícil definir definitivamente a energia disponível real durante esse período. [12]

- **Fiabilidade:**

A fiabilidade pode ser definida como uma capacidade de desempenho adequado, sem falhas, durante as condições especificadas do local de vento durante uma vida útil (definida até pelo menos 20 anos) ou numa janela específica do tempo. Os indicadores devem responder à seguinte questão: com que frequência existem falhas na instalação? E que paragens do WT estão associadas a qual falha?

Os indicadores para esta categoria são:

- Tempo médio entre falhas (MTBF) e falha de segurança

O MTBF é o total de horas operacionais divididas pelo número de falhas para um componente específico do parque eólico. O MTBF é usado com frequência para garantir a disponibilidade, assim como seu valor recíproco, o valor da garantia. Ambos os indicadores satisfazem a maioria das propriedades identificadas dos KPIs.

- Tempo médio de reparação (MTTR) e taxa de reparação

Este indicador pode ser avaliado dividindo o tempo total de reparação por mais de um número de falhas.

- Tempo médio para a falha (MTTF)

O MTTF é semelhante ao MTBF, mas é usado para garantir a disponibilidade dos sistemas não reparáveis. Não reparáveis refere-se a sistemas que são substituídos após uma falha porque não há ação de manutenção possível que possa fazê-los funcionar devidamente. [12]

- **Disponibilidade:**

A disponibilidade baseada em tempo é a quantidade de tempo que um sistema ou componente está disponível para uso dividido pela quantidade total de tempo no período de operação. A partir das métricas anteriores, pode ser definida como a razão entre o MTTF e a soma do MTTF e do MTTR. A disponibilidade está mais relacionada à produção de energia. [12]

- **Manutenção:**

As atividades de manutenção são cruciais para manter um sistema em boas condições. No geral, estas atividades podem ser divididas em ações corretivas e preventivas, incluindo manutenção com base no tempo e na oportunidade. Enquanto manutenção preventiva pretende evitar falhas, ações corretivas são implementadas quando um componente já falhou.

Os indicadores de manutenção avaliam a qualidade da manutenção, em termos de tempo consumido por diferentes intervenções e custos relacionados. [12]

Os indicadores aplicados a esta categoria são:

- Tempo de resposta

Definido como o tempo entre a ocorrência de falhas e a intervenção de manutenção.

Como muitas vezes é difícil detetar a hora de início da falha, ela pode ser redefinida como o tempo entre deteção e intervenção de falhas. Este novo indicador é então específico e mensurável.

- Número de intervenções

Uma intervenção é o trabalho de campo realizado para manter um parque eólico em boas condições e implica um deslocamento da equipa técnica de manutenção.

- Manutenção corretiva

Definido como a razão entre as intervenções puramente corretivas e o número total de intervenções.

- Cumprimento do cronograma

É definida como a razão entre as tarefas de manutenção agendadas concluídas no prazo e o número total de tarefas.

- Trabalhos extraordinários

Definida como a proporção entre as horas de trabalho ao longo do tempo e as horas de trabalho planeadas.

- Tempo total de operação [12]

- **Finanças:**

O status financeiro deste projeto de energia é uma preocupação geral durante todo o seu tempo. Os KPIs financeiros são fundamentais para a formatação de um conjunto de estatísticas ou para comparar diferentes opções de investimento.

Os indicadores afetados a esta categoria são:

- Despesas operacionais (OPEX)

O OPEX inclui o funcionamento do site, e manutenção programada.

- Índice de cobertura da vida útil do empréstimo

Definida como a razão entre o Valor Presente Líquido (VPL) e o valor da dívida, informa sobre o pagamento dos empréstimos.

- Índice de Cobertura de Serviço da Dívida (DSCR)

O DSCR é a razão entre o montante disponível para pagamento da dívida e a soma dos juros, principais e de arrendamento. É um KPI financeiro aceite na indústria para medir a capacidade de uma entidade equilibrar os pagamentos de dívida com dinheiro produzido.

- Fluxo de caixa livre para patrimônio líquido (FCFE)

O FCFE é uma medida de quanto dinheiro pode ser pago aos acionistas de uma empresa após pagamento de todas as despesas, reinvestimentos e dívidas.

- Custo nivelado de energia (LCOE) [12]

- Segurança:

. Os indicadores de segurança ajudam a monitorizar a segurança do sistema e dos trabalhadores. [12]

2.6. Sistema de simulação e gestão focado em KPIs para projeto ecoeficiente de sistemas de produção intensivos em energia

Um sistema de software refere-se ao sistema de simulação e gestão focado em KPI desenvolvido como um sistema integrado de módulos de software específicos. O primeiro módulo é o modelo de processo de produção e o sistema de simulação chamado KPI-PMS. As principais funcionalidades são configuração de cenário, simulação de produção e avaliação de resultados com foco em dados de processo relacionados à energia e valores de KPI. O segundo módulo é o painel móvel do KPI dinâmico chamado KPI-MDB. [31]

Os objetivos dos sistemas de simulação em produção são a melhoria dos processos de fabricação e a análise inicial do sistema de produção modelado.

Um KPI-MDB dinâmico foi desenvolvido para garantir adaptações rápidas pelas funções de arrastar e soltar. O KPI-MDB usa informações agregadas de fontes de dados de um sistema de simulação ou de um objeto de produção e apresenta os dados do KPI em uma interface de usuário flexível, apresentando uma maneira intuitiva de uso, bem como uma variedade de composições de KPI. [31]

Um sistema de produção é definido como um sistema para a fabricação de matérias-primas, peças ou componentes para acabamento de mercadorias. O sistema consiste em campos organizacionais, estruturais e de pessoal, bem como no processo de produção e nos recursos associados.

Para o processo de produção, é necessário fornecer espaço, energia e informação. O processo de produção pode ser dividido principalmente em produção, montagem, logística, manutenção e qualidade. No processo de produção, estão envolvidos equipamentos como ferramentas, instalações de medição, armazenamento e transporte, etc. [31]

Modelo de Processo de Produção e Sistema de Simulação (KPI-PMS):

A arquitetura do KPI-PMS é baseada no sistema de produção modelado que lida com processos de produção definidos e com os limites do sistema. Assim, os processos a montante e a jusante (por exemplo, fornecimento de material, peças e produtos ou armazenamento) serão considerados apenas se eles influenciarem o processo de produção e a sua ecoeficiência. [31]

A atual abordagem de modelação KPI-PMS é desenvolvida como uma arquitetura de três níveis. No nível superior, o sistema de produção e seu layout são configurados e projetados.

Cada objeto de produção possui parâmetros designados e um conjunto de configurações

definido. Os objetos de produção são conectados com os seus sucessores e predecessores correspondentes por meio de interfaces de conexão. No segundo nível, as representações de objetos de produção configuradas consistem numa exibição detalhada dos parâmetros de produção com os principais processos e variáveis de material, emissões, custos, bem como dispositivos de instrumentação disponíveis e dados do sensor. Os elementos, funções e métodos de modelo programados são integrados no terceiro nível da arquitetura. [31]

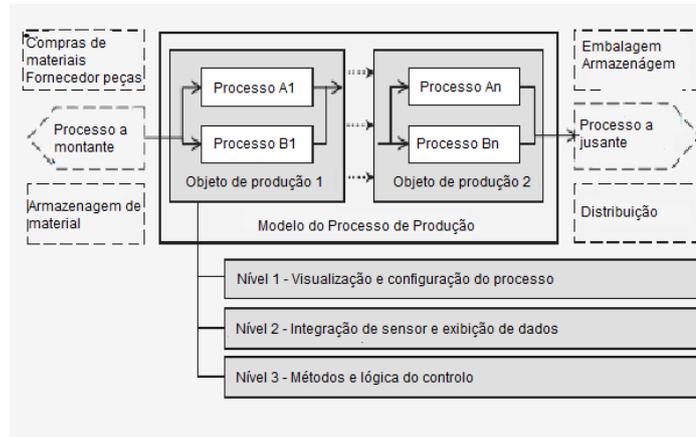


Figura 8 - Modelação KPI-PMS - adaptado [31]

O KPI-PMS desenvolvido permite a simulação de processos, objetos ou sistemas de produção, com foco na avaliação de KPI e no consumo de energia. Os KPIs definidos são as variáveis de decisão dos cenários de produção configuráveis e podem ser combinados com valores de KPI de fábrica convencionais ou existentes. Os principais KPIs dos cenários de produção atualmente integrados são:

- KPIs económicos, como custos específicos de energia (custos de combustível ou eletricidade), despesas com material, custos de manutenção e reparo, custo total de propriedade;
- KPIs ambientais, como dados de emissão (emissão de CO₂) e parcela de energia de fontes renováveis ou fósseis;
- KPIs operacionais, como dados de consumo de energia e material.

Quaisquer outros dados KPI definidos ou revisados podem ser suportados e integrados. Após a simulação e a visualização do processo de produção, os diferentes cenários são comparados e a configuração ideal do projeto eco eficiente pode ser identificada. [31]

Painel móvel dinâmico de KPI (KPI-MDB):

O outro pilar principal do novo KPI-SMS é o KPI-MDB.

Este aplicativo foi projetado para integrar os resultados da simulação específicos do cenário, bem como os valores de instrumentação e medição definidos. O design da interface humana e o uso intuitivo do aplicativo permitem ao usuário alterações rápidas e adaptações flexíveis da interface para análises de KPI e as suas possíveis correlações entre sistemas dependentes e objetos de produção. Considerando quatro fases do ciclo de vida do processo

de produção, ou seja, planeamento de investimento, engenharia, aceleração e otimização da produção. [31]

Em suma, o KPI-SMS permite modelar, simular e otimizar tudo, desde objetos e processos de produção até todo o sistema de produção. Os principais benefícios do KPI-SMS são:

- Suporte aprimorado à otimização do processo e ao planeamento da produção ao longo do ciclo de vida da fábrica, com foco nos valores-alvo KPI eco eficientes;
- Configuração avançada de cenários e funcionalidades de comparação para avaliar o design de produção ideal;
- Análise orientada a KPI personalizável, composição e conexões de KPI, fusão e configurações de gráficos com base em fórmulas e destinos de KPI.
- As correlações entre sistemas dependentes ou objetos de produção são exploráveis, resultando numa compreensão mais profunda de sistemas complexos;
- Rápida integração de novas tecnologias, trabalhando simultaneamente durante a fase de desenvolvimento e operação com base em dados reais e simulados. [31]

2.7. Principais indicadores de desempenho para a gestão de operações de produção

A norma ISO 22400, “Sistemas de automação e integração - indicadores chave de desempenho (KPIs) para gestão de operações de produção” fornece uma visão geral dos conceitos, terminologia e métodos para descrever KPIs com o objetivo de gerir as operações de produção. Para avaliar o desempenho das operações de produção, um total de 34 KPIs são apresentados na - ISO 22400-2: 2014. Nas normas, os KPIs são descritos com base em fórmulas, elementos correspondentes, unidade de medida, tempo e outras características. A ISO 22400 visa definir as medidas mais importantes e geralmente usadas para a indústria de transformação e, portanto, é reconhecida pelo seu potencial na contribuição da gestão de operações de produção. [40]

Apesar dos esforços para tornar os padrões geralmente aplicáveis a todas as indústrias de produção, ela parece ser projetada principalmente para avaliar o desempenho da indústria discreta e, portanto, apenas parcialmente útil para a indústria de processos. De fato, existe uma lacuna entre a pesquisa ISO 22400 e as necessidades industriais na indústria de processos, e alguns KPIs definidos não podem fornecer informações úteis ou mesmo não podem ser utilizados para processos contínuos.

Levando em consideração as características da indústria de processos, melhorias e correções desses 34 KPIs na ISO 22400 devem ser feitas para avaliar o desempenho de maneira adequada e precisa. [40]

Para entender melhor como os KPIs da norma ISO 22400 se relacionam com a indústria de processos, foi realizada uma pesquisa numa empresa da indústria de processos químicos na Suécia. De acordo com a pesquisa, existem dez KPIs definidos na ISO 22400 com alta relevância: taxa de alocação, taxa de transferência, eficiência de utilização, taxa de qualidade, taxa de instalação, relação de sucata, relação de queda, índice de capacidade da máquina, relação de produtos acabados e relação de carga de equipamentos e todos eles estão relacionados às perspectivas de produção, qualidade e energia.

Ao mesmo tempo, várias ou todas as unidades tendem a estar ativas o tempo todo durante um ciclo de produção, o que dificulta a análise do processo e a determinação da quantidade de matéria-prima usada para produzir uma quantidade específica do produto. Embora possa ser verdade para alguns casos no setor discreto, é uma ocorrência mais comum no setor de processos. Além disso, a definição e a medida da qualidade na indústria de processos podem ser tipicamente diferentes daquelas da indústria discreta. As lacunas entre a norma ISO 22400 e as necessidades industriais de processo são apresentadas na Figura 9.

Portanto, alguns dos KPIs definidos na ISO 22400 devem ser redefinidos para serem aplicáveis na indústria de processo, e KPIs adicionais devem ser incluídos. [40]

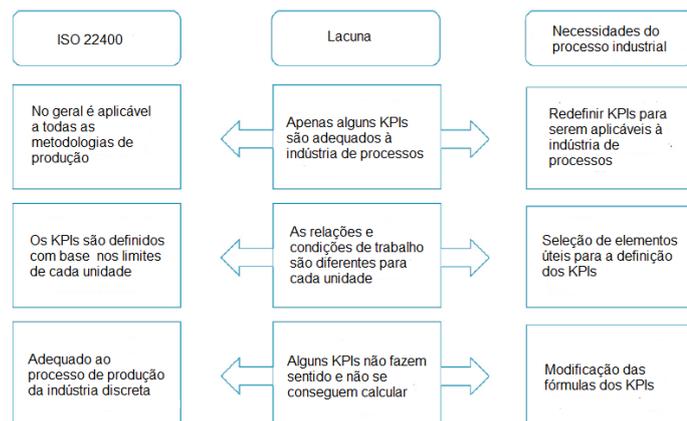


Figura 9 - Lacunas entre a norma ISO 22400 e as necessidades dos processos industriais - adaptado[40]

Os KPIs não podem ser calculados devido a problemas de modelação, mas têm de ser redefinidos. Novos KPIs são propostos para substituir estes tipos de KPIs de acordo com a característica específica na indústria de processos.

Os KPIs propostos são, portanto, capazes de descrever melhor as características da indústria de processos e medir os desempenhos relevantes. Devido à semelhança entre eficiência de alocação e eficiência de utilização na indústria de processos, propôs-se 3 KPIs para substituir a taxa de alocação original, a eficiência de utilização e a taxa de instalação separadamente, detalhados pelo método de descrição de KPIs da ISO 22400, conforme mostrado na Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8. [40]

Tabela 6 - Substituir a taxa de alocação original[40]

Razão de alocação alternativa para indústria de processo (AR-PI)	
Conteúdo	
Nome	Razão de alocação alternativa para indústria de processo (AR-PI).
Descrição	AR-PI é a relação entre a taxa de produção real (APR) dividido pela taxa máxima de produção (MPR).
Âmbito	Unidades e unidade processual.
Fórmula	$AR-PI = APR/MPR$
Unidade de medida	%
Range	Min= 0 e Máx= 100
Tendência	Quanto mais alto, melhor
Contexto	
Frequência	Periodicamente, sob procura.
Público	Supervisor, gestor
Metodologia de Produção	Contínua

Tabela 7 – Substituir a utilização da eficiência [40]

Alternativa ao uso da eficiência para indústria de processos (UE-PI)	
Conteúdo	
Nome	Alternativa ao uso da eficiência para indústria de processos (EU-PI).
Descrição	UE-PI é a relação entre a taxa de produção real (APR) e a taxa de produção planeada (PPR).
Âmbito	Unidades e unidade processual.
Fórmula	$UE-PI = APR/PPR$
Unidade de medida	%
Range	Min= 0 e Máx= 100
Tendência	Quanto mais alto, melhor
Contexto	
Frequência	Periodicamente, sob procura.
Público	Supervisor, gestor
Metodologia de Produção	Contínua

Tabela 8 – Substituir taxa de instalação [40]

Alternativa à taxa de configuração para indústria de processos (SR-PI)	
Conteúdo	
Nome	Alternativa à taxa de configuração para indústria de processos (SR-PI).
Descrição	SR-PI é a relação entre os custos da instalação e a margem de contribuição total da unidade da quantidade produzida.
Âmbito	Unidade de trabalho, produto.
Fórmula	$SR-PI = \text{Custo da instalação} / \text{margem contribuição total da unidade de quantidade produzida}$
Unidade de medida	%
Range	Min= 0 e Máx= 100
Tendência	Quanto mais baixo, melhor
Contexto	
Frequência	Periodicamente, sob procura.
Público	Supervisor, gestor
Metodologia de Produção	Contínua

2.8. KPIs para gestão de operações de produção

Um sistema de medição de desempenho (PMS) consiste num conjunto de procedimentos e indicadores que medem de forma precisa e constante o desempenho de atividades, processos e de toda a organização, e é um aspeto vital na gestão de empresas. Um PMS deve ser capaz de fornecer dados para monitorizar o desempenho passado e futuro, para fortalecer as estratégias para evitar a introdução de indicadores conflitantes e o suporte no fornecimento de dados para benchmarking. Os PMSs não se concentram apenas em procedimentos e indicadores financeiros, mas também em aspetos relacionados aos aspetos ou processos internos dos consumidores. Os principais indicadores de desempenho são considerados no núcleo do PMS: são definidos como um conjunto de medidas que se concentram nas principais atividades críticas. Com a ajuda de indicadores, as empresas podem provar uma lacuna existente entre o desempenho real e o desejado. Os KPIs permitem que os gestores identifiquem o progresso das atividades e aquelas a serem melhoradas, apoia no estabelecimento de novas metas, ajuda na tomada de decisões para alcançar o desempenho e a melhoria desejados, permite a tradução das missões de uma empresa em ações concretas e avaliar até que ponto a empresa está a alcançar os seus objetivos. [38]

Os KPIs devem ser selecionados adequadamente para adaptar a especificidade do setor, mas suficientemente gerais para poder comparar operações diferentes. As tecnologias atuais permitem a coleta de grande quantidade de dados e o compartilhamento desses dados entre diferentes fontes.

A Organização Internacional de Padronização (ISO) lidou recentemente com este tópico na norma ISO 22400 "Sistemas de automação e integração - Indicadores Chave de Desempenho (KPIs) para gestão de operações de produção".

O conteúdo da norma ISO 22400 é ambicioso, pois propõe um conjunto de KPIs que visam ser independentes da indústria e do processo. A ISO 22400, na definição das medidas mais importantes e usadas para uma indústria de produção, é reconhecida pelo potencial na contribuição do desenvolvimento de sistemas de automação de produção. No entanto, na sua versão atual, o padrão mostra algumas fraquezas. [38]

A compreensão e interpretação de alguns conceitos são difíceis, resultando em inconsistências e imprecisões. Neste artigo, é apresentado um modelo para melhorar a aplicação do padrão em sistemas de produção simples. Atualmente, está em andamento um estudo para adaptá-lo ao modelo de sistemas de produção complexos, trabalhando em conjunto com os membros do grupo de trabalho ISO que editam o padrão ISO 22400. Neste artigo, o modelo apresentado - baseado numa análise da ISO 22400 - concentra-se consistentemente num subconjunto de elementos e KPIs, fornecendo mais detalhes para seu cálculo. [38]

Esta contribuição é tornar o padrão mais fácil de entender e, principalmente, mais fácil de aplicar. Nesta medida, três melhorias principais são propostas:

- 1) um modelo de classificação é definido, destacando se um elemento ou um KPI está

relacionado a uma ou mais unidades de trabalho e a uma ou mais ordens de produção ou serviço.

2) os índices subscritos são introduzidos para elementos e KPIs, especificando a sua classe e permitindo uma definição mais formal da fórmula de cálculo.

3) as fórmulas para computação de KPI em cada classe são refinadas. Ao entender se os elementos básicos do KPI são referidos a uma unidade de trabalho, a uma ordem de serviço ou a uma ordem de produção ou a combinações destes, é possível adaptar a fórmula genérica original relatada na ISO 22400 ao contexto desejado, permitindo assim um cálculo preciso do KPI.

As etapas do fluxo de trabalho são as seguintes:

- Identificar uma primeira classificação dos elementos de acordo com suas definições originais na ISO 22400.
- Especificação dos índices subscritos adequados dos elementos, de acordo com suas definições originais na ISO 22400.
- Definir a fórmula dos KPIs com os índices subscritos de acordo com as definições originais dos elementos na ISO 22400.
- Identificar uma primeira classificação dos KPIs de acordo com suas definições originais na ISO 22400, considerando a especificação dos elementos originais.
- Especificar os índices subscritos adequados dos KPIs de acordo com as suas definições originais na ISO 22400, considerando a especificação dos elementos originais.
- Propor a eventual extensão dos KPIs nas classes em que estão ausentes, em relação ao original definidas na ISO 22400.
- Propor a eventual extensão da classificação dos elementos nas classes em falta quanto às definições originais na ISO 22400.
- Especificar os índices subscritos adequados dos elementos de acordo com as suas definições estendidas.
- Especificar os índices de índice adequados dos KPIs estendidos. Nesta etapa, as fórmulas de KPIs foram finalmente revistas. [38]

2.9. Dos fluxos de planejamento de produção aos KPIs de gestão de operações de fabricação: vinculando os padrões ISO 18828 E ISO22400

O processo de planejamento influencia e é influenciado pelos parâmetros do processo de produção.

As crescentes procuras dos clientes resultam em diversidade de produtos, levando ao aumento da complexidade de produtos e processos e também de custo. Assim, os fabricantes precisam ser capazes de gerir a complexidade do produto e melhorar a transparência para estabelecer processos de melhoria orientados a objetivos para permanecerem competitivos. Os sistemas de gestão de desempenho permitem às empresas determinar representações quantitativas agregadas da situação atual, criando assim a base para os processos de melhoria e tomada de decisão. Conseqüentemente, os principais indicadores de desempenho devem ser usados consistentemente na análise dos processos atuais e da maneira como eles são geridos e controlados. Embora os KPIs tenham uma longa tradição, ainda há a necessidade de ferramentas e suporte efetivos na implementação de sistemas e ferramentas de gestão. [37]

A ISO18828 “Procedimentos padronizados para engenharia de sistemas de produção” propõe o processo de planejamento de referência entre o processo de design do produto e o processo de produção, portanto, trata do design do processo de produção. No seu estado atual, está dividido em 5 partes: parte 2 - Processo de referência para o planejamento contínuo da produção, com uma descrição detalhada do processo de planejamento de referência e parte 3 - Os fluxos de informações nos processos de planejamento da produção que foram publicados em 2016 e 2017, enquanto a parte 1 - Visão geral, parte 4 - Principais indicadores de desempenho (KPIs) nos processos de planejamento de produção e parte 5 - Gestão de mudanças na produção que estão atualmente em desenvolvimento, apesar de alguns rascunhos do trabalho já terem sido revisados e divulgados. A parte 4 é de interesse específico para essa análise, elaborando o uso dos principais indicadores de desempenho na fase de planejamento da produção. Os KPIs descritos nesta parte referem-se basicamente ao rastreamento do desempenho dos processos de planejamento de sistemas de produção de engenharia e visam melhorar o processo de padronização da qualidade da monitorização do processo de produção. A estrutura para descrever os KPIs na ISO18828-4 é herdada da ISO22400-2. O gestor de produção pode ser o principal beneficiário de uma estrutura que aborda aspetos como processos de produção, fluxos de informações, indicadores-chave de desempenho e mudanças na produção. [37]

Apesar de ISO22400 e ISO18828 terem sido editadas por diferentes grupos de trabalho, a relação entre as fases de produção e planejamento de produção consideradas nessas normas é bastante forte. Após o novo design do produto, o processo de produção de ponta a ponta começa no design do processo de produção, seguido pelo planejamento da produção e pelas fases de produção. As decisões tomadas durante o design do processo de produção

influenciarão o desempenho. Na primeira fase, várias variáveis serão determinadas, no entanto, essas variáveis serão influenciadas tanto pelas características do produto quanto pelas características dos equipamentos de produção, novas ou já existentes. Por esse motivo, este documento investiga os pontos de conexão e o tipo de conexão entre os dois padrões. [37]

Com o objetivo de identificar possíveis conexões entre KPIs em ambos os padrões, primeiro é necessário analisar a relação entre os conceitos básicos introduzidos nos padrões ISO18828 e ISO22400-2. Inicialmente, o processo de planejamento de produção de referência para a preparação da produção da ISO18828-2 será introduzido. Esse modelo de processo de planejamento de referência é baseado numa estrutura multinível que progride em etapas de uma abordagem descendente, onde a complexidade das cadeias de processos consideradas aumenta. O processo de planejamento da produção é caracterizado por três funções principais:

- Restrições dentro do processo de criação do produto;
- Principais disciplinas de planejamento, a saber:
 - planejamento de produção;
 - planejamento de montagem;
 - planejamento logístico;
 - planejamento de layout;
- Funções de planejamento associadas.

O processo de planejamento da produção abrange vários tipos de disciplinas, e a ISO18828 concentra-se nas funções de produção, montagem, logística e layout. A entrada e saída das principais disciplinas de planejamento constituem os fluxos de informações que são recebidos e enviados. Portanto, a entrada representa dados e restrições consideradas para planejar o processo de produção, enquanto as saídas estão relacionadas às decisões tomadas para gerir o processo de produção. [37]

Diferentemente, a ISO22400 propõe um conjunto de 38 KPIs para descrever os desempenhos de produção. Para cada um deles, são explicados o método e os conceitos gerais de computação. O cálculo dos KPIs é baseado no uso de medidas relevantes, chamadas elementos, agrupadas em elementos logísticos, de qualidade e de tempo. Claramente, o valor dos KPIs depende do valor dos elementos. Portanto, os elementos foram identificados como os objetos potencialmente influenciados pelo processo de design da produção e, especificamente, pelos principais fluxos de informações das disciplinas de planejamento. [37]

2.10. Alterações de KPIs em maquinação inteligente usando KPI-ML

O *Smart Manufacturing* está focado na recolha de informações e no uso das informações para melhorar ou otimizar a produção ou reduzir o uso de energia e matérias-primas. A recolha e análise de grandes quantidades de informações é necessária para análise profunda, para operar as máquinas de produção e a utilização de indicadores-chave de desempenho é necessária para fornecer informações consolidadas acionáveis. Os KPIs são usados por seres humanos e por sistemas automatizados para fazer proceder a decisões estratégicas táticas e de longo prazo em tempo real. [4]

A importância dos KPIs na produção inteligente é inegável. Definições de KPI padrão, incorporadas com definições de instâncias específicas de uso do KPI e vários métodos para a aquisição de valores de KPI, fornecem um componente essencial da produção inteligente. Os KPIs têm grandes quantidades de informações. Como estas informações devem ser compartilhadas entre vários sistemas, é necessário um modelo de troca padronizado para integração e interoperabilidade do sistema. No entanto, para entender o valor único que um KPI fornece, também é importante entender o contexto das informações, incluindo as informações usadas no cálculo do KPI. Conforme declarado em Kibira (2015) “A monitorização contínua de métricas e indicadores em diferentes níveis estratégicos, táticos e operacionais em tempo real permitirá a busca detalhada das causas principais dos problemas de desempenho.” O padrão MESA *International* KPI-ML fornece as ferramentas para enfrentar os desafios de recolha e alterações das informações dos KPIs para a capacidade de detalhamento. O KPI-ML define adicionalmente um conjunto de modelos de transação que permitem que o equipamento inteligente exponha as metas usadas no cálculo do KPI, informações também necessárias para entender o significado do valor do KPI. [4]

2.11. Principais indicadores de desempenho da produção no futuro

A Indústria 4.0 promete inúmeros potenciais na produção. Esses potenciais se originam principalmente do uso de dados. Capturar esses potenciais é um dos principais desafios hoje. Os principais indicadores de desempenho são uma maneira de fazer isso.

O conceito de KPIs na produção do futuro combina KPIs existentes, atuais e recém-desenvolvidos com mudanças para produção digitalizada. Mostra como as alterações podem ser registadas com a ajuda de KPIs novos e existentes. [15]

Através da análise de 18 coleções diferentes de KPIs de várias fontes da literatura, os 38 KPIs de produção mais frequentes podem ser determinados, por exemplo, o nível de desempenho, o tempo de processamento ou o grau de automação. Para estruturá-los, eles foram divididos em cinco grupos de assuntos diferentes (logística, grau de utilização, processo

de produção, qualidade e processamento de pedidos). Dessa maneira, um sistema de índices dos KPIs existentes é criado. A Eficácia Geral do Equipamento (OEE) serve como principal KPI do sistema.

Além da sistematização dos KPIs de produção nos grupos funcionais, uma visão objetiva da relação entre KPIs pode ser estabelecida com base nas variáveis de entrada dos índices.

Com essa avaliação, grupos de KPIs podem ser identificados. Isso inclui grupos de índices relacionados a pedidos, funcionários, qualidade e máquinas. Alguns desses grupos são muito semelhantes aos grupos funcionais do sistema de índices criado. Os relacionamentos entre os índices são mostrados na figura 10. [15]

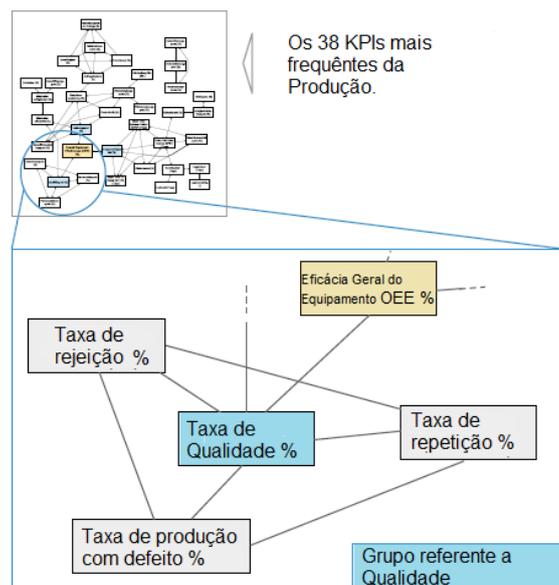


Figura 10 – Relacionamento entre indicadores - adaptado[15]

Um modelo amplamente reconhecido, que representa as atividades e processos de uma empresa, é a cadeia de valor de acordo com Porter. O modelo considera as atividades individuais de uma empresa em um nível abstrato. É feita uma distinção entre atividades primárias e atividades de apoio. Os primeiros fornecem uma contribuição direta de agregação de valor. As atividades de apoio, por outro lado, fornecem os pré-requisitos necessários, como planejamento de pessoal, e, portanto, dão suporte apenas indiretamente. A cadeia de valor ligeiramente adaptada de acordo com Porter é mostrada na figura 11. [15]

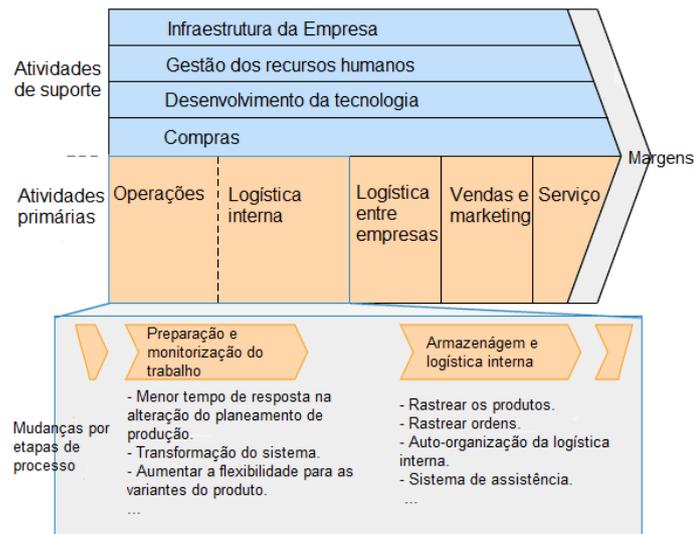


Figura 11 – Cadeia de Valor de acordo com *Porter* - adaptado[15]

Para descrever e categorizar mudanças e potenciais devido à digitalização, as atividades da cadeia de valor de *Porter* precisam ser concretizadas. Isso pode ser feito num nível abstrato, independente da empresa. As atividades de operações e logística são misturadas, pois são altamente interconectadas.

Uma cadeia de processo típica foi criada. Essa cadeia de processos começa com a preparação e monitorização do trabalho e continua com o armazenamento e a logística, seguidos pelo planeamento de materiais e assim por diante.

Dessa forma, mudanças devido aos processos concretos de digitalização podem ser estruturados. Para a etapa do processo, a preparação do trabalho e a monitorização minimizam o tempo de resposta e alterações no sistema de produção, também uma flexibilidade é aumentada em relação às variantes do produto, por exemplo. [15]

Novos KPIs podem ser desenvolvidos com base nos índices comuns de produção existentes e nas alterações consideradas numa produção digitalizada. O objetivo é registrar todas as alterações e todos os potenciais da melhor maneira possível.

Além disso, tenta-se que os novos KPIs sejam derivados, tanto quanto possível, dos KPIs existentes na literatura.

Por exemplo, grande parte da literatura sobre os novos conceitos de KPI é retirada e transferida para a área de produção.

Além das categorias existentes de KPIs, três novos grupos de temas são propostos. Isso inclui gestão de dados, transparência e rede, além de gestão de produtos.

Eles servem para estruturar novos conceitos de KPI. Os indicadores de gestão de dados referem-se a alterações na infraestrutura ou ao uso de dados. KPIs, como qualidade dos dados ou disponibilidade de TI (Tecnologia de Informação), pertencem a essa categoria.

O grupo de temas de transparência e rede requer gestão de dados em funcionamento e contém índices que podem registrar alterações baseadas em dados. Isso inclui, por exemplo, o

grau de visualização e a proporção de recursos praticamente controláveis. Os KPIs referem-se, em particular às máquinas e sistemas em produção. Por fim, os índices dos produtos e serviços da empresa são agrupados no grupo Gestão de produtos. Isso inclui o número de índices de produtos ou a taxa de novos produtos. [15]

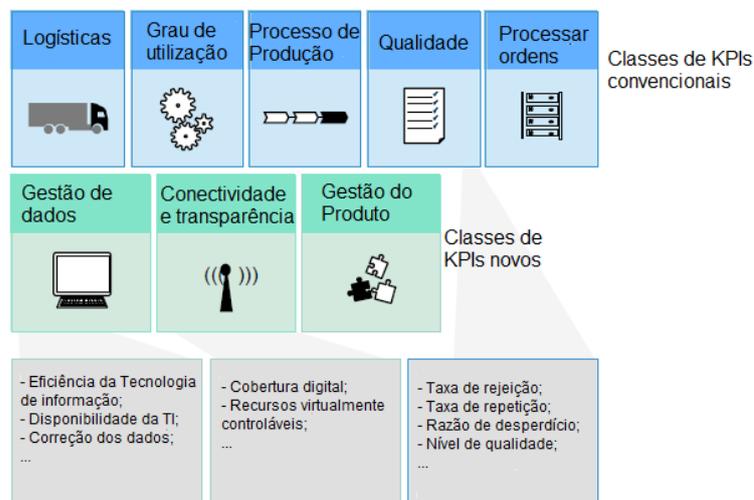


Figura 12 – Novos KPIs - adaptado[15]

Todos os grupos existentes e os novos contêm, KPIs relevantes na produção do futuro. Portanto, é possível criar um sistema de índices com base nesses grupos.

O conceito geral é desenvolvido com base nos principais índices de produção existentes, atuais e recém-desenvolvidos, e na sistematização de mudanças e potenciais usando a cadeia de valor de *Porter*. O primeiro passo é verificar que índice pode aplicar as alterações. Ao mesmo tempo, pelo menos um índice assegura que todas as modificações em consideração possam ser registradas.

Para o conceito desenvolvido, são necessários 48 KPIs diferentes para 30 alterações.

O conceito geral pode ser visualizado com base nos relacionamentos e na sistematização de mudanças e potenciais usando a cadeia de valor de *Porter*. A base para isso é a sistematização das mudanças. Para as atividades consideradas da cadeia de valor, é estabelecida uma matriz de correlações entre os índices e as mudanças. Dessa forma, é possível visualizar quais índices são registrados e quais são modificados. [15]

Com base na pura determinação das correlações, o grau de registo também é avaliado. Para isso, é desenvolvida uma escala de quatro estágios, que começa de “mal conectado” com vários índices auxiliares até “completamente ligado” com apenas um índice. É a representação em círculo conhecida como *Harvey Balls*. O grau em que pode ser registrado fornece informações sobre a relevância de índices individuais para alterações.

Um desenvolvimento de destino também é determinado para cada índice individual. Isso descreve um aumento ou diminuição no tamanho do valor do índice devido a uma ou mais modificações na produção. [15]

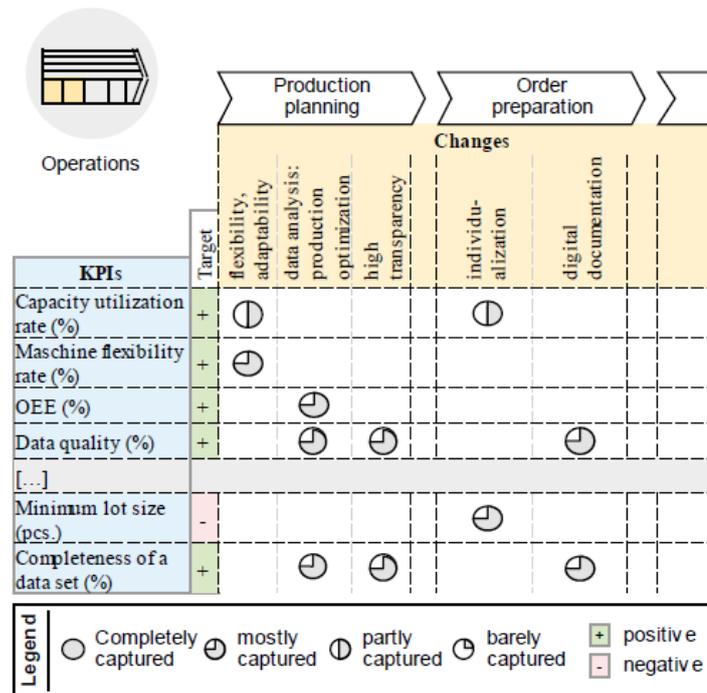


Figura 13 – Aplicação do conceito[15]

A Figura 13 mostra uma secção da visualização do conceito.

A visualização geral segue o mesmo princípio que esta representação e, portanto, pode ser antecipada com base no extrato. Na figura, apenas uma parte das mudanças e potenciais causados pela digitalização da produção são mostrados. Da mesma forma, apenas alguns dos KPIs existentes e recém-desenvolvidos são listados.

O conceito apresentado representa a pura denominação dos índices e alterações. Cada índice e alteração devido à digitalização são descritos em detalhes. [15]

O conceito teórico desenvolvido pode ser aplicado a diferentes áreas. O primeiro passo é registar o respetivo processo de produção de uma empresa. Com base nesse processo, os potenciais de otimização podem ser identificados. Ao comparar mudanças e potenciais do conceito apresentado, KPIs adequados podem ser atribuídos aos potenciais identificados. Isso baseia-se nas relações entre os índices, as mudanças e os potenciais apresentados. A visualização do conceito usando a cadeia de valor de *Porter* fornece as informações necessárias. Uma avaliação subsequente pode ocorrer se os KPIs selecionados tiverem sido implementados nos instrumentos de controlo. [15]

2.12. Avaliação de inovação utilizando indicadores chave de desempenho

Ao empreender a inovação, o desenvolvimento de indicadores-chave de desempenho / KPIs representa uma ferramenta importante para garantir que todos os objetivos do processo sejam atendidos. Para isso, é necessária uma metodologia específica para identificar não apenas indicadores significativos, mas também outros elementos de apoio. Esta ferramenta permite que pequenas e médias empresas inovadoras aprimorem as suas tomadas de decisão medindo com precisão o desempenho do processo de inovação e otimizando o processo.

Ao empreender a inovação, uma empresa deve realizar um ensaio aprofundado das principais características do processo de inovação, a fim de entender adequadamente os requisitos da inovação bem-sucedida. As principais características do processo de inovação podem ser resumidas da seguinte forma:

- o processo de inovação é composto por inúmeros eventos, várias pessoas chave, um contexto comum e um prazo definido.
- o processo de inovação é iniciado como resultado do planeamento e da tomada de decisão, mas também pode ser desencadeado pelo mercado, manifestando as suas necessidades.
- o processo de inovação nunca deve ser visto como um fluxo sequencial linear de atividades.
- o processo de inovação deve ser aberto tanto aos inovadores quanto aos adotantes da inovação.
- um processo eficiente de inovação não pode garantir o sucesso da inovação, mas pode influenciar a taxa de sucesso da inovação. [2]

Várias metodologias foram criadas e empregadas pelas empresas com o objetivo de desenvolver KPIs. No entanto, uma metodologia genérica deve ser pesquisada e identificada. Essa metodologia deve ser facilmente empregada com o objetivo de garantir que os objetivos do processo sejam atendidos. Para esse fim, o problema de pesquisa refere-se à identificação de uma metodologia genérica para o desenvolvimento de KPIs significativos.

Uma pesquisa secundária foi conduzida para identificar uma metodologia geralmente aceita para o desenvolvimento de KPIs.

Como resultado, foi estabelecido um conjunto de KPIs para apoiar a implementação de um projeto de pesquisa e inovação, conhecido como NANOAPPARATUS, realizado por uma PME inovadora (pequenas e médias empresas) da Roménia. Além disso, a Modelação de Processos de Negócios foi empregada para facilitar o entendimento abrangente do processo de inovação e implementá-lo e comunicá-lo com eficiência. [2]

O desenvolvimento de KPIs deve ser realizado como um processo sistemático baseado em revisão e análise aprofundada. Isso aplica-se aos processos de pesquisa e inovação, independentemente da natureza da pesquisa. [2]

Para desenvolver os KPIs do projeto NANOAPPARATUS, foi estabelecida uma correlação

abrangente entre os objetivos, atividades e resultados do projeto, permitindo identificar medidas para apoiar a consecução dos objetivos. Os seguintes requisitos foram considerados ao desenvolver os KPIs do projeto NANOAPPARATUS:

- os KPIs devem obedecer às características particulares do processo de inovação NANOAPPARATUS;
- os KPIs devem contar com medidas claramente identificadas e classificadas;
- os KPIs devem apoiar a implementação das atividades do projeto e alcançar os objetivos do projeto;
- os KPIs devem refletir apenas os dados disponíveis;
- os KPIs devem permitir reavaliação e melhorias adicionais;
- os KPIs devem impactar também os resultados das atividades da organização e não apenas os das atividades do projeto. [2]

Uma metodologia genérica para o desenvolvimento de KPIs significativos foi identificada. A metodologia para o desenvolvimento de KPIs é aplicada no caso de um processo de inovação em desenvolvimento, com o objetivo de otimizá-lo, atribuindo medidas para alcançar sistematicamente os objetivos do processo. Um foco adicional na medição passo a passo do nível de desempenho do processo deve permitir a reavaliação em tempo real das atividades de inovação em andamento e dos resultados relacionados. [2]

2.13. Cartas de controlo

Métodos de controlo estatístico de processo foram investigados desde 1999. No entanto, apenas o uso de um gráfico de soma cumulativa foi explorado. Métodos na forma de gráficos de média e desvio padrão de *Shewhart* são introduzidos como técnicas para garantir a qualidade em um processo de medição para classificação de itens de desempenho em avaliações operacionais.

Os métodos de garantia da qualidade coletam evidências do processo depois que um processo de produção é concluído. Em contraste, o controlo estatístico do processo é um método de monitorização dinâmica em que a qualidade do produto é ativamente medida e, simultaneamente, cartografada, enquanto os bens estão a ser produzidos em massa. O controlo estatístico é obtido quando um índice, como as médias dos grupos de produtos, é traçado dentro de certos limites traçados num gráfico. [20]

Além da consistência, a eficiência da produção é importante na produção em massa. Assim uma linha de produção não pode ser interrompida ou retardada, a menos que haja indicações de mudanças no processo, conforme indicado pelos gráficos do CEP (Controlo Estatístico do Processo). Para esses gráficos, existem regras para informar aos técnicos se um processo está potencialmente fora do controlo estatístico. Quando essas condições existem, espera-se que os técnicos interrompam o processo de produção para uma ação corretiva. Embora os diagramas de CEP sejam destinados a monitorizar um processo de produção como

um todo, levar medições de produtos numa linha de montagem pode ser caro, pode retardar um processo ou diminuir a qualidade do produto. As empresas geralmente não medem todos os produtos, pois isso pode ser economicamente inviável. [20]

O gráfico de controlo de *Shewhart* (1931) é usado para controlar lotes de produtos industriais para que esses produtos possam ser produzidos dentro de especificações industriais. Esses procedimentos de controlo de processos foram posteriormente popularizados pela Gestão de Qualidade Total (TQM) de *Deming* (1951) e têm sido amplamente utilizados pelas indústrias japonesas para produzir produtos de alta qualidade. Os japoneses descobriram que técnicos com pouca ou nenhuma formação em estatística podem controlar a qualidade do produto razoavelmente bem, porque eles só precisam verificar visualmente se o lote está dentro de um limite de tolerância especificado num gráfico (*Deming*, 1967, 1981).

Desde então, estes gráficos de controlo têm sido amplamente utilizados em ambientes industriais, como ferramentas para manter a qualidade do produto.

Atualmente, a Sociedade Americana para Controlo da Qualidade inclui gráficos de CEP como um importante domínio testado para certificar engenheiros de processo profissionalmente (*Vani*, 1995). [20]

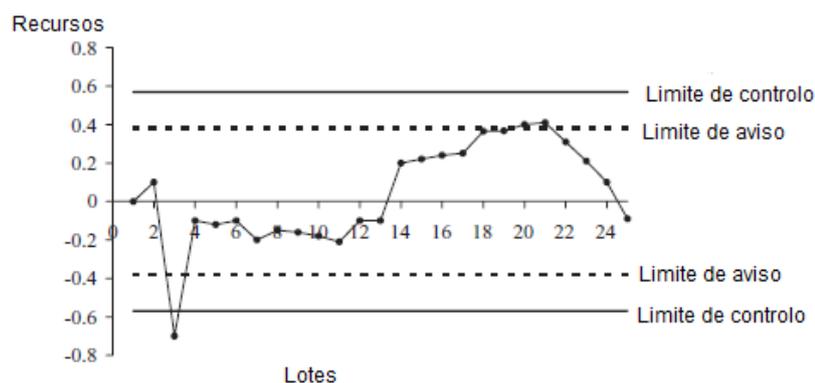


Figura 14 - Carta de controle tipo X - adaptado[20]

A figura 14 representa uma carta fora de controle e serve para demonstrar os pontos a seguir mencionados. Um processo de produção em massa é considerado fora de controle quando pelo menos um dos seguintes itens é observado em qualquer tipo de gráfico de CEP:

- ✓ Qualquer ponto está fora do limite do controle (lote 3);
- ✓ Pelo menos oito pontos consecutivos estão num lado do gráfico (lotes 4 a 13);
- ✓ Dois ou três pontos consecutivos estão fora do limite de aviso do 2-sigma, mas dentro do limite de controle (lotes 20 e 21);
- ✓ Quatro ou cinco pontos consecutivos estão além dos limites do 1-sigma (lotes de 14 a 17);
- ✓ Um padrão incomum ou não aleatório ocorre nos dados, como um padrão cíclico (lote 14 a 25 que formam um padrão quadrático);
- ✓ Um ou mais pontos estão próximos de um limite de aviso ou controle (lotes 18 e 19).

[20]

É possível exibir informações de consistência temporal através dos gráficos de CEP. Assim, ações corretivas podem ser tomadas para melhorar a qualidade da classificação de tempos em tempos. Também é importante que, com a tecnologia atual de computadores, estes gráficos informativos possam ser produzidos simultaneamente enquanto os avaliadores pontuam os trabalhos. [20]

Sem estas cartas para guiá-los, os avaliadores podem continuar classificando-se ignorando os riscos da deriva. Também é possível interromper temporariamente a pontuação em massa para ações corretivas quando algumas indicações de classificações “fora de controlo” são observadas. Os principais objetivos ao usar os gráficos do CEP são: aumentar a consistência sempre que possível e diminuir as inconsistências enquanto ocorrem sem o custo desnecessário de retardar ou interromper a produção em massa. [20]

Cartas de controlo são úteis para:

- ✓ Transmitirem um registo histórico do comportamento de um processo;
- ✓ Permitirem monitorizar um processo estável;
- ✓ Ajudando-nos a detetar mudanças de um padrão de variação anteriormente estável;
- ✓ Sinalizarem a necessidade do ajuste de um processo;
- ✓ Ajudando-nos a detetar causas especiais de variação. [39]

Um processo é dito estar no controlo (com relação a alguma característica medida X do produto) se a distribuição de X não muda com o tempo.

Existem dois tipos de causas que produzem a variação observada num gráfico de execução:

- ✓ Causas comuns (por acaso). Estes são geralmente pequenos e são devidos aos muitos elementos aleatórios que compõem um processo.
- ✓ Causas especiais (atribuíveis). Estas são mudanças mais sistemáticas no padrão para as quais a causa real é frequentemente encontrada quando sua presença é sinalizada por um gráfico de controlo.

Os limites de especificação superior e inferior (USL e LSL) são impostos externamente, por exemplo, pelo cliente, e não refletem o comportamento do processo. Também se aplicam a unidades individuais, não a médias. [39]

Tipos comuns de gráficos:

Os tipos de gráficos são geralmente classificados de acordo com o tipo de característica de qualidade que eles devem monitorizar: existem gráficos de controlo de qualidade para variáveis e gráficos de controlo para atributos. Especificamente, os gráficos a seguir são geralmente construídos para controlar variáveis:

- Gráfico de barra X: neste gráfico, as médias da amostra são traçadas para controlar o valor médio de uma variável (por exemplo, tamanho dos anéis de pistão, resistência dos materiais, etc.);
- Gráfico R: neste gráfico, os intervalos de amostra são traçados para controlar a

variabilidade de uma variável;

- Gráfico S: neste gráfico, os desvios padrão da amostra são traçados para controlar a variabilidade de uma variável;
- Gráfico S**2: neste gráfico, as variações de amostra são traçadas para controlar a variabilidade de uma variável. [30]

Para controlar características de qualidade que representam atributos do produto, os gráficos a seguir são geralmente construídos:

- Gráfico C: neste gráfico, traçamos o número de defeitos (por lote, por dia, por máquina, por 100 pés de tubo etc.). Este gráfico pressupõe que os defeitos do atributo qualidade são raros, e os limites de controlo neste gráfico são calculados com base na distribuição de *Poisson*.
- Gráfico em U: neste gráfico, traçamos a taxa de defeitos, ou seja, o número de defeitos dividido pelo número de unidades inspecionadas (n ; por exemplo, pés de tubo, número de lotes). Diferentemente do gráfico C, esse gráfico não requer um número constante de unidades e pode ser usado, por exemplo, quando os lotes (amostras) são de tamanhos diferentes.
- Gráfico Np: neste gráfico, traçamos o número de defeitos (por lote, por dia, por máquina) como no gráfico C. No entanto, os limites de controlo neste gráfico não se baseiam na distribuição de eventos raros, mas na distribuição binomial. Portanto, esse gráfico deve ser usado se a ocorrência de defeitos não for rara (por exemplo, eles ocorrem em mais de 5% das unidades inspecionadas). Por exemplo, podemos usar este gráfico para controlar o número de unidades produzidas com falhas menores.
- Gráfico P: neste gráfico, traçamos a percentagem de defeitos (por lote, por dia, por máquina, etc.) como no gráfico U. No entanto, os limites de controle neste gráfico não se baseiam na distribuição de eventos raros, mas na distribuição binomial (de proporções). Portanto, esse gráfico é mais aplicável a situações em que a ocorrência de defeitos não é rara (por exemplo, esperamos que a percentagem de defeitos seja superior a 5% do número total de unidades produzidas).

Todos estes gráficos podem ser adaptados para pequenas tiragens de produção (pequenas tiragens) e para vários fluxos de processos. [30]

Gráficos de controlo baseado em risco:

Os riscos de produtores e fornecedores são tópicos frequentemente discutidos no campo da conformidade ou do controlo de processos. Os riscos podem surgir de diferentes fontes, como incerteza nos parâmetros reais do processo ou imprecisão do dispositivo de medição. O efeito da estimativa de parâmetros no desempenho dos gráficos de controlo de *Shewhart* foi analisado em vários estudos. Além disso, *Zhou* mostrou que a estimativa de parâmetros tem um efeito significativo no tempo médio de controlo ao usar um gráfico de barras X VSSI

adaptável. O estudo também desenvolveu um design ideal para o tamanho da amostra. Não apenas a incerteza nos parâmetros do processo, mas também a incerteza de medição como fatores de risco que podem levar a sérias consequências. Se o dispositivo ou processo de medição não for suficientemente preciso, decisões incorretas (como manutenção desnecessária ou perda) podem ser tomadas durante o controle do processo de produção. Assim, a taxa de risco do produtor e do cliente depende fortemente da incerteza na medição e pode causar perda de prestígio para uma empresa fabricante. Em muitos casos, o efeito da incerteza de medição diminui, fornecendo dispositivos de medição mais precisos. No entanto, é comum o aprimoramento de um dispositivo ou processo de medição encontrar limitações tecnológicas e muitas vezes é impossível que várias amostras sejam recolhidas devido ao alto custo de amostragem (por exemplo, amostragem destrutiva). Para resolver esses problemas, vários ajustes devem ser feitos no processo de controle, considerando o erro de medição. Vários estudos tiveram como objetivo analisar o efeito do erro de medição em gráficos de controle estatístico. *Mittag* e *Stemann* mostraram que a imprecisão do medidor pode afetar fortemente a aplicação eficaz dos gráficos de controle X-S e a capacidade de detectar mudanças no processo. *Linna* e *Woodall* propuseram um modelo de erro de medição. [16]

O impacto do erro de medição foi considerado não apenas em termos estatísticos, mas também no design económico das cartas de controle. *Rahim* investigou o efeito de não normalidade e erro de medição no desenho económico do gráfico de *Shewhart* X. Yang estendeu a análise para os gráficos X e S. assimétricos. Yang (2002) e outros estudos propuseram gráficos de controle baseados em métodos de projeto económico, como o gráfico de média móvel ponderada exponencialmente com base no erro de medição. Enfatizando a importância do efeito do erro de medição, vários trabalhos discutiram o seu impacto nos estudos de capacidade do processo e propuseram ajustes para melhorar a precisão e a fiabilidade dos índices de desempenho do processo. *Kosztján* e *Katona* destacaram a importância de considerar a incerteza de medição relacionada ao gráfico multivariado T2 e propuseram um método para reduzir os riscos durante o processo de controle. O seu método atribui valores de custo aos resultados da decisão e aplica uma abordagem baseada em risco em vez da abordagem tradicional no controle estatístico de processos (sem considerar a incerteza de medição durante a fase de controle). Ao considerar a incerteza de medição, houve uma redução de $\pm 4\%$ no custo de decisão alcançada pela redução de erros do tipo II. Embora o gráfico de controle multivariado com base no risco reduza o custo dos resultados da decisão, ele aplica apenas parâmetros fixos (ou seja, tamanho da amostra, intervalo de amostragem). Este estudo identifica quatro tipos de resultados de decisão:

- aceitação correta;
- rejeição correta;
- aceitação incorreta (erro do tipo II);
- rejeição incorreta (erro tipo I).

A linha de controle de um gráfico de controle baseado em risco é otimizada para minimizar o custo total decorrente dos quatro tipos de resultados de decisão. Este método alcança um

desempenho melhor do que aquele que ao usar um fator de cobertura recomendado para os limites de controlo. [16]

2.14. Desenho e Análise de Experiências na Gestão da Manutenção

O Desenho e Análise de Experiências (DoE) é uma das ferramentas que está a ser cada vez mais utilizada para conceber e melhorar a qualidade dos processos/ equipamentos/ produtos, nomeadamente em termos da sua fiabilidade, disponibilidade e robustez. De facto, são muitos os casos de estudo que demonstram a aplicabilidade desta ferramenta no âmbito das atividades da gestão da manutenção. Porém, a utilidade do DoE é ainda posta em causa por desconhecimento puro e simples dos princípios e das boas práticas que lhe devem estar subjacentes e na sequência da resolução de problemas onde os resultados esperados não foram alcançados. [8]

O desenho estatístico e a análise de experiências são uma técnica amplamente testada e validada em vários contextos. Pode ser ajustado a várias características dos fenómenos e variáveis em estudo, bem como ao tipo de informação que se pretende recolher de um estudo experimental. Assim, o DoE pode ser integrado no conjunto de ferramentas que podem ser usadas na gestão de manutenção. Independentemente das áreas de atividade em que o DoE é empregado, esta ferramenta é particularmente apropriada e altamente recomendável na fase inicial dos estudos experimentais, a chamada fase de triagem, onde existem muitas variáveis e o objetivo é identificar aqueles com significado na resposta e envolvendo o menor número de recursos. O DoE também é útil para entender o relacionamento entre as variáveis e a resposta, bem como para fins de otimização. No entanto, vários argumentos são usados para justificar o não uso do DoE. Os mais comuns são os seguintes:

- os recursos humanos e tecnológicos são escassos ou inexistentes;
- executar o planeamento de experiências não é viável devido a razões técnicas e/ou económicas;
- a sua aplicação é inútil ou desnecessária;
- não há recursos com competência para projetar experiências e analisar os seus resultados.

Esses argumentos e outros mostram uma falta de clarividência estratégica e uma clara ignorância sobre o que é o DoE, para que sejam explorados em um trabalho futuro, além do desejado ou esperado. [8]

É amplamente aceite que casos de insucesso são também fontes de aprendizagem, pelo que a apresentação das más práticas mais comuns afigura-se como pertinente e um contributo para a disseminação do DoE no âmbito da Gestão da Manutenção (e não só), sendo de destacar as seguintes:

- *Querer resolver problemas (extremamente) complicados*

Inexperiência na implementação do DoE ou conhecimento superficial desta ferramenta, além de questões técnicas e económicas associadas à operação de alguns equipamentos, são motivos para descartar alguns problemas. Minimizar o depósito de partículas nos permutadores de calor numa caldeira de recuperação de lixívia negra é um exemplo do que, muito provavelmente, será uma tarefa menos bem-sucedida ou mesmo impossível de realizar em contexto industrial por razões técnicas e económicas associadas à operação deste equipamento e das suas implicações no processo produtivo. É preferível começar com problemas simples para que a equipa envolvida ganhe e transmita a necessária confiança para que o DoE seja aplicado noutros problemas. De qualquer maneira, no exemplo da caldeira, a resolução do referido problema poderia ser tentada com o recurso à simulação e à utilização de ferramentas apropriadas para analisar os resultados assim obtidos (das denominadas *Computer Experiments*).

O que também não é recomendável é propor a resolução de problemas para os quais não seja possível estimar o retorno financeiro com o alcançar dos objetivos definidos. [8]

- *Objetivo e/ou resposta mal definidos*

Alinhar o objetivo de um estudo com aqueles que a organização definiu para o negócio é uma prática desejável para que a gestão de topo se comprometa e envolva na realização do estudo, pelo menos disponibilizando os recursos necessários. Um exemplo menos bem conseguido de um objetivo seria aumentar em 15% o tempo entre ações de manutenção preventiva num determinado equipamento. Uma alternativa seria definir como resultado expectável do estudo “Reduzir a massa de partículas que se acumula nos painéis de transferência de calor de uma caldeira de combustão de lixívia negra”, porque isto faria com que o intervalo de tempo entre ações de manutenção preventiva fosse alargado. Porém, este também não seria o melhor objetivo. Por um lado, não tinha qualquer valor de referência (alvo) associado, por outro seria muito difícil quantificar a massa de partículas que se acumularia nos painéis. Por esta última razão, a massa de partículas que se acumula nos painéis de transferência de calor de uma caldeira de combustão de lixívia negra também não seria a resposta mais conveniente. [8]

- *Omissão de variáveis e/ou valores atribuídos às variáveis menos favoráveis*

Nenhum problema será resolvido se todas as variáveis que afetam a resposta não tiverem sido identificadas e os seus valores adequadamente definidos em função do objetivo do estudo. A criação de uma equipa multidisciplinar para abordar o problema é fundamental, devendo a identificação e a atribuição de valores às variáveis ser devidamente fundamentada. Afastar excessivamente os valores a que uma variável é testada pode enviesar o efeito na resposta dessa variável e das suas interações com outras variáveis. Este problema também acontece quando o referido afastamento é demasiadamente pequeno. Não menos vulgar é algumas experiências serem inexecutáveis. [8]

- Sistemas de medição inadequados

Problemas (de calibração e de capacidade) nos sistemas de medição são (muito) vulgares e invalidam todas as medições com eles obtidas e conseqüentemente a validade do estudo. A sua correção é determinante antes da realização das experiências. [8]

- Número de experiências muito reduzido

Pressões para se alcançarem resultados no menor período de tempo possível conduzem, em geral, a maus resultados, devido ao reduzido número de experiências que são realizadas. Quando se decide realizar uma fração demasiado pequena do número total de experiências, não se pode esperar que o método de análise de resultados forneça soluções fiáveis. [8]

- Os princípios do DoE são violados

A não observância de algum dos princípios do DoE, a Aleatorização, a Blocagem e/ou a Replicação, enviesará os resultados das experiências e, muito provavelmente, as conclusões do estudo, se o método de análise dos resultados não for o adequado. Ao invés do que frequentemente acontece na prática, nenhum dos referidos princípios deve ser ignorado ou menosprezado. [8]

- Escolha incorreta dos métodos de modelação da resposta

A relação entre as variáveis e a resposta nem sempre deve ser estabelecida com o método dos “Quadrados Mínimos Ordinários” (OLS - *Ordinary Least Squares*) nem a adequabilidade do modelo assim obtido se deve avaliar apenas com o popular Coeficiente de Pearson (R^2). É recomendável considerar os valores do $R^2_{ajustado}$ e do $R^2_{previsto}$, embora outras métricas ou a análise dos resíduos não devam/possam ser ignoradas.

Os tempos de funcionamento até à ocorrência de uma avaria (vida útil ou de uso) de um produto, equipamento ou de um seu componente são exemplos de respostas que não devem ser modeladas com o OLS. Para este tipo de respostas, ou quaisquer outras em que a distribuição estatística que melhor se ajusta aos resultados das experiências não seja a Normal, mas sim a *Weibull*, a Exponencial, a lognormal ou a Gamma, a identificação das variáveis com efeito significativo na resposta não pode ser feita com a Análise da Variância (ANOVA) e a modelação da resposta tem de ser realizada com um método alternativo ao OLS. [8]

- Os pressupostos da ANOVA não são validados

Decisões sobre a significância estatística dos efeitos das variáveis e das interações entre variáveis sobre a resposta com base na ANOVA só são fiáveis se forem validados os pressupostos que lhes estão subjacentes. Todos os *softwares* de análise de dados permitem fazer (de modo expedito) a análise dos erros experimentais ou resíduos, os quais devem ser normalmente distribuídos, ter média zero, ter variância constante e serem independentes. A violação de algum destes pressupostos exige uma ação corretiva. [8]

- As propriedades das soluções ótimas são ignoradas

Em problemas com múltiplas respostas, não existe uma única solução que seja melhor do que todas as outras. Entre as denominadas soluções não-dominadas ou ótimas, a seleção de uma solução exige que a reprodutibilidade das soluções seja avaliada. [8]

- Eventos não esperados e/ou indesejados omitidos

A realização de experiências deve ter subjacente um planeamento detalhado e pensado ao mais ínfimo pormenor para que seja possível obter conclusões fiáveis de um estudo experimental. De qualquer maneira, é sempre possível que ocorram imprevistos. Eventos não planeados e/ou indesejados, tais como alterações nas condições ambientais ou de quaisquer outras condições técnicas que deviam estar asseguradas, como, por exemplo, valores das variáveis marcados corretamente, experiências realizadas na ordem sugerida, a ausência dos operadores selecionados para o estudo e/ou avaria de uma máquina ou equipamento de medição, podem lamentavelmente ocorrer. [8]

Princípios Estruturais

Utilizar o DoE tem mais de ciência do que de arte (empirismo), pelo que os princípios em que se fundamenta não podem ser ignorados por quem pretende usar esta ferramenta. Os princípios não são apenas conceitos teóricos (estatísticos) porque, na verdade, ao serem considerados, têm um impacto significativo nos resultados das experiências e nas conclusões que daí se poderão retirar. Efetivamente, a violação de qualquer um dos princípios do DoE comprometerá a exatidão dos resultados das experiências e/ou a validade das conclusões deles retiradas. Por conseguinte, a sua apresentação é prioritária e um ponto de partida para os que devem ou querem conhecer e utilizar esta ferramenta.

O DoE é suportado em 3 princípios:

- 1) Aleatorização;
- 2) Blocagem;
- 3) Replicação. [7]

Aleatorização

Aleatorizar significa realizar as experiências (estatisticamente) desenhadas por uma ordem diferente daquela que é a denominada ordem padrão (teórica). Esta prática é uma salvaguarda contra a influência de fontes de variação desconhecidas e incontroláveis (ruído), assegura a qualidade dos dados recolhidos e torna a sua análise mais fácil (menos sofisticada). A não-aleatorização das experiências desenhadas é uma prática corrente, mas verdadeiramente desaconselhável. Contudo, existem situações onde as restrições à aleatorização das experiências são incontornáveis por questões técnicas/económicas e/ou de tempo. Por exemplo, alterar o valor da temperatura de uma experiência para outra em determinados equipamentos industriais, tais como fornos ou caldeiras, é um procedimento impraticável por uma questão de tempo e custo (perda de energia). Assim, sempre que exista

um ou mais fatores que imponham restrições na aleatorização das experiências, a opção deverá ser por um desenho “*Split-plot*” em detrimento de um desenho completamente aleatorizado. Detalhes sobre desenhos “*Split-plots*” são apresentados em. [7]

Blocagem

Para além de variáveis desconhecidas e incontroláveis, é possível que a resposta possa ser consideravelmente afetada por variáveis conhecidas e controláveis, mas cujo efeito na resposta não é do interesse do investigador estimar. Exemplos deste tipo de variáveis (fontes de variabilidade) são a temperatura ambiente e a humidade, lotes de matéria prima, pessoas, máquinas e/ou períodos de tempo (manhã, tarde, dias, ...). Uma forma de eliminar o efeito destas fontes de variação na resposta é realizar as experiências em blocos (grupos), de modo a que a variabilidade em cada bloco (resultante da realização das experiências com um determinado lote de matéria-prima ou por uma determinada pessoa, como exemplos) seja mais homogênea do que no conjunto total das experiências desenhadas (onde seria usada aleatoriamente matéria-prima de lotes diferentes ou selecionadas aleatoriamente pessoas para executar as experiências). A vantagem de realizar as experiências em blocos é tanto maior quanto menor for a variação dentro dos blocos e maior for a diferença da variação entre os blocos. Quando assim é, o efeito de cada fator considerado no estudo e o erro experimental (variabilidade natural do processo) são estimados com uma incerteza menor, o que é bom (desejável). Note-se que o valor da diferença na variabilidade dos blocos não tem implicações na estimativa do efeito dos fatores, porque este valor será eliminado do erro experimental e, assim, a estimativa do efeito de cada fator considerado no estudo não será enviesada. Porém, e porque não é possível saber, antecipadamente e com segurança absoluta, se a diferença da variação entre os blocos vai ser muito maior do que a variação dentro de cada bloco, ou, por outras palavras, se a variabilidade provocada por uma determinada variável é suficientemente alta para que se tivesse justificado a sua blocagem, é aceitável realizar as experiências em blocos e assumir que as estimativas dos fatores podem sofrer algum enviesamento. [7]

Fontes de variação conhecidas, mas que não são controláveis, denominadas covariáveis, são também passíveis de ser integradas num estudo experimental. O seu efeito na resposta é indesejável, pelo que se não forem adequadamente integradas no estudo as conclusões deste serão enviesadas. A temperatura, a humidade e itens (peças e/ou materiais caracterizados por alguma medida qualitativa, tais como a espessura, a dimensão, o peso, etc.) são passíveis de serem consideradas covariáveis. [7]

Replicação

Tempo e custo são as principais razões utilizadas para não replicar as experiências desenhadas, embora esteja suficientemente documentado que esta prática é um impedimento à obtenção de conclusões fiáveis num estudo experimental. Os benefícios expectáveis com a replicação das experiências são (quase) sempre incomparavelmente superiores aos inconvenientes. Porém, não se deve confundir réplicas com leituras repetidas do resultado de

uma experiência. Replicar uma experiência significa combinar os mesmos valores das variáveis controláveis em instantes diferentes, mantendo, tanto quanto possível, todas as restantes condições inalteráveis, para assim obter uma estimativa mais fiável do erro experimental e do efeito dos fatores (bem como das respetivas interações entre fatores). Porém, o número de réplicas deve traduzir um equilíbrio entre os custos da realização das experiências e os benefícios resultantes de mais e melhor informação. Em termos práticos, o número de réplicas não deve ser pequeno, levando a que efeitos negligenciáveis sejam, erradamente, declarados estatisticamente significativos, nem deve ser demasiado elevado sem que daí resulte a identificação de mais efeitos com efeito relevante ainda (estatisticamente significativo) na resposta. Na fase inicial de um estudo experimental, denominada de *Screening*, onde o objetivo é separar os fatores (e interações de dois fatores) com efeito significativo na resposta com base num pequeno número de experiências, a prática consiste em realizar cada experiência desenhada (com base num desenho fatorial fracionado) apenas uma vez. Nas fases seguintes, de caracterização e otimização, são realizadas réplicas das experiências. O que é mais usual na fase de caracterização, na qual se pretendem identificar os efeitos significativos e o melhor valor para os respetivos fatores, é serem realizadas 5 réplicas de cada uma das experiências desenhadas (com base em desenhos fatoriais completos ou fracionados). Com isto é possível obter estimativas mais adequadas do valor médio da resposta, da variação em torno desse valor médio e do erro experimental. Na fase de otimização de um estudo experimental, o que é recomendado é a realização de três a cinco réplicas do ponto central do desenho utilizado, sendo os mais frequentes o Desenho Composto Central e o Desenho *Box-Behnken*, o que permite estabelecer uma relação (modelos de regressão) de 2ª ordem entre as variáveis e a resposta ou respostas e proceder à sua otimização. [7]

2.15. Criticidade do equipamento

A criticidade do equipamento padrão também é usada para classificar equipamentos numa ordem de prioridade de importância para a operação contínua de uma instalação. O equipamento que interrompe a produção, ou que causa grandes custos de produção quando falhou, é considerado mais crítico. Uma vez que a criticidade é conhecida, os recursos, o esforço de engenharia, as práticas operacionais, a manutenção e a preparação das instalações são compatíveis com a prioridade e a importância da operação contínua do item. A abordagem bem-estar de equipamentos e a criticidade do equipamento difere da abordagem padrão e como foco os custos de defeitos e defeitos reais em toda a empresa, e não apenas o impacto da produção, para avaliar o risco do negócio devido a falhas no equipamento. [35]

Uma premissa fundamental do Bem-Estar da Fábrica e do Equipamento é que se está a construir um negócio de classe mundial e, para tomar a decisão certa, é necessário conhecer as perdas do negócio, e não simplesmente as perdas de produção, de uma falha. A menos que

os custos reais e totais da empresa sejam incluídos na determinação da criticidade do equipamento, o risco total de uma falha de equipamento para a empresa não é reconhecido. O uso do DAFT (custos de defeitos e defeitos reais) oferece um valor mais preciso de perda consequential para todo o negócio e, portanto, um risco de negócio mais verdadeiro é determinado. [35]

Uma equipa competente de pessoas é reunida para identificar a importância do equipamento para uma instalação. Normalmente, uma base de dados de Custos de DAFT é desenvolvida inicialmente. A base de dados é usada para preencher folhas de cálculo e torna a análise mais rápida e fácil. Normalmente, o grupo de revisão consiste nos operadores, técnicos de manutenção e projetistas da fábrica que contribuem com seu conhecimento e experiência. O grupo analisa desenhos dos processos da instalação e os seus equipamentos. Equipamentos por equipamentos analisam as consequências da falha na operação e desenvolvem uma tabela mostrando a avaliação de criticidade de cada equipamento. É a prática que os árbitros finais de uma escolha são o Grupo de Operações ou Produção, uma vez que eles devem viver com as consequências e custos de uma falha. [35]

2.16. Técnicas de testes em miniaturas para gestão da vida útil de equipamentos operacionais

A degradação das propriedades do material do equipamento devido à operação prolongada em condições operacionais adversas, como radiação, alta temperatura e alta pressão, é uma das principais preocupações a serem abordadas para a sua operação segura e contínua. A degradação do material leva à redução da margem operacional segura do equipamento ou componente. Para avaliar a margem operacional segura disponível, o equipamento precisa ser inspecionado periodicamente para conhecer as propriedades do material existente. Vários métodos de inspeção são usados nas indústrias para estimar as propriedades do material existente para garantir a operação contínua do equipamento. No caso de equipamentos não substituíveis, a inspeção se torna vital, pois são necessários métodos de inspeção no local com confiabilidade suficiente dos dados da inspeção, pois dados erráticos podem levar a uma avaliação incorreta da vida operacional segura e resultar em falha e consequências importantes subsequentes. A avaliação das propriedades do material existente desses equipamentos em serviço, precisamente, é uma importante área de impulso por muito tempo, o que resultou no desenvolvimento de muitas técnicas invasivas e não invasivas. [17]

Técnicas baseadas em medição de dureza, como testes de indentação e microdureza, têm sido bastante populares entre outras técnicas não invasivas. Vários pesquisadores usaram o teste de indentação e sugeriram correlações diretas do valor da dureza medido com o rendimento e as forças de tração dos materiais. A desvantagem das correlações sugeridas é que elas são válidas apenas para classes específicas de materiais e isso torna o uso das propriedades de dureza um procedimento sem precisão e geralmente não apropriado para

avaliar os principais parâmetros de resistência do material e essas correlações não são universais. [17]

Atualmente, técnicas de teste em miniatura estão a ser cada vez mais usadas na obtenção de dados diretos de materiais nesses casos. Para esse fim, o material coletado é utilizado para a preparação de vários tipos de corpos de prova em miniatura, como ensaios de tração, ensaios de punção pequena (SPT) e corpos de prova de fadiga, etc. Esses corpos de prova em miniatura requerem um volume muito pequeno de material, ordem de 1/500 da exigida para uma amostra de teste de tração padrão. [17]

Um dos problemas é a falta de geometria de amostra em miniatura padronizada para teste de tração, o que poderia fornecer dados comparáveis aos dos testes de tração padrão. Muitos esforços foram feitos no sentido de padronizar a geometria de amostras de tração em miniatura, o que resultou no desenvolvimento de vários projetos de amostras de tração.

No entanto, não houve consenso sobre geometrias padronizadas de amostras e ainda existe uma ambiguidade a esse respeito. Um dos obstáculos na padronização da geometria é a determinação da espessura dos corpos de prova de tração, que tem sido tentada por muitos. Até agora, chegou-se a um consenso para definir o requisito mínimo de espessura. Devido a esses problemas geométricos, não há conformidade dos dados de resistência e ductilidade dos testes de tração em miniatura com os testes de tração padrão. [17]

As técnicas de teste em miniatura mostram um excelente potencial para a estimativa de vida útil de equipamentos em serviço e o desenvolvimento de novo material. Entende-se que existem vários outros tipos de necessidades industriais para o desenvolvimento de técnicas de teste em miniatura. [17]

Este artigo está focado no uso de técnicas de teste de tração em miniatura, teste de punção pequena e fadiga em miniatura para atender a requisitos de dados específicos para avaliação da vida útil do equipamento operacional. Este artigo é uma tentativa de padronização de técnicas de teste de tração em miniatura. Para torná-lo aceitável em todo o mundo, são necessários mais esforços internacionais para padronização dos tamanhos e métodos de teste dos corpos de prova de tração. Para técnicas de teste de punção pequena, verificou-se que não há consenso sobre as correlações de UTS (UTS = resistência à tração final, MPa), que são baseadas no valor de P_{max} no gráfico de carga-deslocamento. [17]

Determinaram-se as geometrias das amostras de corpos de prova de tração em miniatura, testes de punção pequena e testes de fadiga em miniatura, que poderiam ser feitos a partir de amostras de barcos. O desenho geométrico do teste de tração em miniatura foi finalizado com 3 mm de comprimento, 1 mm de largura e 0,3 mm de espessura, com base em experiências, análises numéricas e metalúrgicas.

Análises por elementos finitos foram realizadas para descobrir regiões irritantes das amostras de disco do SPT.

Este estudo transmite o potencial de técnicas de teste em miniatura como metodologia de gestão de envelhecimento para aplicação industrial. Para explorar o potencial da técnica de teste de tração em miniatura, é necessário um esforço internacional coerente para padronizar a

técnica e adotá-la como prática padrão para a avaliação de propriedades mecânicas. [17]

Atualmente, muito trabalho está a ser feito no desenvolvimento da MGF (*functionally graded Materials* / materiais com classificação funcional), em que a composição da estrutura muda gradualmente, resultando numa alteração correspondente nas propriedades dos materiais. A aplicação de técnicas de teste em miniatura pode ser estendida no desenvolvimento de materiais com classificação funcional para diferentes aplicações industriais. [17]

2.17. Gestão de logística da cadeia de serviços para aumentar o tempo de atividade dos equipamentos

As contribuições atuais da redução do tempo de inatividade na literatura de sistemas de serviços de produtos industriais usando ferramentas da indústria 4.0 e tecnologias-chave carecem de profundidade e amplitude. Por exemplo, um estudo recente apresenta um método e uma ferramenta de planeamento de recursos com vários critérios para otimizar o design, a produção, a entrega e a instalação de sistemas de serviços de produtos industriais usando aplicativos orientados à web como software como serviço. Da mesma forma, outro trabalho referenciado no artigo que apresenta uma plataforma colaborativa que oferece suporte a clientes e engenheiros para configurar e projetar os serviços do produto como resultado da monitorização do desempenho do ciclo de vida que inclui: qualidade, impacto ambiental e energia. Noutra pesquisa realizada, abordou-se a questão de dados heterogêneos resultantes da rede de parceiros e de gestão baseado em conhecimento. Esse conceito fornece uma contribuição para melhorar o MRO (reparo e revisão de manutenção) nos sites dos clientes e dos parceiros de serviço, a fim de diminuir os períodos de inatividade não programados. Numa estrutura proposta, oferece-se uma contribuição importante para aumentar a robustez interna e externa dos sistemas de produção. Esse trabalho descreve como identificar a alocação de tarefas, atividades e responsabilidades nos sistemas de serviços de produtos industriais. Outro estudo propôs uma estrutura de sistemas físicos cibernéticos para uma frota de máquinas capazes de prever a integridade das máquinas e melhorar o agendamento de manutenção com o objetivo de reduzir o tempo de inatividade. O estudo de *Mulder* concentrou-se na integração da manutenção na fase inicial do projeto do ciclo de vida do equipamento, para melhorar a eficiência e a eficácia dos produtos industriais. Em seu trabalho, fez uma contribuição significativa sobre como os desenvolvedores no mercado de alta tecnologia podem ser apoiados no tratamento de aspetos de manutenção com sucesso em sistemas de produção. Além disso, *Mulder* recomendou a extensão da literatura de sistemas de serviços de produtos industriais para outros campos relevantes, como cadeias de suprimentos (cadeias de serviços) e desenvolvimento de sistemas de produção. Isso pode ser extremamente útil, especialmente combinando-o com Fenómeno da indústria 4.0. Nesse estudo, descreva a aquisição de bens de serviço no contexto da indústria ferroviária do ponto de vista do provedor de serviços. [1]

A análise da literatura mostra que o conhecimento neste tema já está disponível, no entanto, ainda não aborda como combinar adequadamente a logística das cadeias de serviços, manutenção e indústria 4.0 com profundidade suficiente para apoiar as decisões de projeto de gestão de cadeias de serviços de sistemas de produtos industriais, com foco no aumento de tempo de atividade dos equipamentos. O custo do tempo de inatividade nos sistemas de serviços de produtos industriais é significativo. [1]

O custo do tempo de inatividade nos sistemas de serviços de produtos industriais é significativo. Ignorar esse problema pode afetar o relacionamento de longo prazo entre o comprador industrial e o cliente industrial e isso pode afetar o lucro de longo prazo de maneira negativa. Pode ser impactado por decisões de projeto de logística de serviços; como planejamento de recursos, manutenção e a escolha e integração de ferramentas da indústria 4.0. Com base nisso, a pesquisa proposta neste artigo cai sobre como as ferramentas tecnológicas da indústria 4.0 podem ser sistematicamente investigadas para melhorar o tempo de atividade nos sistemas de serviços de produtos industriais, combinando o conhecimento de logística de manutenção e cadeia de serviços. [1]

2.18. Maximizar a disponibilidade de ativos e reduzir os custos de manutenção

O cenário em que indústrias e serviços públicos operam mudou drasticamente nos últimos anos. No passado, as decisões de investimento e manutenção eram frequentemente determinadas mais por evitar riscos técnicos do que por restrições orçamentais. Atualmente, os novos gestores de negócios mudaram a perspectiva: o investimento (CAPEX) e o custo de manutenção (OPEX) em ativos devem ser motivados e otimizados financeiramente, suportando também uma maior disponibilidade e confiabilidade de ativos. Os principais pilares de uma metodologia eficiente são a estratégia de manutenção correta, o conhecimento dos modos de falha de ativos e o entendimento real dos ciclos de vida dos ativos. [13]

Novas abordagens de manutenção enfatizam as condições de saúde dos equipamentos. O objetivo é resumido em dois requisitos: "Diga-me quando preciso fazer manutenção e que manutenção fazer"; e "Diga-me que agora tenho um problema e o que devo fazer sobre isso". Essa abordagem é a manutenção baseada em condições (CBM), capaz de reduzir custos, aumentar a produtividade e manter a alta confiabilidade e disponibilidade do equipamento, garantindo um nível de segurança mais alto. O CBM permitiu implementar eficientemente a conhecida Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM). [13]

Como gestão inteligente de ativos também significa gestão de riscos, a condição do equipamento é apenas uma parte da história. Também é importante estar ciente da consequência da falha, geralmente medida como uma soma dos custos diretos e indiretos de

uma falha ou tempo de inatividade. A estimativa desses custos depende da importância do equipamento (criticidade) dentro da subestação ou fábrica e do status do seu ciclo de vida. Uma abordagem mais inteligente de gestão de ativos, baseada nas metodologias CBM e RCM, baseia-se em avaliações regulares das condições do equipamento e, portanto, não aplica cronogramas rígidos de manutenção. O processo de avaliação da condição é vital para detectar antecipadamente as causas de falha mais importantes e, portanto, aplicar manutenção para restaurar uma condição aceitável do ativo. [13]

A avaliação da condição do ativo pode detectar a maioria das causas de falha mencionadas antes que elas aconteçam. Para implementar o CBM e o RCM, é importante unir a avaliação da condição e as análises apropriadas para determinar a condição do equipamento e melhorar as ações, garantindo a fiabilidade geral e a operação econômica da central.

Essas análises, para serem eficazes, produzirão KPI (Indicadores Chave de Desempenho), a fim de classificar os ativos por risco, programar e priorizar as ações. O risco de falha de um ativo é a combinação de sua probabilidade de falha (POF) e sua consequência de falha (COF). [13]

Ao considerar as soluções de avaliação de condição de ativos, é importante entender as diferenças entre a gestão de falhas e a manutenção regular versus a degradação de ativos a longo prazo e o planejamento financeiro. Defeitos ou falhas estão estritamente ligados às condições do equipamento e seus componentes, degradando ou falhando de acordo com os modos de falha conhecidos. Essas falhas afetam a operação e a fiabilidade do ativo ao longo de sua vida útil. No entanto, o fim da vida útil do ativo não depende diretamente de um componente defeituoso (se detectado e corrigido). A degradação a longo prazo que contribui para o fim da vida útil do ativo precisa ser estimada com entradas e análises específicas que considerem fatores técnicos e financeiros como obsolescência do equipamento, disponibilidade de peças de reposição, custos de manutenção e desempenho do ativo. [13]

O processo de avaliação de condição implementado nesta análise é composto por várias etapas mostradas na figura a seguir:

Especificar	Classificar	Analisar	Reportar	Efeito
Requisitos do cliente	Coleção de dados	Evolução dos dados	Sumário da análise dos dados	Apresentação do relatório
Definição do projeto	Inspeção do ativo	Processar e formatar os dados	Índice de condição e relatório de risco	Desenvolvimento de um plano de remediação
Seleção de ativos	Testes de desempenho	Análises de estatísticas	Proposta da mitigação do risco	
Avaliação da importância do ativo na rede	Histórico dos dados	Fiabilidade - avaliação do risco		
	Entrevistas com operador			

Figura 15 – Avaliação da condição do ativo[13]

A primeira etapa, chamada “Especificar”, é a definição dos requisitos do gestor de ativos para o projeto de avaliação. O principal requisito é a seleção de ativos (frota). Além disso, nesse estágio, o gerente de ativos ou o gestor da fábrica fornece entradas para determinar o nível de importância de cada ativo (pelo menos do ponto de vista do sistema).

A segunda etapa, chamada “Classificar”, permite que o avaliador recolha as informações necessárias para determinar as condições do ativo, como dados históricos, testes de desempenho, inspeções e entrevistas com o operador. [13]

Os dados da avaliação precisam ser agrupados de maneira fácil e rápida, para reduzir tempo e custos, além de erros de entrada. Portanto, um processo de avaliação eficaz precisa das ferramentas adequadas. A solução apresentada aprimora a flexibilidade do processo com tecnologias de ponta: o usuário pode escolher livremente entre desktop, laptop, tablet e smartphone e alternar de um para outro sem problemas. A equipa dos avaliadores pode compartilhar os dados de avaliação do projeto e aprimorá-los continuamente, adicionando e atualizando as informações. [13]

2.19. Gestão da Produção

A gestão da produção lida com a tomada de decisão relacionada aos processos de produção, para que os bens ou serviços resultantes sejam produzidos de acordo com as especificações, na quantidade e no cronograma exigido e a um custo mínimo. A gestão da produção também lida com a tomada de decisões em relação à qualidade, quantidade, custo etc. da produção. [9]

Gestão da produção pode ser definido como:

- O desempenho das atividades de gestão no que diz respeito à seleção, projeto, operação, controlo e atualização do sistema de produção;
- São os processos de planeamento, coordenar e controlar a produção; significa dizer que a gestão de produção e operações é responsável pela transformação real das matérias-primas em produtos acabados.
- Gestão de produção é uma função da Gestão, relacionada ao planeamento, coordenação e controlo dos recursos necessários para que a produção produza o produto especificado por métodos especificados, pela utilização ideal dos recursos;
- Gestão de produção é definido como uma função de gestão que planeia, organiza, coordena, dirige e controla as atividades de processamento e suprimento de material de uma empresa, para que produtos especificados sejam produzidos por métodos especificados para atender a um programa de vendas aprovado. Essas atividades são realizadas de maneira que o trabalho, a empresa e o capital disponível sejam utilizados para a melhor vantagem da organização. [9]

A importância da gestão da produção para a empresa:

1. Realização dos objetivos da empresa:

A gestão da produção ajuda a empresa a atingir todos os seus objetivos. Produz produtos que satisfazem as necessidades e desejos dos clientes. Assim, a empresa aumentará as suas

vendas. Isso ajudará a alcançar seus objetivos.

2. Reputação, boa vontade e imagem:

A gestão da produção ajuda a empresa a satisfazer os seus clientes. Isso aumenta a reputação, a boa vontade e a imagem das empresas. Uma boa imagem ajuda a empresa a expandir e crescer.

3. Ajuda a introduzir novos produtos:

A gestão da produção ajuda a introduzir novos produtos no mercado. Realiza pesquisa e desenvolvimento (P&D). Isso ajuda a empresa a desenvolver produtos novos e de melhor qualidade. Esses produtos são bem-sucedidos no mercado porque dão total satisfação aos clientes.

4. Suporta outras áreas funcionais:

A gestão de produção suporta outras áreas funcionais de uma organização, como marketing, finanças e pessoal. O departamento de marketing achará mais fácil vender produtos de boa qualidade e o departamento financeiro obterá mais recursos devido ao aumento nas vendas. Também receberá mais empréstimos e capital social para expansão e modernização. O departamento de pessoal poderá gerir efetivamente os recursos humanos devido ao melhor desempenho do departamento de produção.

5. Ajuda a enfrentar a concorrência:

A gestão da produção ajuda a empresa a enfrentar a concorrência no mercado. Isso ocorre porque a gestão da produção produz produtos com quantidade, qualidade e preço certos e no momento certo. Esses produtos são entregues aos clientes conforme as suas necessidades.

6. Utilização ótima de recursos:

A gestão da produção facilita a utilização otimizada de recursos como mão de obra, máquinas, etc. Assim, a empresa pode atingir seu objetivo de utilização da capacidade. Isso trará retornos mais altos para a organização.

7. Minimiza o custo de produção:

A gestão da produção ajuda a minimizar o custo de produção. Tenta maximizar a saída e minimizar as entradas. Isso ajuda a empresa a atingir seu objetivo de redução de custos e eficiência.

8. Expansão da empresa:

A gestão da produção ajuda a empresa a expandir e crescer. Isso ocorre porque tenta melhorar a qualidade e reduzir custos. Isso ajuda a empresa a obter lucros maiores. Esses

lucros ajudam a empresa a expandir e crescer. [9]

A importância da gestão da produção para os clientes e a sociedade:

1. Maior padrão de vida:

A gestão da produção realiza pesquisa e desenvolvimento contínuos (P&D). Então produz novas e melhores variedades de produtos. As pessoas usam esses produtos e desfrutam de um padrão de vida mais alto.

2. Gera emprego:

As atividades de produção criam muitas oportunidades de emprego diferentes no país, direta ou indiretamente. O emprego direto é gerado na área de produção e o emprego indireto nas áreas de apoio, como marketing, finanças, suporte ao cliente, etc.

3. Melhora a qualidade e reduz o custo:

A gestão da produção melhora a qualidade dos produtos por causa de pesquisa e desenvolvimento. Por causa da produção em larga escala, existem economias em larga escala. Isso reduz o custo de produção. Portanto, os preços ao consumidor também reduzem.

4. Efeito de propagação:

Por causa da produção, outros setores também se expandem. Empresas que fabricam peças de reposição serão expandidas. O setor de serviços, como bancos, transportes, comunicação, seguros, etc. também se expandem. Esse efeito de propagação oferece mais oportunidades de emprego e aumenta a economia.

5. Cria utilidade:

Os consumidores podem obter utilidade da forma, tamanho e design do produto. A produção também cria utilidade no tempo, porque os bens estão disponíveis sempre que os consumidores precisam.

6. Aumenta a economia:

A gestão da produção garante a utilização ideal dos recursos e a produção eficaz de bens e serviços. Isso leva a um rápido crescimento económico e bem-estar da nação. [9]

Capítulo 3

Caso de Estudo

O capítulo 3 foi dividido em sete subcapítulos e trata o presente estudo, “indicadores e controlo de qualidade na gestão da produção”. Inicia com uma breve história sobre como a empresa apareceu no mercado português. No subcapítulo 2 foi feita uma breve descrição das áreas existentes e do processo da Indorama Ventures Portugal. No seguinte subcapítulo é descrito como é feita a gestão da produção no departamento da produção da IVP e segue-se a metodologia utilizada no presente estudo.

No subcapítulo 3.5 foram referenciados os KPIs existentes no departamento da produção da Indorama e no seguinte subcapítulo foi feita a análise detalhada de todos os KPIs desde junho de 2018 até maio de 2020.

Finalmente no último subcapítulo, o 3.7, foi representada toda a análise e propostas de melhoria. É neste subcapítulo que é descrito a área processual onde o estudo incidência e consequente melhorias.

3.1. História da Indorama Ventures Portugal

Esta empresa começou por ser construída como Artenius Sines, unidade industrial do grupo petroquímico espanhol La Seda de Barcelona (LSB) localizada na Zona Industrial e Logística de Sines em 2008.

Considerado Projeto de Interesse Nacional (PIN), o arranque das obras foi acompanhado pelo Primeiro-Ministro de então, que o classificou como “um projeto de importância maior para o crescimento da economia portuguesa e para o emprego” e que colocaria o país “no mapa da economia global da petroquímica”. [5]

Em setembro de 2010 e após um plano de reestruturação da LSB, a Artenius Sines alterou o seu nome para Artlant PTA, cuja nova estrutura acionista teria uma participação da LSB consideravelmente reduzida para 41%.

Os restantes acionistas eram a sociedade gestora de fundos de capital de risco do Fundo de Recuperação ECS, a sociedade de capital de risco do Ministério da Economia InovCapital e a área de capital de risco do Grupo CGD Caixa Capital. [5]

Após concluída a fase de construção e comissionamento e com um investimento total superior a 500 milhões de euros, ocupando uma área de cerca de 170.000 m², a Artlant PTA torna-se a 19 de Março de 2012, data de arranque da produção, uma unidade com uma capacidade de produção anual de cerca de 700.000 toneladas, o equivalente a 80 toneladas por hora de ácido tereftálico purificado, destinadas essencialmente ao mercado externo, uma vez que 95% de toda a sua produção se destina a exportação.

A Artlant permitiu a criação de 150 postos de trabalho diretos e 200 indiretos, prevendo uma faturação anual superior a 600 milhões de euros. [5]

Tendo em conta um panorama económico menos favorável verificado nos anos seguintes à data de arranque que levaram a que em 2015 houvesse uma paragem do processo de produção, a Artlant foi então alvo de um Processo Especial de Revitalização (PER), aprovado pelos seus credores, para "criar as condições operacionais e financeiras que permitam o re arranque da fábrica". [19]

Em Novembro de 2017 é anunciada a compra da Artlant pela Indorama Ventures que inclui "todos os equipamentos, direitos de superfície e contratos de trabalho", sendo que esta aquisição irá "acrescentar escala substancial e reforçar a liderança da Indorama na Europa". [19]



Figura 16 – Indorama Ventures Portugal [14]

A Indorama Ventures Portugal (IVP) encontra-se dividida nas seguintes áreas:

- Produção de PTA;
- Produção de Utilidades;
- Tecnologia;
- Segurança, Saúde e Ambiente;
- Mecânica e Engenharia;
- Recursos Humanos;
- Qualidade;
- Informática.

As áreas Financeira e Logística reportam externamente.

3.2. O processo

O produto, Ácido Tereftálico Purificado (PTA), é um pó branco, cristalino, fluido e livre de contaminação visível. O ácido tereftálico ($C_8H_6O_4$) é sintetizado através da oxidação do paraxileno (C_8H_{10}) e posteriormente purificado.

Está na grande maioria dos casos associado à produção de fibras de poliéster ou resina de PET (Polietileno Tefetallato), com utilização em muitas áreas tais como as indústrias têxteis, alimentar ou automóvel.

A IVP divide-se em duas áreas importantes, a fábrica de Utilidades e a fábrica de Produção de PTA.

3.2.1. Fábrica de Utilidades

A fábrica de Utilidades fornece à fábrica de Produção de PTA, azoto, hidrogénio, ar de instrumentos, água desmineralizada e vapor.

Para além disso recebe o efluente gerado na fábrica de PTA, efetua um primeiro tratamento e encaminhando-o para a estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Águas de Santo André.

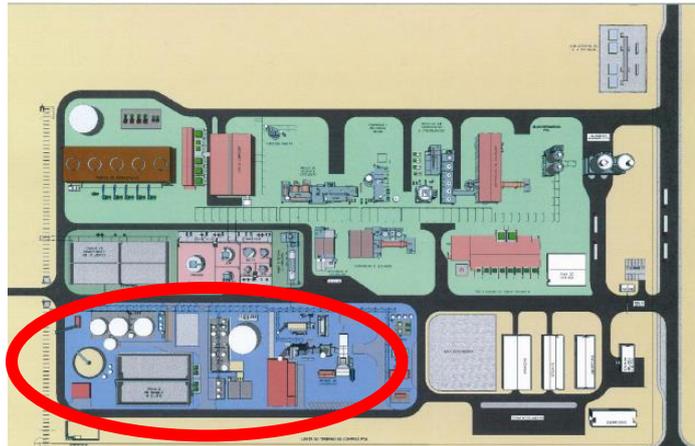


Figura 17 – Localização da fábrica das Utilidades [28]

Esta fábrica divide-se em duas zonas: o ciclo de água e a cogeração.

Ciclo de água

Na estação de tratamento de efluente (ETE) é feita a remoção dos sólidos em suspensão e compostos de carbono biodegradáveis através de processos anaeróbios e aeróbios (tratamento biológico) de maneira a que o efluente fique dentro das especificações requeridas pela ETAR.

A partir do tratamento anaeróbio é gerado biogás que permite uma redução no consumo de gás natural para a produção de vapor.

Nesta área da fábrica de Utilidades é também onde se encontra a zona de produção de água desmineralizada (DW – Demin Water), realizada a partir de um processo de permuta iónica com resinas, obtendo-se assim água com valores muito reduzidos de condutividade. [28]

Cogeração

Existem na fábrica de Utilidades duas caldeiras para produção de vapor, a caldeira principal e a caldeira auxiliar.

A fábrica de PTA, em operação normal, precisa de aproximadamente 85 t/h de vapor saturado de alta pressão (100 bar_g) fornecido pela caldeira principal que opera com os gases de exaustão de uma turbina a gás natural, cuja capacidade de produção de energia elétrica pode atingir os 40MW, exportados diretamente para a rede.

Com uma queima adicional de gás natural a caldeira principal poderá atingir uma produção de 135t/h de vapor.

Esta caldeira de ciclo combinado é também designada por caldeira de recuperação de calor (HRSG – *Heat Recovery Steam Generator*), do tipo aquatubular (a água circula nos tubos e os gases na caixa).

Para paragens não programadas ou de emergência da fábrica de PTA, poderão ser necessárias até 180 t/h de vapor saturado, sendo que para essas situações entra em operação a caldeira auxiliar.

A caldeira auxiliar é mantida em operação no seu mínimo técnico, a cerca de 12t/h de produção de vapor, conseguido através da introdução de biogás obtido no tratamento anaeróbio. [27]

3.2.2. Fábrica de PTA

A fábrica de produção de PTA é constituída por duas fábricas, a fábrica de oxidação e a fábrica da purificação.

Na fábrica de oxidação é onde é realizada a reação de oxidação do paraxileno a ácido tereftálico produzindo o CTA (ácido tereftálico crude).

Na fábrica de purificação é onde o CTA é purificado em PTA (ácido tereftálico purificado) através de processos químicos.

A oxidação é constituída pelas seguintes áreas de processo:

- PAC (*Process Air Compressor*): Esta unidade tem como principal função comprimir o ar atmosférico para uso na reação de oxidação. Este sistema é constituído por um conjunto dos seguintes equipamentos acoplados ao mesmo veio: um compressor de cinco estágios, uma turbina de vapor, um expansor de gás de processo e um motor/gerador. Associado a este conjunto de equipamentos existe uma unidade de óleo de lubrificação;
- Reação e cristalização: realizada a reação de oxidação e a cristalização do produto (pasta de CTA);
- Filtração e secagem: é separado o licor-mãe (ácido acético com catalisadores e outros produtos da reação) da pasta, através de dois filtros rotativos a vácuo (RVDF – *Rotary Vacuum Drum Filter*) e de seguida passa por um processo de secagem num secador horizontal rotativo, onde quatro filas de tubo a vapor seca o CTA, (<1% de humidade) que é enviado para a fábrica de purificação;
- Tratamento de gás de processo (*Off-gas*): onde o gás de processo gerado na reação de oxidação é tratado e lavado. Parte desse gás é secado e utilizado para diversos fins na fábrica, nomeadamente como gás de transporte e para a criação de atmosferas inertes. O restante (a maior parte) é aproveitado para gerar energia mecânica no expansor do PAC antes de ser libertado para a atmosfera;
- Recuperação de catalisadores: recuperar os catalisadores existentes na purga contínua de licor-mãe do processo através de uma centrífuga, após precipitação dos mesmos;
- Recuperação de solvente (ácido acético): onde existem colunas de destilação para recuperar o solvente (ácido acético) após separação da água (produzida na reação de oxidação);

- Torre de arrefecimento: para arrefecer e fornecer a água de refrigeração tratada em circulação no processo, de forma a realizar troca de calor entre fluidos em permutadores de calor;
- Tancagem: garantir a receção, armazenagem e fornecimento das matérias-primas e restantes produtos químicos necessários para o processo. [25]

O licenciador da fábrica de PTA (Invista) projetou uma purga de 20% para o licor-mãe filtrado nos RVDF.

A purga serve para renovar o meio reacional e destes 20% é ainda possível a recuperação de catalisadores e solvente. [25]

Devido a testes de otimização processual, decidiu-se parar a purga e isso parou a área de recuperação de catalisadores para avaliação dos impactos nos custos de produção, logo os catalisadores e solvente permanecem por completo no processo.

A purificação é constituída pelas seguintes áreas:

- Preparação da pasta: o CTA é dissolvido, aquecido e pressurizado;
- Reação e cristalização: as impurezas do CTA reagem com hidrogénio e posteriormente o ácido tereftálico é recristalizado;
- Separação e secagem: o ácido tereftálico é separado das impurezas e do solvente, via centrífugas pressurizadas e atmosféricas, sendo depois secado num secador horizontal rotativo aquecido por tubos a vapor, onde é removida humidade;
- Armazenamento de produto final: o PTA é armazenado, descarregado para contentores e distribuído aos clientes;
- Tratamento de ventilações e licor-mãe: aproveitamento das ventilações e condensados de processo. [26]

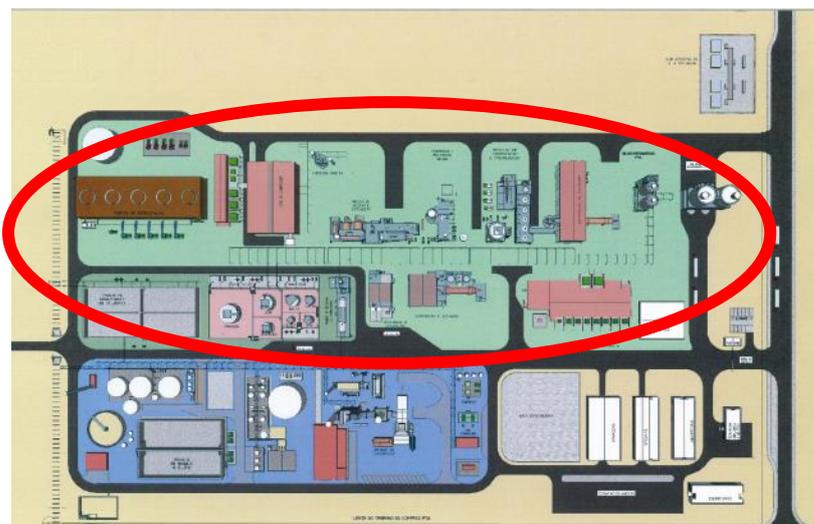


Figura 18 – Localização da fábrica de PTA [26]

3.3. Gestão da Produção

Os diferentes aspetos da melhoria contínua são assegurados e articulados pelas equipas de produção conforme o esquema seguinte. A melhoria contínua e o cumprimento dos KPI definidos para a Produção são assegurados com recurso a várias ferramentas de gestão e monitorização dos diversos aspetos relacionados com a produção, resumidas e descritas no quadro seguinte. [21]

Tabela 9 – Gestão da Produção da IVP [21]

	Produção-dia	Produção-turnos
P	<ul style="list-style-type: none"> Planos de arranque/paragem Instruções de fábrica Planeamento de chegada de MP 	
F		<ul style="list-style-type: none"> IOP / CL Rotinas Chegada de MP
V	<ul style="list-style-type: none"> PHD Fecho de mês Confirmação e registo SAP de chegada de MP Relatórios de produção e consumos 	<ul style="list-style-type: none"> Relatórios de turno Folhas de leitura Folha dos parâmetros operacionais PHD
A	<ul style="list-style-type: none"> Trabalhos com E&M Incidentes, modificações, investigações e otimizações PHA 	<ul style="list-style-type: none"> Housekeeping

(P) – Planear / (F) – Fazer / (V) - Verificar / (A) - Agir

Planos de arranque e paragem (P): os arranques e paragens da instalação são planeados e vertidos no documento - Plano de Arranque e Paragem. Neste documento constam as Listas de Verificação a usar e as datas de início/término das atividades por fábrica/secção, bem como campos para a comprovação de realização. [21]

Instruções de fábrica (P): as instruções gerais de fábrica, com informações relativas à campanha de produção, variáveis de processo macro e eventos ou informações técnicas a partilhar transversalmente a todas as equipas, são transmitidas sempre que necessário no documento - Instruções de fábrica. [21]

Instruções de operação e listas de verificação/check list (F): as instruções de operação são documentos com a descrição das sequências de operação e respetivas avaliações de risco de secções, partes de secção ou equipamentos, podendo ser de arranque, operação, paragem e reativas. Em função da complexidade, riscos associados ou necessidade de controlo, poderão ter associadas uma lista de verificação/check list, consultar documento - Gestão e utilização das Instruções de Operação. [21]

Rotinas (F): as rotinas de operação têm como objetivo antecipar perturbações de segurança, processuais ou qualidade do produto final - Gestão e Realização das Rotinas. [21]

Chegada de matérias-primas (F): após a descarga da cisterna no dia planeado pela equipa de turno, os documentos (CMR e guia de remessa) são encaminhados para a produção para confirmação da chegada no documento - Plano e Controlo de chegadas de matérias-primas, e posterior introdução em Sistema. [21]

Relatórios de Turno (V): os relatórios de turno são preenchidos ao longo do turno, de forma a assegurar uma segura e estruturada passagem de turno, conforme descrito no documento - Relatórios e passagens de turno. [21]

Folhas de leitura (V): com o objetivo de assegurar a operação dentro dos limites definidos e monitorização das variáveis processuais relevantes, são realizadas leituras de campo e de DCS (*distributed control system*), conforme descrito no documento - Gestão e Realização das Leituras. [21]

PHD (V): Para além da informação monitorizada e recolhida nas folhas de leitura, todas as variáveis processuais enviadas para o DCS são informaticamente armazenadas e podem ser visualizadas no *Uniforme – Process History Database* (PHD) da Honeywell. Esta ferramenta de visualização de variáveis processuais permite aceder a informação passada e presente de uma forma simples ou estruturada, permitindo monitorização, avaliação e investigação de condições e perturbações processuais. [21]

Fecho do mês (V): O fecho do mês é registado no documento - Relatório de fecho de mês. Este relatório fornece dados consolidados de produção, consumos e KPI, sendo alimentado pelas seguintes fontes: Relatórios de turno e relatórios de DCS em anexo; Relatório de produção e consumos; SAP; Informação da fábrica de utilidades e de Azoto. [21]

Folha dos parâmetros operacionais da fábrica: A folha dos parâmetros operacionais da fábrica define os valores das variáveis processuais consideradas mais importantes a cada momento, tendo em atenção a taxa de Produção, projetos e desvios em curso e requisitos finais do cliente. Os valores nesta folha prevalecem sobre outros valores definidos noutros documentos, como as folhas de leitura e instruções operacionais. [21]

Coordenação dos trabalhos com a E&M (A): A produção participa no planeamento, preparação e seguimento dos trabalhos de E&M nas fábricas, garantindo a disponibilidade dos equipamentos para atividades de manutenção com o mínimo de perturbações na produção. Eventos ou perturbações no processo decorrentes de anomalias mecânicas, elétricas ou de instrumentação são registados e descritos em SAP pelas equipas de turno. Os trabalhos são geridos com recurso ao ficheiro - Índice de autorizações de trabalho e disponibilizados de acordo com o procedimento de autorizações de trabalho e respetivos documentos de suporte. [21]

Planeamento de chegada de matéria-prima e auxiliares (P): O planeamento de chegada de matéria-prima e produtos auxiliares é executado com recurso ao DCS da Honeywell, a partir do qual é feito o controlo de stocks dos tanques de armazenamento. Esse controlo é realizado diariamente, de forma a garantir que a data e hora de entrega dos produtos esteja perfeitamente ajustada com as necessidades e capacidades de receção da fábrica. [21]

3.4. Metodologia utilizada

A metodologia utilizada para este estudo foi em grande parte a análise de indicadores chave de desempenho da Indorama Ventures Portugal PTA, com base nos valores de produção obtidos nos anos 2018, 2019 e 2020. Esta análise, feita com base nas fórmulas de cada KPI e com os valores de referência já existentes para o grupo Indorama, revelou KPIs fora de especificação principalmente devido a falha de equipamentos.

Através do método de criticidade do equipamento, ou seja, classificar equipamentos numa ordem de prioridade de importância para a operação contínua de uma instalação, a presente dissertação foi encaminha para o equipamento crítico da Indorama que é o secador rotativo da fábrica de Oxidação. Desta forma e através do método de gestão de operações de produção e análise de falhas de equipamentos, as ações de melhoria foram implementadas, alterando parâmetros de controlo de processo e também alterando técnicas e métodos de rotinas de lavagem de equipamentos críticos.

3.5. Indicadores de desempenho (KPIs)

O departamento da produção da Indorama Ventures Portugal detém 5 indicadores chave de desempenho. Estes indicadores são importantes para monitorizar o desempenho da produção e a partir deles estudar os problemas existentes na vida de uma fábrica, isto é, estudar por forma a melhorar o desempenho tanto humano como das máquinas e assim produzir PTA com qualidade por forma a satisfazer o cliente, com o menor custo possível.

3.5.1. Volume de Produção

Pretende-se comparar a produção real com a pretendida/planeada e é fundamental para a empresa. Sob a forma de taxa, dá também uma indicação do valor relativo do afastamento. É um indicador produtivo direto.

$$\text{Volume de Produção [\%]} = \frac{\text{Produção Real}}{\text{Produção Planeada}} \quad (1)$$

3.5.2. Disponibilidade da Fábrica

É um indicador tipo taxa, embora produtivo. A escolha deste tipo de indicador indireto dá-se quando é fundamental conhecer a capacidade utilizada da instalação, de modo a prever compromissos futuros que se pretendam vir a assumir ou saber até que ponto podem vir a ser assumidos.

$$\text{Disponibilidade da fábrica [\%]} = \frac{\text{Horas reais de funcionamento}}{\text{Horas planeadas}} \quad (2)$$

3.5.3. Rendimento da qualidade da Fábrica

É um indicador direto e tem no nome o motivo para a escolha. Contudo, tem que se procurar no processo a razão final para a sua escolha, ou seja, quais as consequências da perda de qualidade, nomeadamente em termos de custos.

$$\text{Rendimento da qualidade da fábrica [\%]} = \frac{\text{PTA produzido} - \text{PTA reciclado}}{\text{PTA produzido}} \quad (3)$$

3.5.4. Desempenho da qualidade da Fábrica

É um indicador tipo taxa, embora produtivo. A escolha deste tipo de indicador indireto dá-se quando é fundamental conhecer a capacidade utilizada da instalação, de modo a prever compromissos futuros que se pretendam vir a assumir ou saber até que ponto podem vir a ser assumidos. 80t/h é o máximo de capacidade de produção da fábrica por design.

$$\text{Desempenho da qualidade da fábrica [\%]} = \frac{\text{Produção de PTA}}{\text{Horas de funcionamento} * 80\text{t/h}} \quad (4)$$

3.5.5. Eficiência geral da Fábrica

É um OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Com este indicador a empresa consegue verificar o quanto está a utilizar os recursos disponíveis na produção.

$$\text{Eficiência geral da fábrica [\%]} = \text{Disponibilidade} * \text{Rendimento} * \text{Desempenho} \quad (5)$$

3.6. Análise dos indicadores

A análise dos indicadores de desempenho da IVP PTA será realizada aos valores obtidos a partir do arranque da fábrica após *layoff*, ou seja, desde junho de 2018 até maio de 2020.

Tabela 10 – Valores de referência dos KPIs - adaptado [22]

Indicadores de Desempenho	Métrica	Referência (%)
Volume de Produção	Produção/Planeado	95%
Disponibilidade da Fábrica	Horas reais de funcionamento/Horas planeadas	≥ 95,1%
Rendimento da qualidade da Fábrica (taxa de produção dentro de especificação)	(PTA Produzido - PTA Reciclado)/PTA Produzido	95%
Desempenho da qualidade da Fábrica (taxa de produção de PTA face ao design da fábrica)	Produção de PTA/ (Horas de funcionamento*80t/h (máximo de produção))	93%
Eficiência geral da Fábrica	Disponibilidade*Rendimento*Desempenho	84%

3.6.1. Volume de Produção

Tabela 11- Volume de Produção de PTA - 2018

Ano 2018	Produção planeada diária [toneladas]	Produção planeada mensal [toneladas]	Paragem programada [horas]	Produção real mensal [toneladas]	Resultado KPI Volume Produção	Target KPI
Junho	Mês do arranque - dia 23					
Julho	1800	1800*31dias = 55800	0	55670	99,8%	95%
Agosto	1800	1800*31dias = 55800	0	49594	88,9%	95%
Setembro	1800	1800*30dias = 54000	0	56695	105,0%	95%
Outubro	1824	1824*29,25dias = 53352	42	22990	43,1%	95%
Novembro	1824	1824*30dias = 54720	0	49751	90,9%	95%
Dezembro	1824	1824*31dias = 56544	0	36983	65,4%	95%

Manobras/falhas críticas no ano 2018 que influenciou o KPI – volume produção:

Agosto

- Reduziu-se a rate da fábrica de Oxidação por um dia, para trocar o *bellow* (junta de expansão) de vapor do secador de CTA porque tinha uma fuga considerável;
- Paragem não programada da fábrica por 4 dias, devido a fuga de ácido acético numa válvula. A manutenção interviu e a produção aproveitou para lavar o secador de CTA, pois este apresentava uma temperatura do pó à saída muito baixa.
- Paragem não programada de um dia por falha de uma PCV (*Pressure Control Valve*) no controlo automático do processo da fábrica de oxidação.

Outubro

- Paragem não programada da oxidação devido a um entupimento no reator e aproveitou-se para lavar o secador da oxidação que tinha a temperatura de saída muito baixa. Também se trocou o catalisador do reator da fábrica de Purificação, porque já estava a aparecer millipore no PTA. *Millipore* é uma análise realizada ao produto final que consiste na análise de impurezas existentes no PTA. Esta análise é feita para perceber o estado do catalisador, ou seja, quando presente na amostra é sinal que o catalisador já é um pó fino e em fim de vida. Paragem total contabilizou cerca de 14 dias.
- Paragem não programada por falha de um caudalímetro que estava em controlo de processo da fábrica de oxidação que despoletou uma paragem automática e segura da fábrica.
- Paragem não programada por falha de caudal no selo do agitador do reator da oxidação (2 dias parados).

Novembro

- Paragem não programada devido a uma fuga de ácido acético numa linha de retorno, de uma bomba (cerca de 2 dias de paragem para lavar tudo, cortar e soldar).
- Paragem não programada devido a falha da UPS (*Uninterruptible Power Supply*) que despoletou um corte na alimentação elétrica (cerca de 16h de paragem).

Dezembro

- Paragem de cerca de 10 dias da fábrica para lavagem de alta pressão do secador da oxidação – temperatura de saída fora de parâmetros.

Tabela 12 – Volume de Produção de PTA – 2019

Ano 2019	Produção planeada diária [toneladas]	Produção planeada mensal [toneladas]	Paragem programada [horas]	Produção real mensal [toneladas]	Resultado KPI Volume Produção	Target KPI
Janeiro	1860	1860*31dias = 57660	0	57233	99,3%	95%
Fevereiro	1860	1860*28dias = 52080	0	51695	99,3%	95%
Março	1860	1860*28dias = 52081	72	52268	100,4%	95%
Abril	1860	1860*30dias = 55800	0	57061	102,3%	95%
Maio	1860	1860*31dias = 57660	0	55731	96,7%	95%
Junho	1860	1860*24dias = 44640	144	41299	92,5%	95%
Julho	1860	1860*31dias = 57660	0	58590	101,6%	95%
Agosto	1860	1860*31dias = 57660	0	45674	79,2%	95%
Setembro	1860	1860*30dias = 55800	0	54741	98,1%	95%
Outubro	1824	1824*31dias = 56544	0	56917	100,7%	95%
Novembro	1824	1824*11dias = 20064	456	19588	97,6%	95%
Dezembro	1824	1824*31dias = 56544	0	29582	52,3%	95%

Manobras/falhas críticas no ano 2019 que influenciou o KPI – volume produção:

Junho

- Paragem por falha do compressor de ar e a paragem programada foi antecipada por cerca de 2 dias.
- Paragem não programada por falha de transmissor de nível de um equipamento crítico – substituiu-se o equipamento.

Agosto

- Paragem não programada devido a falha elétrica.
- Paragem da fábrica para abastecer o reator da purificação de catalisador, pois na paragem não programada anterior perdeu-se algum catalisador devido às oscilações bruscas de pressão.

Dezembro

- Paragem não programada por falha de um transmissor de pressão e consequente paragem automática e controlada da fábrica.
- Paragem por falha no abastecimento de paraxileno – interrupção da circulação de navios motivada pela alteração da regulamentação do teor de enxofre nos combustíveis.

Tabela 13 – Volume de Produção de PTA - 2020

Ano 2020	Produção planeada diária [toneladas]	Produção planeada mensal [toneladas]	Paragem programada [horas]	Produção real mensal [toneladas]	Resultado KPI Volume Produção	Target KPI
Janeiro	1860	1860*31dias = 57660	0	55264	95,8%	95%
Fevereiro	1860	1860*29dias = 53940	0	43018	79,8%	95%
Março	1860	1860*31dias = 57660	0	43693	75,8%	95%
Abril	1860	1860*30dias = 55800	0	55680	99,8%	95%
Mai	1860	1860*31dias = 57660	0	56860	98,6%	95%

Manobras/falhas críticas no ano 2020 que influenciou o KPI – volume produção:

Fevereiro e março

- Paragem de emergência por entupimento/colmatação do leito catalítico do reator da purificação. Uma falha humana permitiu a subida da densidade da pasta acima do limite de solubilidade. Este acontecimento conduziu a uma perda significativa da quantidade e qualidade do catalisador do reator.

Nos meses de fevereiro e março aconteceu um significativo défice de produção tendo-se aumentado a taxa de produção nos meses seguintes para garantir as encomendas, recuperar e tentar alcançar as metas pretendidas. Verificando-se nos meses seguintes valores acima do planeado. Não se conseguiu, deste modo, alcançar um valor estável de 95% de volume de produção.

3.6.2. Disponibilidade da Fábrica

Tabela 14 – Disponibilidade da fábrica PTA - 2018

Ano 2018	Dias planeados em funcionamento	Horas planeadas de funcionamento	Horas reais de funcionamento	Resultado KPI Disponibilidade	Target KPI
Junho	Mês do arranque - dia 23				
Julho	31	744	744	100,0%	≥ 95,1%
Agosto	31	744	653	87,8%	≥ 95,1%
Setembro	30	720	720	100,0%	≥ 95,1%
Outubro	29,25	702	302	43,0%	≥ 95,1%
Novembro	30	720	664	92,2%	≥ 95,1%
Dezembro	31	744	485	65,2%	≥ 95,1%

Tabela 15 - Disponibilidade da fábrica PTA - 2019

Ano 2019	Dias planeados em funcionamento	Horas planeadas de funcionamento	Horas reais de funcionamento	Resultado KPI Disponibilidade	Target KPI
Janeiro	31	744	744,0	100,0%	≥ 95,1%
Fevereiro	28	672	652,8	97,1%	≥ 95,1%
Março	28	672	656,0	97,6%	≥ 95,1%
Abril	30	720	720,0	100,0%	≥ 95,1%
Maio	31	744	718,3	96,5%	≥ 95,1%
Junho	24	577	536,5	93,0%	≥ 95,1%
Julho	31	744	744,0	100,0%	≥ 95,1%
Agosto	31	744	617,5	83,0%	≥ 95,1%
Setembro	30	720	716,0	99,4%	≥ 95,1%
Outubro	31	744	745,0	100,1%	≥ 95,1%
Novembro	11	264	259,5	98,3%	≥ 95,1%
Dezembro	31	744	388,3	52,2%	≥ 95,1%

Tabela 16 - Disponibilidade da fábrica PTA - 2020

Ano 2020	Dias planeados em funcionamento	Horas planeadas de funcionamento	Horas reais de funcionamento	Resultado KPI Disponibilidade	Target KPI
Janeiro	31	744	744,0	100,0%	≥ 95,1%
Fevereiro	29	696	582,0	83,6%	≥ 95,1%
Março	31	744	550,5	74,0%	≥ 95,1%
Abril	30	720	720,0	100,0%	≥ 95,1%
Maio	31	744	744,0	100,0%	≥ 95,1%

Da análise das tabelas podemos observar que a disponibilidade da fábrica foi afetada de forma análoga e nos mesmos meses que o KPI volume de produção. Como os acontecimentos das manobras/falhas críticas mencionadas acima no ponto 3.5.1 resultaram em paragens não planeadas da produção e não se atingiu o tempo do *budget* programado.

3.6.3. Rendimento da Qualidade da Fábrica

Tabela 17 – Rendimento da Qualidade da fábrica PTA - 2018

Ano 2018	PTA produzido [t]	PTA Reciclado [t]	Resultado KPI Rendimento	Target KPI
Junho	Mês do arranque - dia 23			
Julho	55670	1974,7	96,5%	95%
Agosto	49594	3697,7	92,5%	95%
Setembro	56695	340,0	99,4%	95%
Outubro	22990	997,0	95,7%	95%
Novembro	49751	650,0	98,7%	95%
Dezembro	36983	1566,0	95,8%	95%

Tabela 18 - Rendimento da Qualidade da fábrica PTA - 2019

Ano 2019	PTA produzido [t]	PTA Reciclado [t]	Resultado KPI Rendimento	Target KPI
Janeiro	57233	2627	95,4%	95%
Fevereiro	51695	2338	95,5%	95%
Março	52268	2416	95,4%	95%
Abril	57061	961	98,3%	95%
Maio	55731	2360	95,8%	95%
Junho	41299	1916	95,4%	95%
Julho	58590	47	99,9%	95%
Agosto	45674	1802	96,1%	95%
Setembro	54741	1255	97,7%	95%
Outubro	56917	166	99,7%	95%
Novembro	19588	350	98,2%	95%
Dezembro	29582	1651	94,4%	95%

Tabela 19 - Rendimento da Qualidade da fábrica PTA - 2020

Ano 2020	PTA produzido [t]	PTA Reciclado [t]	Resultado KPI Rendimento	Target KPI
Janeiro	55264	1016,64	98,2%	95%
Fevereiro	43018	910,46	97,9%	95%
Março	43693	853,52	98,0%	95%

Abril	55680	465,08	99,2%	95%
Maio	56860	976,18	98,3%	95%

O rendimento da qualidade da fábrica depende da quantidade de PTA produzido em cada mês e do PTA reciclado. O PTA é reciclado quando está fora de especificação e por norma isso acontece quando existem perturbações no sistema.

Pode-se verificar no ponto 3.5.1, que as perturbações são maioritariamente na fábrica de CTA. Deste modo e por ser uma fábrica processualmente independente, a fábrica de purificação tem a capacidade de reciclar um lote de produção sem que a produção contínua seja afetada.

Destacam-se o mês de Agosto de 2018 pelo volume grande de PTA reciclado e Dezembro de 2019 onde, e apesar de eventos de PTA reciclado, a produção reduzida de PTA foi o fator determinante para o target não ser atingido. Verificaram-se também percentagens acima do target solicitado, evidenciando o peso do aumento de produção para compensar as paragens não planeadas.

3.6.4. Desempenho da Qualidade da Fábrica

Tabela 20 – Desempenho da qualidade da fábrica PTA - 2018

Ano 2018	Produção real mensal [toneladas]	Horas reais de funcionamento	Capacidade máxima de produção [t/h]	Resultado KPI Desempenho	Target KPI
Junho	Mês do arranque - dia 23				
Julho	55670	744,0	80	93,5%	93%
Agosto	49594	653,0	80	94,9%	93%
Setembro	56695	720,0	80	98,4%	93%
Outubro	22990	302,0	80	95,2%	93%
Novembro	49751	664,0	80	93,7%	93%
Dezembro	36983	485,0	80	95,3%	93%

Tabela 21 - Desempenho da qualidade da fábrica PTA - 2019

Ano 2019	Produção real mensal [toneladas]	Horas reais de funcionamento	Capacidade máxima de produção [t/h]	Resultado KPI Desempenho	Target KPI
Janeiro	57233	744,0	80	96,2%	93%
Fevereiro	51695	652,8	80	99,0%	93%
Março	52268	656,0	80	99,6%	93%
Abril	57061	720,0	80	99,1%	93%
Maio	55731	718,3	80	97,0%	93%
Junho	41299	536,5	80	96,2%	93%
Julho	58590	744,0	80	98,4%	93%
Agosto	45674	617,5	80	92,5%	93%

Setembro	54741	716,0	80	95,6%	93%
Outubro	56917	745,0	80	95,5%	93%
Novembro	19588	259,5	80	94,4%	93%
Dezembro	29582	388,3	80	95,2%	93%

Tabela 22 - Desempenho da qualidade da fábrica PTA - 2020

Ano 2020	Produção real mensal [toneladas]	Horas reais de funcionamento	Capacidade máxima de produção [t/h]	Resultado KPI Desempenho	Target KPI
Janeiro	55264	744,0	80	92,8%	93%
Fevereiro	43018	582,0	80	92,4%	93%
Março	43693	550,5	80	99,2%	93%
Abril	55680	720,0	80	96,7%	93%
Maio	56860	744,0	80	95,5%	93%

Da análise das tabelas conclui-se que a que a fábrica apresenta um bom desempenho na generalidade dos meses.

Verifica-se, no entanto, que no mês de Agosto de 2019 onde duas paragens, com as inevitáveis rampas de arranque, e um alto valor de reciclagem afetaram negativamente o desempenho. Também os meses de Janeiro e Fevereiro de 2020 onde constrangimentos no abastecimento de paraxileno, motivados pela alteração da legislação dos combustíveis marítimos, impuseram uma desaceleração da fábrica para evitar um paragem total.

3.6.5. Eficiência geral da Fábrica

Tabela 23 – Eficiência geral da fabrica PTA - 2018

Ano 2018	KPI Disponibilidade	KPI Rendimento	KPI Desempenho	Resultado KPI Eficiência	Target KPI
Junho	Mês do arranque - dia 23				
Julho	100,0%	96,5%	93,5%	90,2%	84%
Agosto	87,8%	92,5%	94,9%	77,1%	84%
Setembro	100,0%	99,4%	98,4%	97,8%	84%
Outubro	43,0%	95,7%	95,2%	39,2%	84%
Novembro	92,2%	98,7%	93,7%	85,2%	84%
Dezembro	65,2%	95,8%	95,3%	59,5%	84%

Tabela 24 - Eficiência geral da fabrica PTA - 2019

Ano 2019	KPI Disponibilidade	KPI Rendimento	KPI Desempenho	Resultado KPI Eficiência	Target KPI
Janeiro	100,0%	95,4%	96,2%	91,7%	84%
Fevereiro	97,1%	95,5%	99,0%	91,8%	84%
Março	97,6%	95,4%	99,6%	92,7%	84%
Abril	100,0%	98,3%	99,1%	97,4%	84%
Maio	96,5%	95,8%	97,0%	89,7%	84%
Junho	93,0%	95,4%	96,2%	85,3%	84%
Julho	100,0%	99,9%	98,4%	98,4%	84%
Agosto	83,0%	96,1%	92,5%	73,7%	84%
Setembro	99,4%	97,7%	95,6%	92,9%	84%
Outubro	100,1%	99,7%	95,5%	95,3%	84%
Novembro	98,3%	98,2%	94,4%	91,1%	84%
Dezembro	52,2%	94,4%	95,2%	46,9%	84%

Tabela 25 - Eficiência geral da fabrica PTA - 2020

Ano 2020	KPI Disponibilidade	KPI Rendimento	KPI Desempenho	Resultado KPI Eficiência	Target KPI
Janeiro	100,0%	98,2%	92,8%	91,1%	84%
Fevereiro	83,6%	97,9%	92,4%	75,6%	84%
Março	74,0%	98,0%	99,2%	72,0%	84%
Abril	100,0%	99,2%	96,7%	95,9%	84%
Maio	100,0%	98,3%	95,5%	93,9%	84%

A análise deste KPI é muito importante para a empresa porque revela a eficiência geral da fábrica concluindo se os recursos estão a ser bem utilizados.

Conclui-se assim que o ano 2018 não foi um ano bom porque, dos 6 meses de produção, em 3 meses não foi atingido o target de eficiência pretendido.

O ano 2019 foi um ano muito melhor porque apenas dois meses não alcançaram a meta pretendida, mas o mês de dezembro foi facilmente justificável pela paragem de circulação de navios por questões ambientais alheias à IVP.

O ano 2020 não iniciou da melhor forma e o evento de perda de catalisador no reator da purificação por falha humana, que afetou dois meses de produção, levou também a perdas económicas significativas.

3.7. Análise e propostas de melhoria

Tabela 26 – Resumo mensal dos KPIs da IVP não alcançados

Ano	Mês	KPI não alcançado				
		Volume produção	Disponibilidade	Rendimento	Desempenho	Eficiência
2018	Junho	Mês do arranque - dia 23				
	Julho					
	Agosto	X	X	X		X
	Setembro					
	Outubro	X	X			X
	Novembro	X	X			
	Dezembro	X	X			X
2019	Janeiro					
	Fevereiro					
	Março					
	Abril					
	Maio					
	Junho	X	X			
	Julho					
	Agosto	X	X		X	X
	Setembro					
	Outubro					
	Novembro					
Dezembro	X	X			X	
2020	Janeiro				X	
	Fevereiro	X	X		X	X
	Março	X	X			X
	Abril					
	Maio					

Como se pode verificar no quadro acima, foram vários os meses que algum indicador não foi atingido.

Em 2018, no rearranque da fábrica após 3 anos sem produzir, constataram-se falhas em diversos equipamentos que impediram a disponibilidade normal da fábrica em metade dos meses de produção. Condicionando assim o volume e eficiência da produção.

2019 foi um ano, na generalidade, muito melhor onde se destacam pela negativa o mês de Agosto, com duas paragens não programadas, e Dezembro pela falha no abastecimento de paraxileno.

O ano de 2020 iniciou-se com constrangimentos no abastecimento de paraxileno nos primeiros dois meses e na falha humana que aconteceu no final de Fevereiro, levou a uma perda significativa de produção que atinge praticamente todos os indicadores.

Retrocedendo novamente a 2018, em agosto detetaram-se problemas graves no desempenho do secador da oxidação que é um equipamento crítico para a produção contínua de PTA.

Nesse mês e em outubro ocorreram paragens não programadas devido à falha de vários equipamentos. Esses eventos possibilitaram a que fosse feita a lavagem do secador com soda cáustica e água desmineralizada e deste modo não recorrendo a paragens programadas para esse efeito.

Em dezembro houve a necessidade de efetuar uma paragem para a lavagem a alta pressão do secador da oxidação, porque este estava bastante colmatado e com baixa eficiência. Desde agosto, após a detecção do problema, interviu-se com medidas operacionais ao fenómeno de temperatura baixa à saída do secador, mas este problema persistiu e foi alvo de estudo. Estudo este, de que fiz parte e será apresentado e desenvolvido na presente dissertação.

3.7.1. Filtração e secagem – Descrição do processo

A pasta de CTA proveniente dos cristalizadores (com 34% de sólidos), formada na área da reação da oxidação é enviada para a área da filtração, onde através de filtros rotativos (M1-410A/B) são separadas a fase líquida da fase sólida.

A fase líquida é enviada por vácuo, para depósitos (F1-411A/B) e depois enviada para a área de recuperação de solvente da fábrica de oxidação e deste modo voltar ao processo evitando desperdícios. Os equipamentos F1-417 (depósito); G1-416A/B (bombas de vácuo); E1-415A/B e E1-419A/B (permutadores) e G1-418A/B (bombas para selo líquido das G1-416) fazem parte do processo de produção de vácuo do sistema.

A fase sólida, com 85% de sólidos de PTA é enviada para o secador horizontal rotativo da oxidação (M1-423). [24]

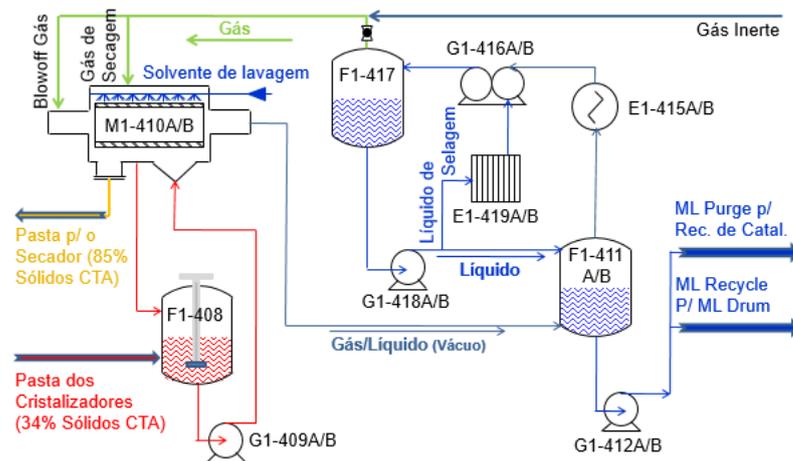


Figura 19 – Esquema da área da filtração da Oxidação [24]

- 1 – Tambor rotativo
- 10 – Lavagem do bolo
- A – Entrada da pasta
- B – Saída do filtrado
- C – Saída da pasta
- D – Gás de sopro/secagem

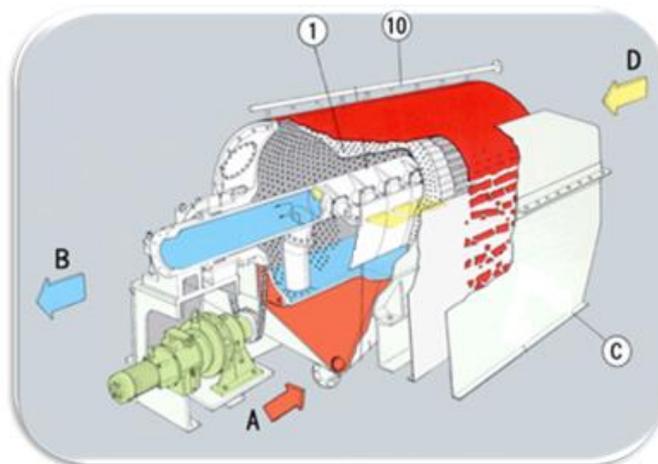


Figura 20 – Esquema do filtro rotativo de vácuo (RVDF) [24]

Os RVDF enviam a pasta para os parafusos/secador a 85°C e ligeiramente acima da pressão atmosférica, 85% sólidos CTA + 14% Ácido acético + 0,8% H₂O + 0,1% de sub produtos.

A área de secagem da oxidação consiste no aquecimento da pasta de CTA recebida dos RVDF, com o objetivo de reduzir o teor em ácido acético, e posterior reencaminhamento do pó de CTA para a fábrica de Purificação. [23]

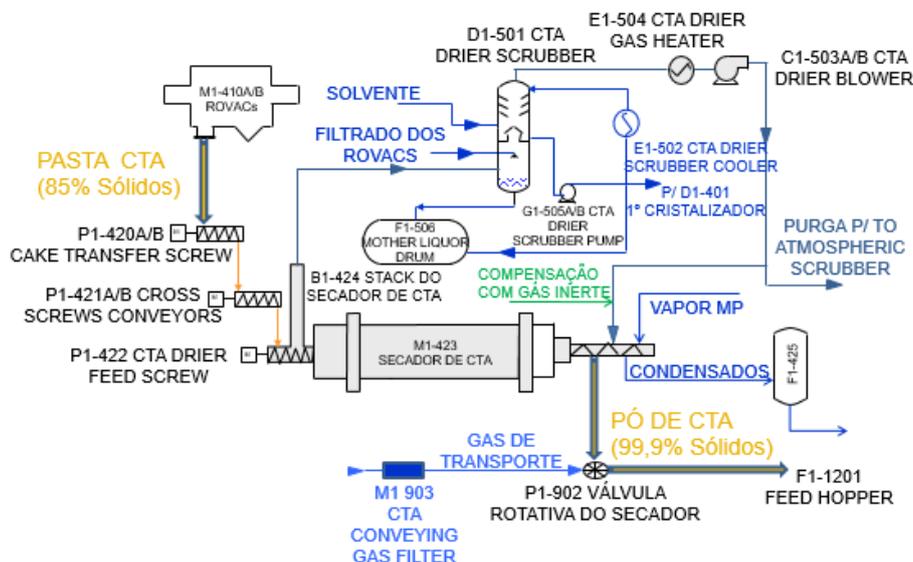


Figura 21 – Esquema da área de secagem da oxidação [23]

Pode-se observar no esquema acima, da área de secagem da oxidação que a pasta de CTA é encaminhada para o secador de CTA através de parafusos do tipo sem fim, P1-420A/B, P1-421A/B e P1-422. No secador a pasta é aquecida através da circulação de vapor a 6 barg e 159°C, pelas serpentinas internas e de seguida enviado para a fábrica de purificação através de uma válvula rotativa e gás inerte de transporte. Existe também um sistema de lavagem do gás de arraste do secador, que são todos os outros equipamentos representados na figura 21.

Este gás é enviado em contracorrente para arrastar o ácido acético evaporado no secador. No sistema de lavagem deste gás de arraste são recuperados os sólidos arrastados enviados para o tanque de licor-mãe, e o solvente existente no gás é reintroduzido no secador.



Figura 22 – Secador de CTA – Oxidação [23]



Figura 23 – Secador de CTA – Oxidação [23]

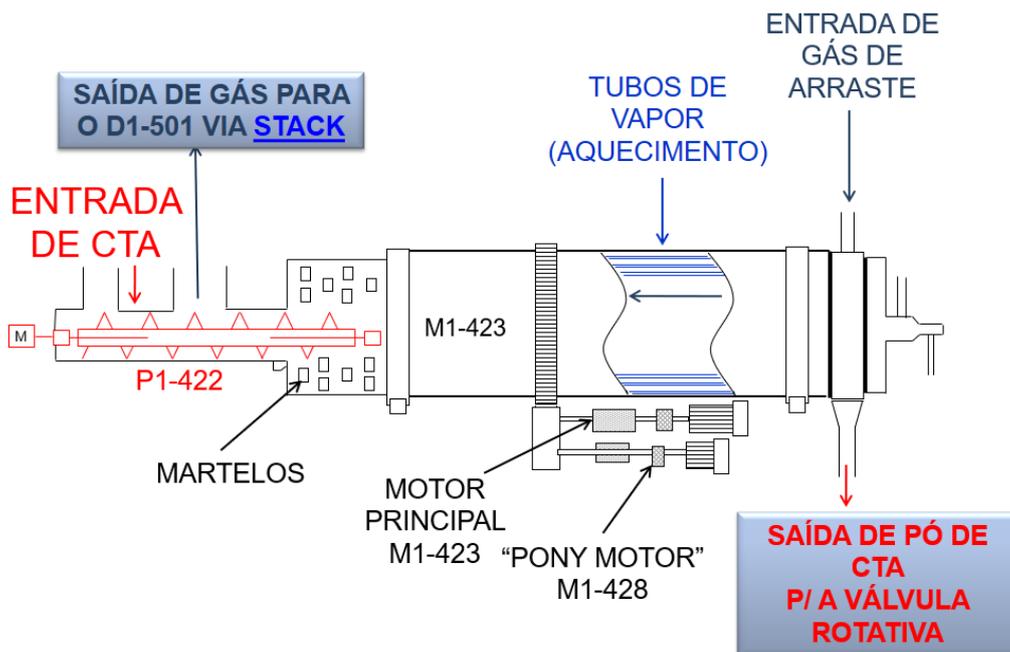


Figura 24 – Esquema do secador da oxidação [23]

3.7.2. Análise da temperatura de saída do secador da Oxidação

A pasta de CTA é aquecida através de tubos (serpentina), localizados no interior do secador, com vapor a 159° C. Os gráficos que se seguem mostram a temperatura média diária à saída do secador, desde agosto de 2018 até junho de 2020. A temperatura normal de trabalho é 150°C +/- 5°C. Esta temperatura é influenciada pela pressão do vapor, porque quanto maior for a pressão, existe mais passagem de caudal de vapor, logo a temperatura sobe.

A descida da temperatura, em condições normais, significa que o secador está a ficar colmatado com pasta/pedras de CTA e assim, existe uma rotina trimestral de lavagem do secador com uma solução soda cáustica a 80°C.

Inicialmente a pressão de vapor do secador era controlada pela temperatura do pó à saída do secador a 148 °C e estava limitada a um máximo de 4,5 barg. Posteriormente, após informação de outras fábricas do grupo que verificaram que a implementação de uma pressão constante "permitindo" a flutuação da temperatura, dentro de limites, iria aumentar a vida útil do secador - esta pressão foi fixada em 4,5 barg.

Em agosto de 2018 o desempenho do secador diminuiu e iniciou-se um registo diário das condições de trabalho do secador, para prever uma paragem não planeada.

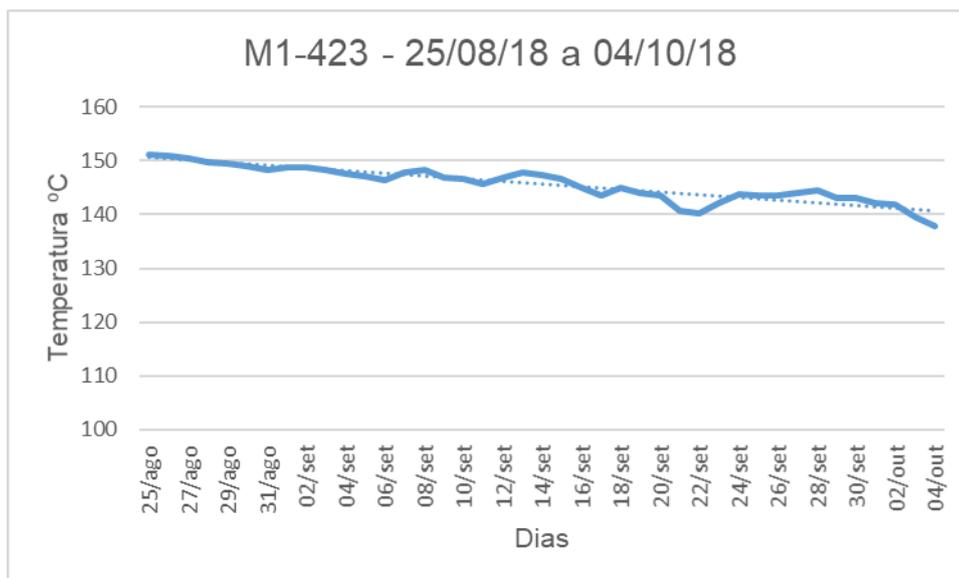


Figura 25 – 1º período de análise de temperatura do M1-423

Neste intervalo de tempo, de 25 de agosto a 4 de outubro, de 2018 é perceptível que a temperatura do secador tende a descer rápido. Em 40 dias a temperatura foi de 151°C para 137°C.

A temperatura já se encontrava abaixo do normal, portanto, em primeira instância foi aumentada a pressão do vapor ao secador de 4,5barg para 5,6barg de forma escalonada.

A subida verificada de 06 de setembro de 2018 foi devido ao aumento de pressão de 4,5barg para 4,7barg, a dia 11 de setembro de 2018 voltou-se a subir a pressão de vapor de 4,7barg para 5barg. Dia 18 de setembro de 2018 subiu-se de 5barg para 5,3barg, dia 19 de setembro de 2018 para 5,4barg, dia 20 de setembro de 2018 para 5,55barg e finalmente dia 21 de setembro de 2018 para 5,6barg onde paralelamente se reduziu 3 toneladas de produção para tentar não sobrecarregar o secador.

A 5 de outubro de 2018 a fábrica parou devido a um entupimento no reator da oxidação e como o secador já estava com valores de temperatura anómalos, que indicava muita sujidade do secador, aproveitou-se esta paragem não programada para fazer uma lavagem.

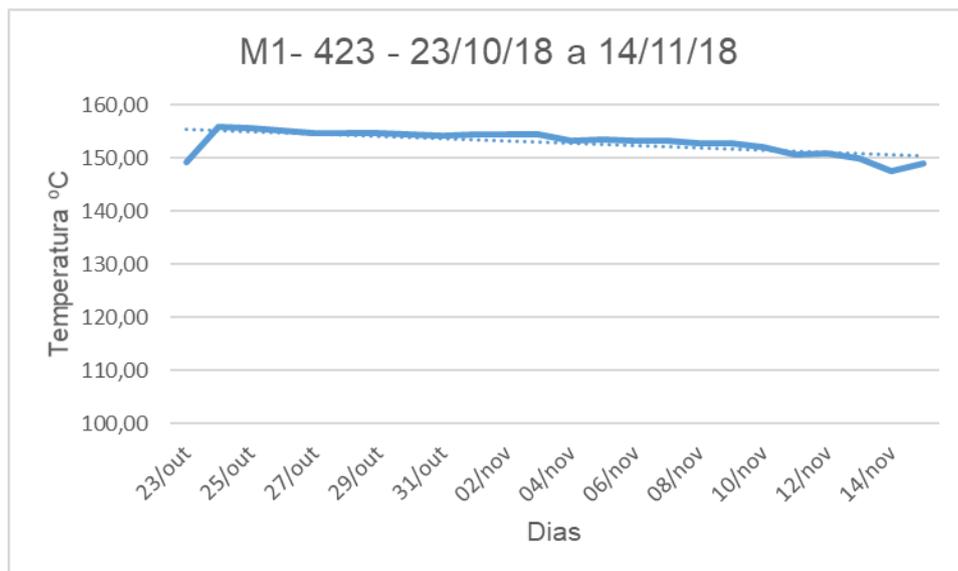


Figura 26 – 2º período de análise de temperatura do M1-423

Dia 23 de outubro de 2018 verificou-se o aumento normal de temperatura, devido ao arranque da fábrica. Este arranque foi feito com a pressão de vapor ao secador a 5barg.

É perceptível que a temperatura do secador tende a baixar rapidamente, pois em 27 dias baixou de 156°C para cerca de 149°C. Dia 14 de novembro de 2018 ao atingir os 147°C incrementou-se a pressão de vapor ao secador de 5barg para 5,6barg e reduziu-se 2 toneladas à produção de CTA.

A 16 de novembro de 2018 a fábrica parou devido a uma fuga considerável de ácido acético por uma soldadura. Aproveitou-se o tempo de paragem para fazer uma lavagem ao secador com uma solução de soda cáustica a 80°C e de seguida com água.

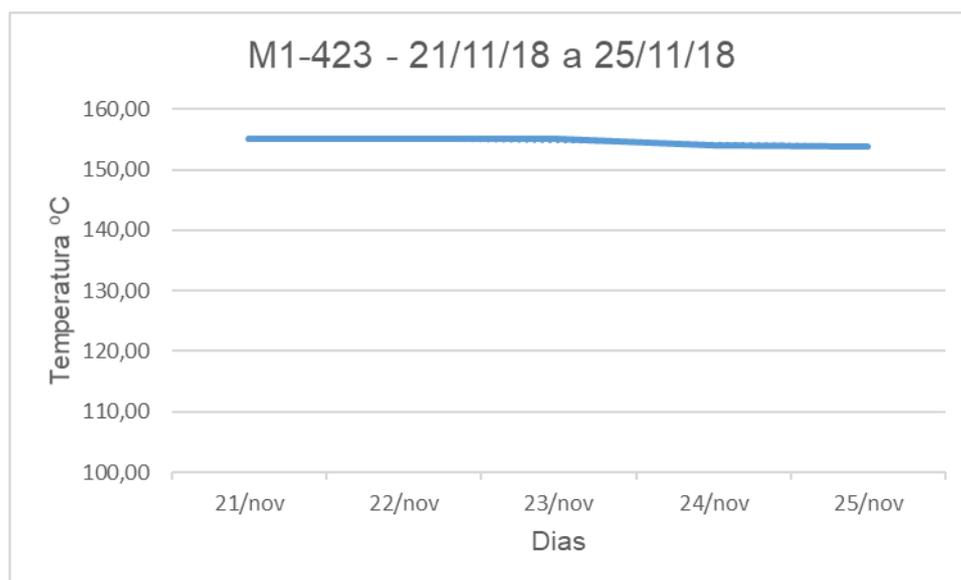


Figura 27 – 3º período de análise de temperatura do M1-423

Neste período de 5 dias não houve alteração de temperatura, mas é um intervalo pequeno

para fazer uma avaliação. Arrancou-se com a pressão de vapor ao secador a 5barg.

A fábrica parou devido a uma falha numa UPS e assim se manteve durante cerca de 16 horas. Não foi lavado o secador.

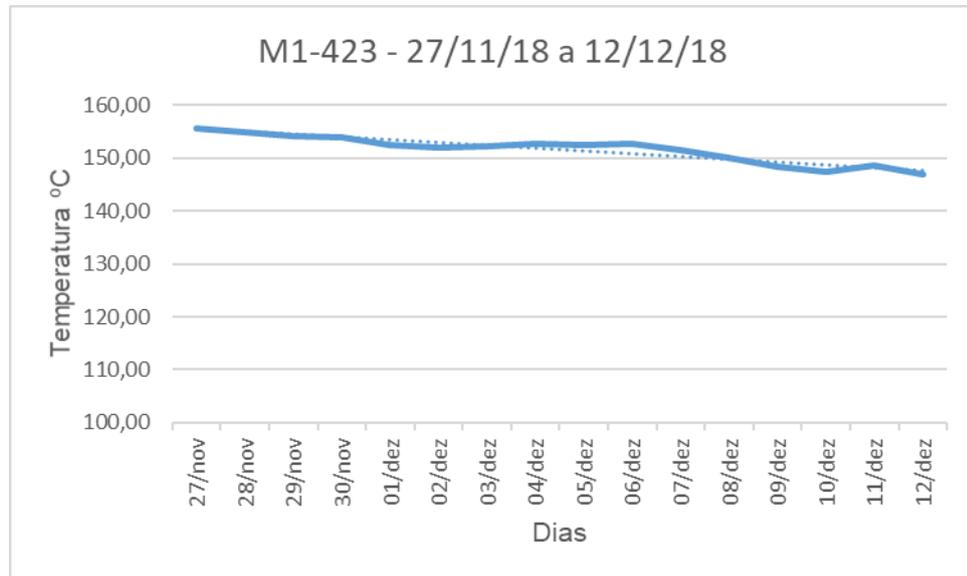


Figura 28 – 4º período de análise de temperatura do M1-423

Neste período de 16 dias de produção de CTA, verifica-se que a temperatura do secador da oxidação tende a baixar. Baixou de 156°C para cerca de 147°C e a pressão de vapor ao secador manteve-se sempre a 5barg.

Dia 12 de dezembro de 2018 decidiu-se parar para fazer uma lavagem a alta pressão ao secador da oxidação para remover todas as pedras que estivessem acumuladas.

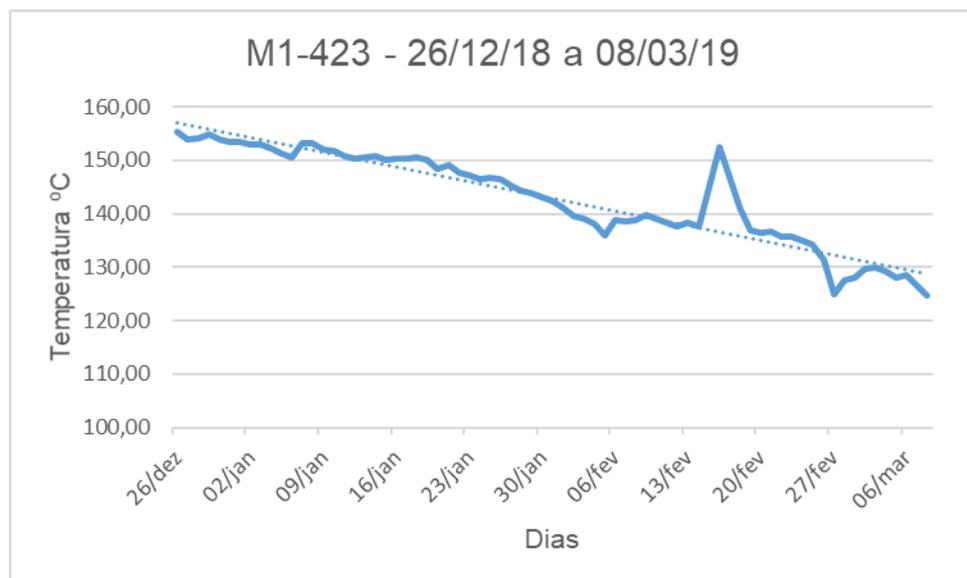


Figura 29 – 5º período de análise de temperatura do M1-423

Neste período de produção, 82 dias, iniciou-se com a pressão ao secador da oxidação a

5barg. A dia 06 de janeiro aumentou-se a pressão para 5,6barg porque a temperatura baixou de 155°C para 150°C.

A 5 de fevereiro de 2019 o secador estava com cerca de 136°C e decidiu-se aumentar a pressão de vapor para 5,8barg.

O aumento de temperatura mostrado a dia 15 de fevereiro foi devido a uma paragem não programada da oxidação por falha da turbina de vapor. Nestas situações de paragens não programadas e curtas, o secador da oxidação descarrega todo o pó e mantém-se em rotação à temperatura de trabalho, pronto para receber o CTA da filtração.

O limite inferior de temperatura estimado para um bom funcionamento do secador da oxidação é 130°C. A dia 26 de fevereiro atingiu-se os 131°C e como a IVP não podia parar a produção, aumentou-se mais uma vez a pressão do vapor ao secador para 6barg.

Dia 6 de março de 2019 parou-se a fábrica com 125°C no secador da oxidação para a necessária lavagem do secador. Nesta paragem procedeu-se à **substituição da tela do RVDF A** (com outras características) com o intuito de melhorar a eficiência da filtração conduzindo a uma pasta com menor teor de humidade na alimentação do secador e assim evitar uma colmatação/sujamento tão rápido do secador.

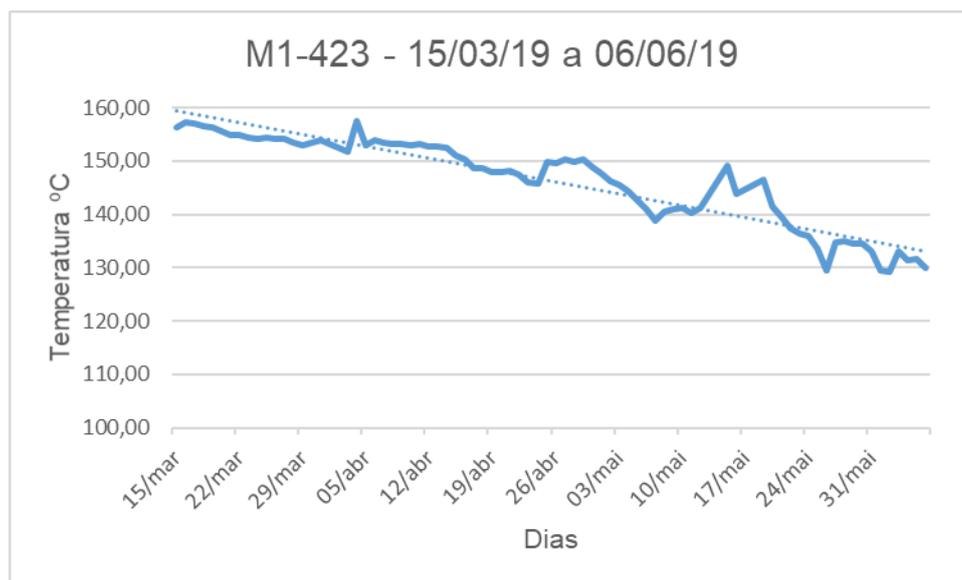


Figura 30 - 6º período de análise de temperatura do M1-423

Neste período de 79 dias de produção é visível que a temperatura tende a baixar, mas o declive da reta já é menos acentuado. Iniciou-se a secagem do CTA com 5,2barg de vapor e 156°C. A dia 4 de abril de 2019 com 151°C aumentou-se a pressão para 5,6barg. A dia 16 de maio de 2019 aumentou-se a rate da fábrica, por consequência o secador fica com mais carga e a temperatura tende a baixar. Dia 27 de maio, com 129°C aumentou-se a pressão do vapor para 6barg.

Dia 6 de junho de 2019 decidiu-se parar a fábrica de forma controlada para lavagem do secador que estava com 130°C e para **substituição da tela do RVDF B**.

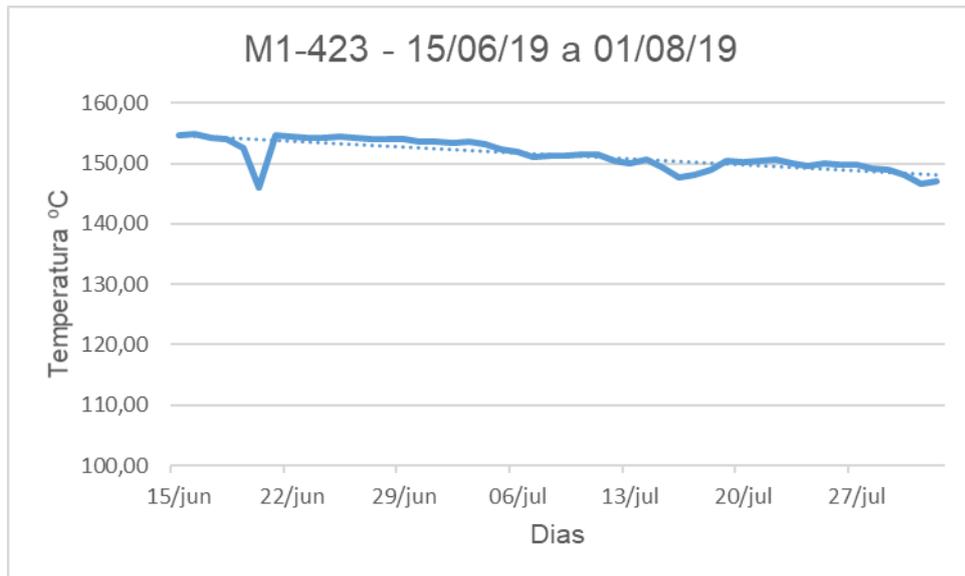


Figura 31 – 7º período de análise de temperatura do M1-423

Neste período de 47 dias de produção contínua com a rate a cerca de 79 t/h, verifica-se que a temperatura se mantém estável. Iniciou-se a secagem com 5,2barg de vapor e 155°C no secador. A 17 de julho 2019 aumentou-se a pressão do vapor ao secador para 5,6barg.

Os RVDF estavam com um bom desempenho e as lavagens com soda cáustica aos filtros foram reduzidas e maioritariamente com solvente.

A 2 de agosto de 2019 a fábrica parou por falha elétrica. Como foi necessário adicionar catalisador ao reator da purificação, decidiu-se lavar o secador da oxidação, visto que foram 10 dias de paragem.

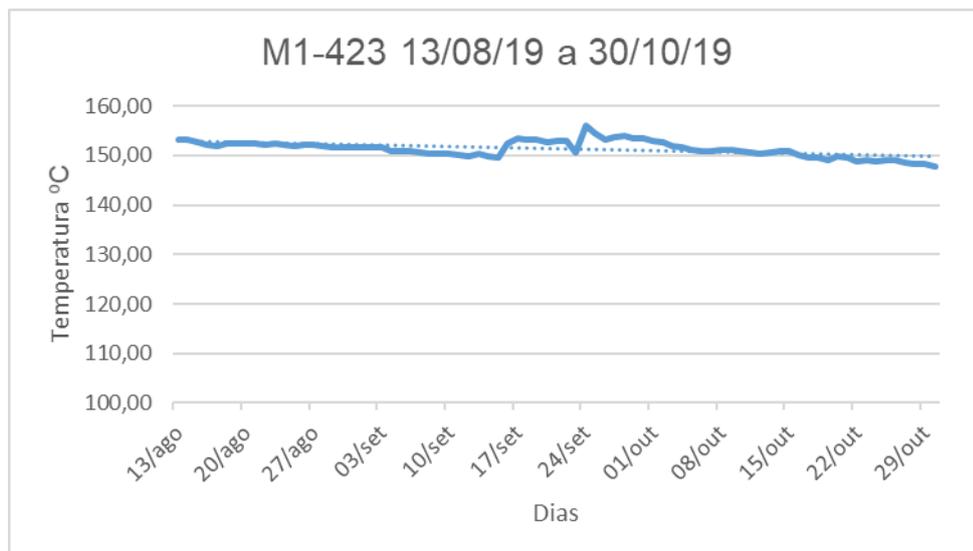


Figura 32 – 8º período de análise de temperatura do M1-423

Neste período com rate entre 77 e 79 t/h, iniciaram-se as lavagens aos RVDF sem paragem da bomba de vácuo, pois estas são agressivas para os empanques dos filtros,

permitindo a passagem de ar. A filtração piora e por consequência o secador fica colmatado.

Devido à substituição da tela dos RVDF foi possível **alterar a rotina diária** de lavagem dos RVDF, melhorando assim a eficiência da filtração e secagem da oxidação.

A 16 de setembro o set point do vapor ao secador foi aumentado de 5barg para 5,6barg. Esta pressão de vapor ao secador da oxidação de 5,6barg foi mantida como condição normal de funcionamento, parâmetros fornecidos pelo grupo Indorama com fábrica gêmea na Tailândia.

Dia 1 de Novembro 2019 a fábrica parou para manutenção programada. O secador da oxidação é sempre lavado nestas paragens programadas.

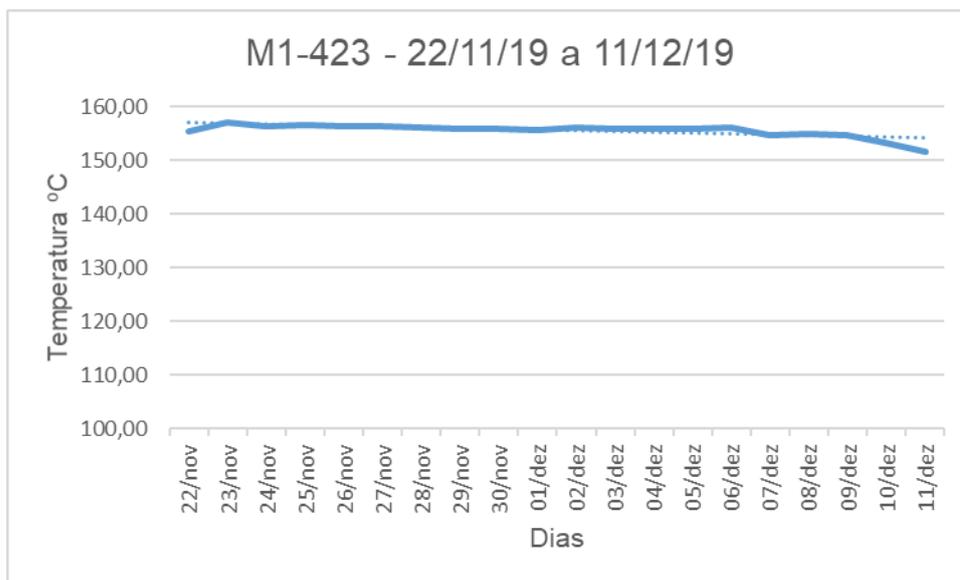


Figura 33 – 9º período de análise de temperatura do M1-423

Neste período de 19 dias, verifica-se o comportamento estável do secador. Os dois filtros foram lavados 2 vezes cada, com uma solução de soda cáustica e sem paragem da bomba de vácuo.

Esta paragem da fábrica por 10 dias resultou da falta de matéria prima devido a questões ambientais na circulação de navios em águas europeias. Neste período decidiu-se lavar o secador.

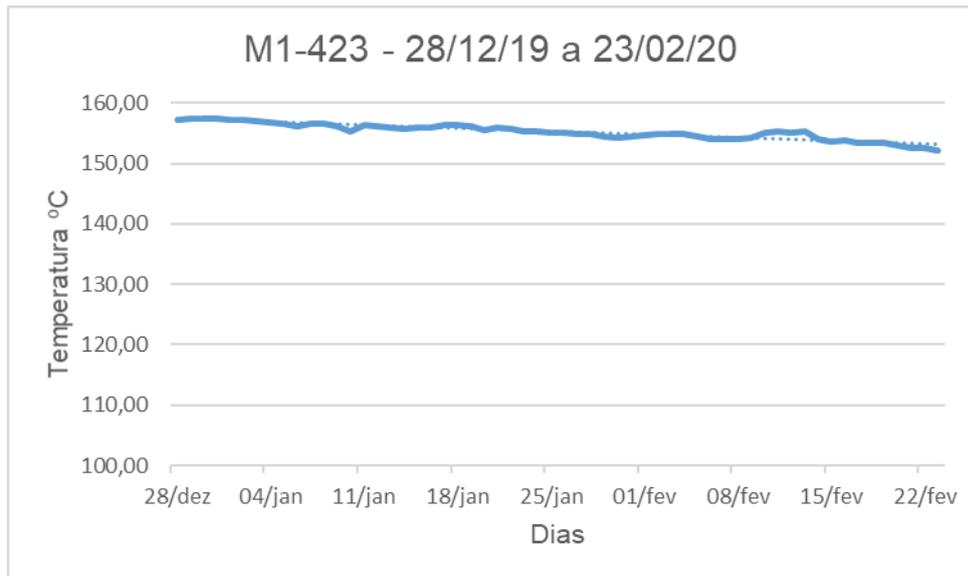


Figura 34 – 10º período de análise de temperatura do M1-423

Neste período de 58 dias, verifica-se uma temperatura estável do secador. O RVDF A foi lavado 6 vezes com uma solução de soda cáustica. O RVDF B foi lavado 4 vezes com uma solução de soda cáustica e só uma vez foi lavado com paragem da bomba de vácuo.

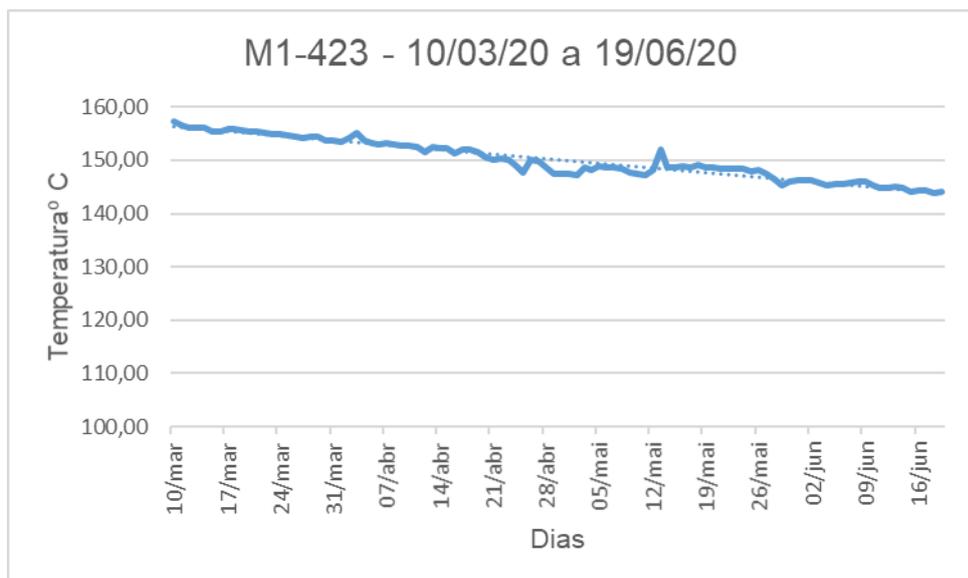


Figura 35 – 11º período de análise de temperatura do M1-423

Nestes 111 dias de produção verificou-se estabilidade no controlo de temperatura do secador da oxidação. A reta verificada neste gráfico é a tendência normal de funcionamento do secador da oxidação, pois é normal a colmatação a longo prazo quando é produzido PTA.

O RVDF A foi lavado 19 vezes com uma solução de soda cáustica e apenas 1 vez com paragem da bomba de vácuo.

O RVDF B foi lavado 12 vezes com uma solução de soda cáustica e apenas 1 vez com paragem da bomba de vácuo.

3.7.3. Análise de melhoria

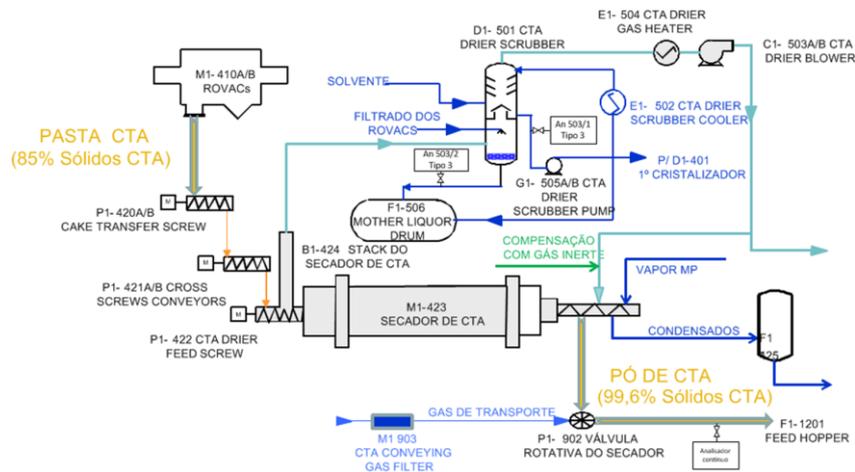


Figura 36 – Esquema geral da secção – Secagem de CTA. [23]

1ª medida de melhoria: como mencionado na análise anterior, a primeira resposta ao problema foi aumentar a pressão de vapor ao secador da oxidação. Aumentou-se o caudal de vapor para as serpentinas do secador, aumentando desta forma a pressão de vapor e a temperatura do secador. De momento trabalha-se com 5,6barg de vapor MP.

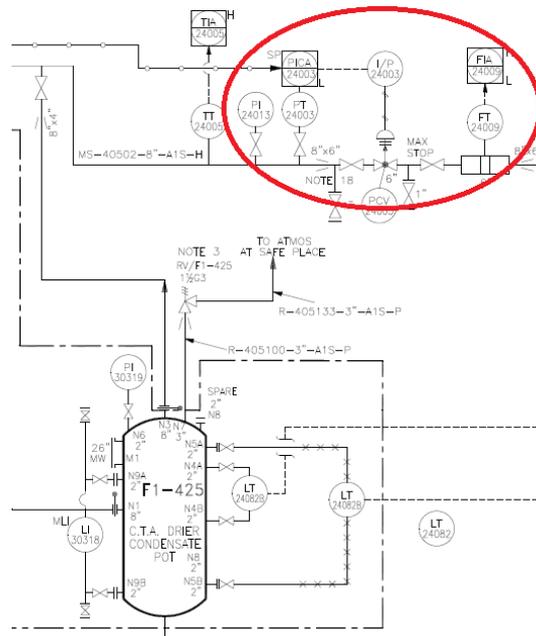


Figura 37 – Controlo de pressão do secador M1-423 [23]

A pressão e o caudal de vapor de média pressão (MP), são indicados no PICA 24003 (controlador e indicador de pressão com alarme) e FIA 24009 (indicador de caudal com alarme). [23]

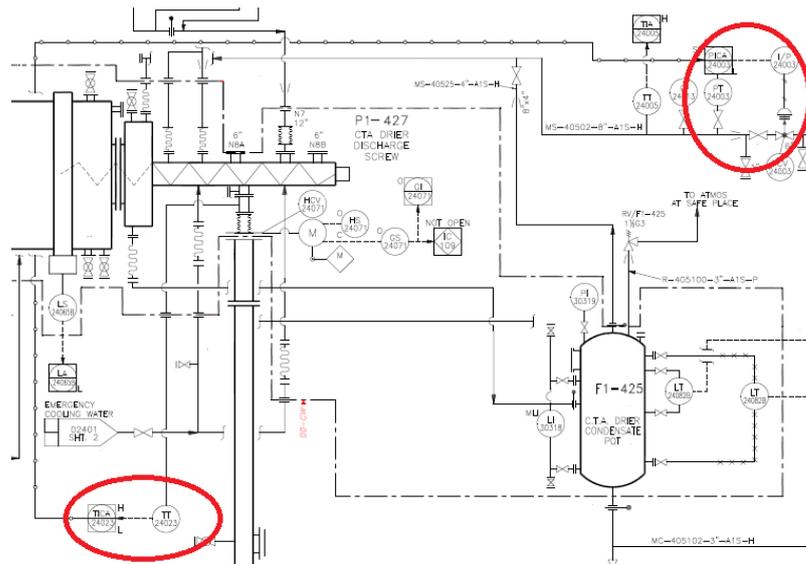


Figura 38 – Controle de Temperatura do secador – M1-423 [23]

A temperatura do pó de CTA à saída do secador é indicada no TICA 24023. O controlador é responsável por controlar a temperatura de saída, ou seja, coloca-se a temperatura desejada e o TICA 24023 ajusta automaticamente o *set point* do controlador PICA 24003 de forma a ajustar a pressão de entrada do vapor na PCV 24003 (cascata). [23]

Desde 2018 que o controlador está em automático, ou seja, é colocado o *set point* no PICA 24003 (que é a pressão de vapor) de forma a ajustar a PCV 24003. Esta alteração foi indicada pelo grupo, porque mantendo a pressão estável consegue-se avaliar a temperatura do secador e por sua vez a sua colmatação.

2ª medida de melhoria: Substituição das telas dos ROVACs do tipo PEEK (*Polyetheretherketone*) para PVDF (*Polyvinylidene Fluoride*).

Foi feito uma pesquisa pela Tecnologia, acerca das experiencias com telas em quatro fábricas de PTA do grupo Indorama para melhorar o desempenho dos filtros.

Os principais parâmetros a considerar ao escolher o modelo do tecido do ponto de vista técnico são:

- Permeabilidade (a quantidade de fluido que passa por uma área limitada do tecido num determinado tempo e pressão constante);
- Tamanho dos poros e porosidade (número de poros por superfície);
- Resistência termodinâmica (capacidade de os polímeros manterem as suas propriedades mecânicas a altas temperaturas).

SEFAR C-155 (PEEK - Polyetheretherketone): tipo de tela inicialmente instalada na IVP PTA.

- Baixa permeabilidade ($78 \text{ cm}^3 / \text{cm}^2\text{s} @ 12.7 \text{ mmH}_2\text{O}$) – maior dificuldade de o licor-mãe passar pela tela, aumentando a humidade do bolo de CTA que é enviado para o secador – M1-423.

- Tamanho dos poros (115 μm) – menor retenção de finos provocando colmatção de sólidos nos poros e maior presença de sólidos no licor-mãe.
- Maior resistência termodinâmica. [32]

MKK K-32K (PVDF): Tipo de tela implementada e instalada neste momento na IVP PTA.

- Alta permeabilidade ($100 \pm 20 \text{ (cm}^3 / \text{cm}^2\text{s @ 12.7 mmH}_2\text{O)}$) – menor dificuldade de o licor-mãe passar pela tela, diminuindo a humidade do bolo de CTA que é enviado para o secador – M1-423.
- Tamanho dos poros (75 μm) – maior retenção de finos, aumenta a espessura do bolo de CTA, aumentando assim a eficiência da filtração.
- Menor resistência termodinâmica. [6]

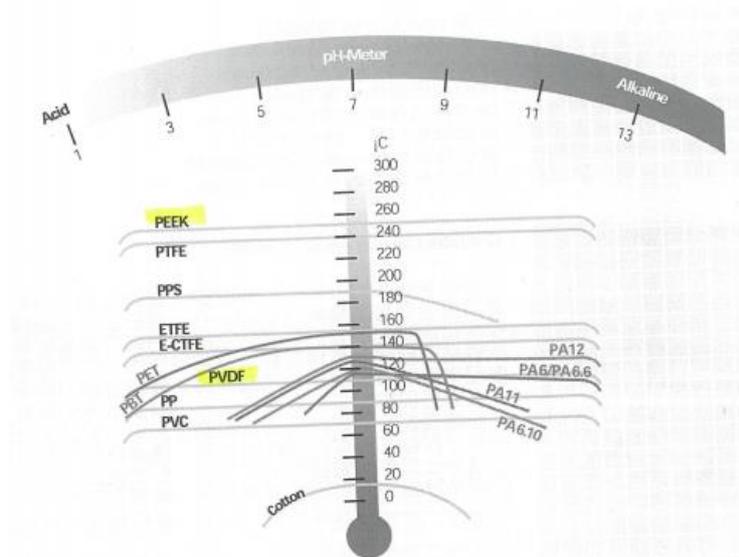


Figura 39 – Análise de temperatura de polímeros [33]

Verifica-se que o material PEEK é mais resistente a temperaturas altas, no entanto, o PVDF resiste a temperaturas que mesmo assim estão acima das temperaturas de funcionamento dos RVDF, que é aproximadamente 90°C.



Figura 40 – Amostras de tecido do tipo PVDF vs PEEK

3ª medida de melhoria: Alteração de rotinas diárias de lavagem dos RVDF.

Com a aplicação de telas novas nos RVDF, a filtração começou a ser mais eficaz, os filtros sujam-se menos e assim o bolo de CTA é encaminhado para o secador menos húmido, fazendo com que o secador também tenha um comportamento mais eficiente, secando o bolo e acumulando CTA nas paredes e serpentina na mesma, mas a longo prazo.

Os RVDF eram lavados diariamente e neste momento é possível avaliar diariamente a necessidade de lavagem com soda cáustica e/ou solvente. Esta análise é feita visualmente no campo, por “*sight glass*” existentes nos filtros, onde verifica-se o bolo formado na tela e a sua descarga para os parafusos que encaminham o bolo de CTA para o secador. Também é avaliada a rotação dos filtros rotativos, porque aumentar a rotação é uma medida de controlo da melhoria da filtração, com base nos caudais de solvente filtrado e vácuo existente no equipamento.

4ª medida de melhoria - Alteração do processo de lavagem dos RVDF.

Verificou-se que cada vez que se procedia à lavagem de rotina dos RVDF, com paragem da bomba de vácuo, os empanques do filtro rotativo tinham de ser reapertados. Nesta condição poderá existir passagem de ar para dentro do equipamento que por sua vez também piora a filtração. O bolo de CTA filtrado fica mais húmido e o secador tende a colmatar mais rapidamente.

Procedeu-se a testes de lavagem dos filtros rotativos sem paragem da bomba de vácuo que por sua vez foi um sucesso e está implementado até hoje.

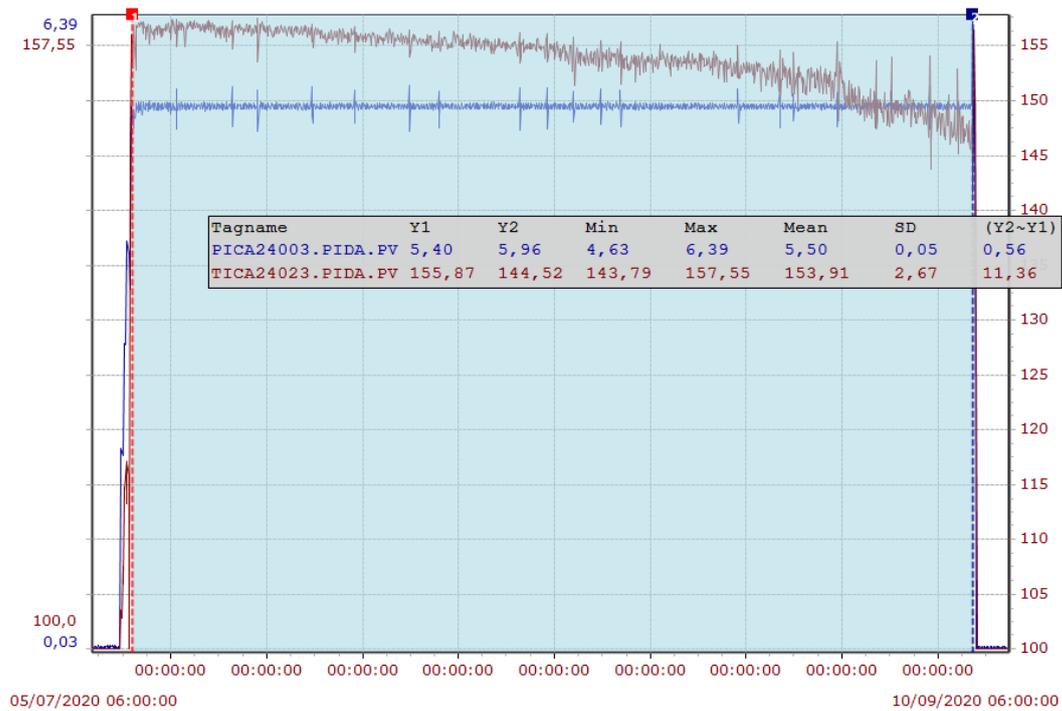


Figura 41 – Trend da temperatura e pressão do M1-423 no período de 05/07/20 a 10/09/20

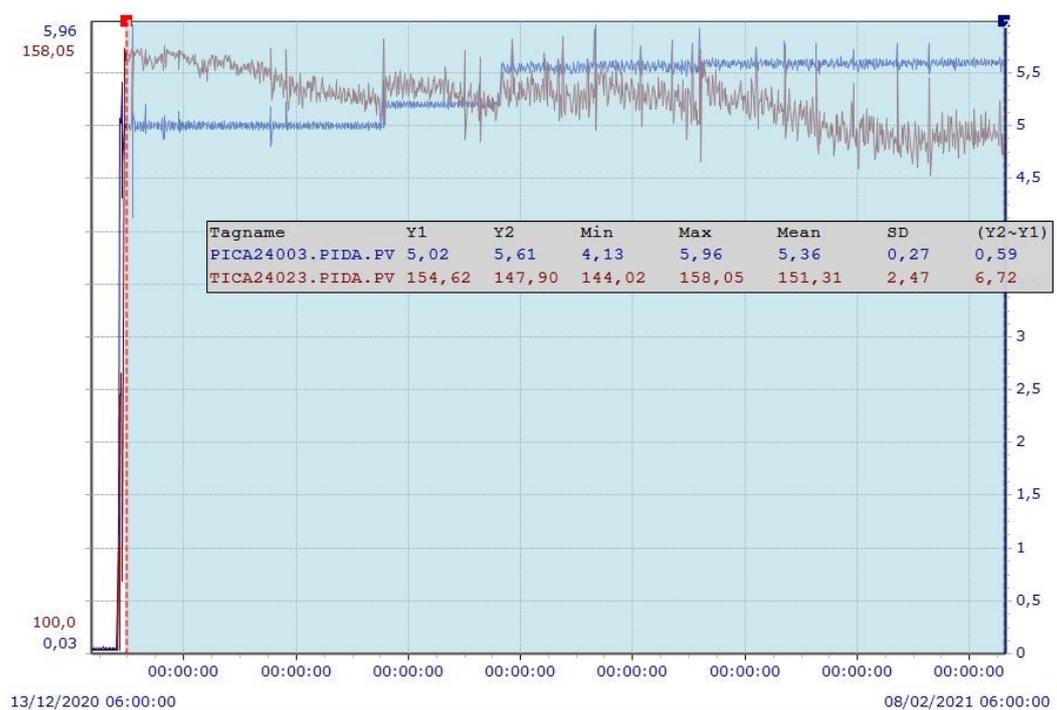


Figura 42 - Trend da temperatura e pressão do M1-423 no período de 13/12/20 a 08/02/21

Os gráficos representados nas figuras 41 e 42 representam a temperatura e pressão de vapor do secador da oxidação. A figura 41 representa dois meses de produção e procedeu-se a uma paragem planeada com a temperatura do secador a cima de 145°C.

A figura 42 representa o último arranque após paragem geral da fábrica. Representa cerca de 2 dois meses e a temperatura do secador está a cima de 145°C.

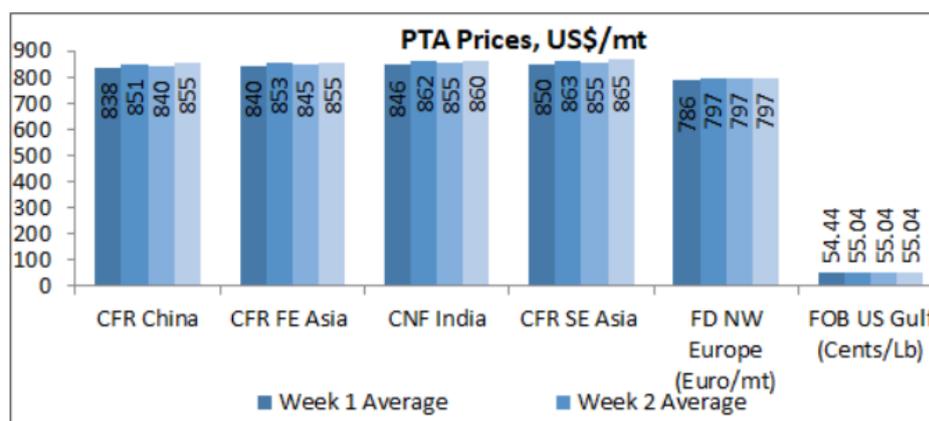


Figura 43 – Preço do PTA - dezembro de 2020 [29]

Mês	1º a 15º	16º a 30º	Mês	1º a 15º	16º a 30º
Fevereiro - 2020	↓	↓	Mar - 2020	↓	↓
Abr - 2020	↓	↓	Mai - 2020	↑	↑
Jun - 2020	~	↑	Jul - 2020	↓	↓
Ago - 2020	↑	↑	Setembro - 2020	↑	↓
Outubro - 2020	↓	↑	Novembro - 2020	↓	↑
Dez - 2020	↑	↑	Jan - 2021	~	

Figura 44 – Tendências de preço – PTA [29]

A figura 43 representa o preço do PTA no mercado no mês de dezembro de 2020 e a figura 44 representa a tendência do mercado do PTA.

Se a IVP PTA produzir o mês de dezembro sem paragens a uma rate de 79t/h, produz 58776 toneladas que traduz no seguinte valor de venda:

$$58.776 \text{ toneladas} \times 797 \text{ Euro} = 46.844.472 \text{ Euro}$$

Capítulo 4

Conclusões

O capítulo 4 está dividido em conclusões gerais que resume a matéria teórica e quais as conclusões que foram obtidas. O segundo subcapítulo descreve as conclusões específicas que descreve as conclusões obtidas no estudo elaborado e as melhorias concretizadas. Termina com o subcapítulo das sugestões para trabalhos futuros.

4.1. Conclusões gerais

Antes de mais deve-se concluir que os temas abordados são bastante importantes na gestão industrial e um bom componente de estudo e melhoria contínua.

Os objetivos inicialmente determinados para este projeto foram inteiramente alcançados referentes à análise dos indicadores, definição de parâmetros de melhoria, gestão e análise de disponibilidade de equipamentos.

Os gráficos de controlo de processo são amplamente utilizados em ambientes industriais, como ferramentas para manter a qualidade do produto e são de fácil utilização e compreensão.

Os gestores têm a responsabilidade de planejar, controlar e supervisionar a manutenção e melhoria dos métodos organizacionais que também beneficiam as metas gerais dentro das empresas. Os gestores têm de estabelecer um conjunto utilizável de indicadores de desempenho de manutenção que depende principalmente dos objetivos de manutenção e dos objetivos da empresa. [18]

Gestão da produção pode ser definido como o desempenho das atividades de gestão no que diz respeito à seleção, projeto, operação, controlo e atualização do sistema de produção. São os processos de planeamento, coordenar e controlar a produção. Gestão de produção é uma função da gestão, relacionada ao planeamento, coordenação e controlo dos recursos necessários para que a produção produza o produto especificado a partir de métodos especificados com a utilização ideal dos recursos. É definido como uma função de gestão que planeia, organiza, coordena, dirige e controla as atividades de processamento e gestão/compra de material/matérias de uma fábrica, para que os produtos sejam produzidos pelos métodos definidos, para cumprir o planeamento de vendas. Essas atividades são realizadas de maneira a que o trabalho, a fábrica e o capital disponível sejam utilizados de forma vantajosa para a organização. [9]

A fiabilidade do equipamento deve estar relacionada com a produção, produção versus capacidade e custo por unidade produzida. Por outro lado, os custos operacionais devem ser cuidadosamente considerados. Iniciar a mudança vai inicialmente aumentar as despesas do departamento de manutenção. Precisar com precisão um orçamento centrado na mudança é essencial para que o KPI represente com precisão o desempenho do orçamento do departamento. [34]

Os KPIs permitem que os gestores identifiquem o progresso das atividades e aquelas a serem melhoradas, apoia no estabelecimento de novas metas, ajuda na tomada de decisões para alcançar o desempenho e a melhoria desejados, permite a tradução das missões de uma empresa em ações concretas e avaliar até que ponto a empresa está a alcançar os seus objetivos. [38]

Os KPIs devem ser selecionados adequadamente para adaptar a especificidade do setor, mas suficientemente gerais para poder comparar operações diferentes. As tecnologias atuais

permitem a coleta de grande quantidade de dados e o compartilhamento desses dados entre diferentes fontes. [38]

Os tipos de KPIs da manutenção que são úteis para os negócios são aqueles que:

- ✓ Identifiquem a causa da falha do equipamento (meça a influencia dos fatores do ciclo de vida do equipamento);
- ✓ Direcionem a manutenção consoante o tempo e recursos (medir a eficácia e a eficiência do departamento da Manutenção);
- ✓ Identifiquem se a Manutenção está a remover as causas da falha (melhoria da fiabilidade e os resultados do esforço da manutenção);
- ✓ Direcionem os benefícios comerciais fornecidos pela Manutenção (meça a contribuição do valor comercial da Manutenção). [36]

A criticidade do equipamento padrão também é usada para classificar equipamentos numa ordem de prioridade de importância para a operação contínua de uma instalação. O equipamento que interrompe a produção, ou que causa grandes custos de produção quando falhou, é considerado mais crítico. Uma vez que a criticidade é conhecida, os recursos, o esforço de engenharia, as práticas operacionais, a manutenção e a preparação das instalações são compatíveis com a prioridade e a importância da operação contínua do item. A abordagem bem-estar de equipamentos e a criticidade do equipamento difere da abordagem padrão e como foco os custos de defeitos e defeitos reais em toda a empresa, e não apenas o impacto da produção, para avaliar o risco do negócio devido a falhas no equipamento. [35]

Conclui-se que os KPI's da IVP PTA são:

Volume de produção - será uma taxa. Aqui, contudo, pretende-se apenas comparar a produção real com a pretendida/planeada e é fundamental para a empresa. Sob a forma de taxa, e uma indicação do valor relativo do afastamento. É um indicador produtivo direto. [22]

Disponibilidade da fábrica; Rendimento da qualidade da fábrica; Desempenho da qualidade da fábrica - são indicadores tipo taxa, mas, embora produtivos, temos dois indiretos e um direto (designado aqui por rendimento de qualidade). A escolha deste tipo de indicadores indiretos dá-se quando é fundamental conhecer a capacidade utilizada da instalação, de modo a prever compromissos futuros que se pretendam vir a assumir ou saber até que ponto podem vir a ser assumidos. O rendimento de qualidade tem no nome o motivo para a escolha. Contudo, tem que se procurar no processo a razão final para a sua escolha, ou seja, quais as consequências da perda de qualidade, nomeadamente em termos de custos. [22]

Eficiência geral da fábrica - é um OEE (Overall Equipment Effectiveness). Com este indicador a empresa consegue verificar o quanto está a utilizar os recursos disponíveis na produção. [22]

Este tema pode ser proposto para qualquer tipo de indústria, principalmente na produção em massa, quando se fala de cartas de controlo. Serve para melhoria de processo, antecipando dos problemas que podem surgir com equipamentos.

A importância da gestão da produção para a empresa:

- Realização dos objetivos da empresa;
- Reputação, boa vontade e imagem;
- Ajuda a introduzir novos produtos;
- Suporta outras áreas funcionais;
- Ajuda a enfrentar a concorrência;
- Utilização ótima de recursos;
- Minimiza o custo de produção;
- Expansão da empresa. [9]

4.2. Conclusões específicas

A análise de KPIs da Indorama Ventures Portugal mostrou que existem metas que não foram alcançadas e que existe sempre alguma coisa para melhorar a nível de gestão de equipamentos, processo, pessoas, operações, entre outros.

No ano de 2018 foi logo observável que o desempenho do secador da oxidação comprometia o cumprimento dos targets definidos para a fábrica. Diretamente os targets de disponibilidade da fábrica e desempenho (uma vez que era necessário reduzir a velocidade de produção) e em consequência o volume de produção e a eficiência geral da fábrica.

Através do método de criticidade do equipamento, ou seja, classificar equipamentos numa ordem de prioridade de importância para a operação contínua de uma instalação verificou-se que o secador da oxidação teria de ser alvo de estudo. O secador estava com um desempenho anormal, a temperatura de saída descia mais rápido do que o esperado.

Começou-se por verificar os equipamentos a montante. Entre vários estudos e contatos com fábricas do grupo e, nomeadamente, a fábrica "gémea" decidiu-se alterar o tipo de tecido das telas dos RVDF. Este tecido novo é mais permeável, ou seja, menor dificuldade de o licor-mãe passar pela tela, diminuindo a humidade do bolo de CTA que é enviado para o secador – M1-423. O tamanho dos poros é menor, ou seja, maior retenção de finos que por sua vez aumenta a espessura do bolo de CTA, aumentando assim a eficiência da filtração.

Devido à alteração do tecido das telas e melhor desempenho da filtração, foi possível diminuir o número de lavagens dos filtros rotativos.

Verificou-se que cada vez que se procedia à lavagem de rotina dos RVDF, com paragem da bomba de vácuo, os empanques do filtro rotativo tinham de ser reapertados. Nesta condição poderá existir passagem de ar para dentro do equipamento que por sua vez também piora a filtração. O bolo de CTA filtrado fica mais húmido e o secador tende a colmatar mais rapidamente.

O processo de lavagem dos filtros rotativos continuam a ser alvo de estudo para melhorar a lavagem do equipamento, diminuindo perturbações no processo. Da análise dos KPI's foi identificado um equipamento, o secador da oxidação, cujo desempenho comprometia os objetivos da fábrica. Em consequência foram desenvolvidos estudos e implementadas soluções técnicas e operacionais que permitiram eliminar este equipamento como causa das não conformidades.

4.3. Sugestões para trabalhos futuros

Da análise dos KPI's observa-se que, entre todos, a disponibilidade da fábrica é o KPI mais afetado (que em consequência contagia os outros). O recomeço da atividade fabril após cerca de três anos de inatividade (antecedido apenas de períodos esporádicos de operação) e com muitas limitações no processo de manutenção durante esse período contribuem de forma significativa para esta falta de disponibilidade.

Deste modo penso que um estudo premente deverá ser a identificação/redefinição dos equipamentos críticos para a atividade com a finalidade de adequar as suas rotinas de manutenção preventiva bem como a eventual adoção de melhorias técnicas e/ou operacionais.

Bibliografia

[1] **Bake John Sakwe, Pessoa Marcus Vinicius Pereira e Becker Juan Manuel Jauregui** Service Chain Logistics Management for Increasing Equipment Uptime [Diário]. - Enschede : ELSEVIER, 2018. - Vol. 73.

[2] **Banu Geanina Silvana** Measuring innovation using key performance indicators [Diário]. - Giurgiu : ELSEVIER, 2018. - Vol. 2018.

[3] **Bhadani Kanishk [et al.]** Development and implementation of key performance indicators for aggregate production using dynamic simulation [Diário]. - Gothenburg : ELSEVIER, 2020. - Vol. 145.

[4] **Brandl Dennis L. e Brandl Douglas** KPI Exchanges in Smart Manufacturing using KPI-ML [Diário]. - Cary NC : ELSEVIER, 2018. - 11 : Vol. 51.

[5] **Cavaleiro Diogo** CGD desfaz-se da Artlant, a fábrica de Sines que financiou em mais de 500 milhões [Online]// Jornal de Negócios. - 15 de 4 de 2020. - <http://www.jornaldenegocios.pt>.

[6] **Corp Mapubeni Techno Systems** // Spare parts for Rotary Vacuum Filter. - 2009.

[7] **Costa Nuno e Pereira Filipe Didlet** Desenho e análise de experiências na gestão da manutenção – princípios estruturais [Diário]. - Portugal : Revista Manutenção, 2018. - Vol. 138/139.

[8] **Costa Nuno R. e Pereira Filipe D.** Desenho e análise de experiências na gestão da manutenção – práticas a evitar [Diário]. - Portugal : Revista Manutenção, 2019. - Vol. 140.

[9] **Daneshjo Naqib** PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS [Diário]. - Košice : Transfer inovácií, 2013. - Vol. 28.

[10] **Elhuni Redha M. e Ahmad M. Munir** Key Performance Indicators for Sustainable Production Evaluation in Oil and Gas Sector [Diário]. - Tripoli : ELSEVIER, 2017. - Vol. 11.

[11] **Gonçalves César Duarte, Dias José António e Machado Virgílio António** Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators [Diário] // International Journal of Management Science and Engineering Management. - 2015. - 3 : Vol. 10. - pp. 215-223.

[12] **Gonzalez Elena [et al.]** Key Performance Indicators for Wind Farm Operation and Maintenance [Diário]. - Zaragoza; Garching bei München; Trondheim; Oldenburg; Hamburg : ELSEVIER, 2017. - Vol. 137.

[13] **Hauser Andreas, Fenski Burkhard e Cavalli Luca** MAXIMIZE ASSET AVAILABILITY AND REDUCE MAINTENANCE COSTS – AN INTEGRATED APPROACH COMBINING CONDITION ASSESSMENT WITH DATA ANALYTICS [Diário]. - Glasgow : CIREC, 2017.

[14] **Indorama** Indorama [Online]// Ventures. - Indorama. - 4 de 2020. - <https://www.indoramaventures.com/en/worldwide/777/indorama-ventures-portugal-pta>.

[15] **Joppen Robert [et al.]** Key performance indicators in the production of the future

[Diário]. - Paderborn : ELSEVIER, 2019. - Vol. 81.

[16] **Koszyán Zsolt Tibor e Katona Attila Imre** Risk-Based X-bar chart with variable sample size and sampling interval [Diário]. - Veszprém : ELSEVIER, 2018. - Vol. 120.

[17] **Kumar Kundan, Madhusoodanan K. e Singh R. N.** Miniature test techniques for life management of operating equipment [Diário]. - Mumbai : ELSEVIER, 2017. - Vol. 323.

[18] **Lisboa João Veríssimo e Gomes Carlos Ferreira** Gestão de Operações [Livro]. - Lisboa e Faro : Vida Económica - Editorial, SA, 2018. - 3ª Edição : pp. 13-14.

[19] **Lusa** Artlant já está nas mãos da tailandesa Indorama [Online] // Diário de Notícias. - 15 de 4 de 2020.

[20] **Omar M. Hafidz** Statistical Process Control Charts for Measuring and Monitoring Temporal Consistency of Ratings [Diário]. - [s.l.] : National Council on Measurement in Education, 2010. - 1 : Vol. 47.

[21] **Portugal Indorama Ventures** Gestão da Produção de PTA // Gestão da Produção. - 2018.

[22] **Portugal Indorama Ventures** Gestão de Operações // KPIs de Produção. - 2018.

[23] **Portugal Indorama Ventures** Manual de formação // Secagem de CTA.

[24] **Portugal Indorama Ventures** Manual de formação IVPP // Filtração.

[25] **Portugal Indorama Ventures** Manual de formação Oxidação.

[26] **Portugal Indorama Ventures** Manual de formação Purificação.

[27] **Portugal Indorama Ventures** Operação da unidade de cogeração das Utilidades da Indorama // Cogeração. - 2018.

[28] **Portugal Indorama Ventures** Operação da unidade do ciclo de água das Utilidades da Indorama // Ciclo de água . - 2018.

[29] PURIFIED TEREPHTHALIC ACID MARKET REPORT AND PRICE TREND [Online] // Fibre2Fashion.com. - 1 de 2021. - 10 de 2 de 2021. - <https://www.fibre2fashion.com/market-intelligence/textile-market-watch/purified-terephthalic-acid-pta-price-trends-industry-reports/1/?gcode=1>.

[30] **Raj Anand Amrit** Economic Design of Control Chart [Relatório]. - Rourkela : National Institute of Technology, 2010.

[31] **Riexinger Günther [et al.]** KPI-focused Simulation and Management System for Eco-Efficient Design of Energy-Intensive Production Systems [Diário]. - Stuttgart : ELSEVIER, 2015. - Vol. 29.

[32] **SEFAR** // SEFAR TETEX MONO 17-2032-W 155.

[33] **SEFAR** Componentes del filtro // Parameters of filter media.

[34] **Smith Ricky e Mobley R. Keith** Key Performance Indicators [Secção do Livro] // Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers. - - : Butterworth-Heinemann, 2008.

[35] **Sondalini Mike** Equipment Criticality Tutorial [Relatório]. - [s.l.] : Lifetime reliability.

[36] **Sondalini Mike** Useful key performance indicators for maintenance [Diário] // Asset Management & Maintenance Journal. - 2014. - 4 : Vol. 27. - pp. 25-30.

[37] **Varisco M. [et al.]** From production planning flows to manufacturing operation

management KPIs: linking ISO18828 & ISO22400 standards [Diário]. - Rome; Dortmund; Lund : ELSEVIER, 2018. - 11 : Vol. 51.

[38] Varisco Martina [et al.] KPIs for Manufacturing Operations Management: driving the ISO22400 standard towards practical applicability [Diário]. - Rome; Lund; Dalian : ELSEVIER, 2018. - 7-12 : Vol. 51.

[39] Wild C. J. e Seber George A. F. Control Charts [Secção do Livro] // Chance Encounters: A First Course in Data Analysis and Inference. - 1999.

[Diário].

[40] Zhu Li [et al.] Key performance indicators for manufacturing operations management – gap analysis between process industrial needs and ISO 22400 standard [Diário]. - Dalian; Lund; Rome : ELSEVIER, 2018. - 82-88 : Vol. 25.

ANEXOS

Ficha técnica do tecido tipo PEEK (*Polyetheretherketone*):

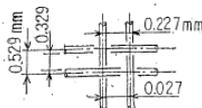
Datenblatt Data Sheet	
Fasermaterial Fibre Material	PEEK, monofilament
Max. Bruchdehnung Kette [%] Max. Elongation at break warp [%]	45
Max. Bruchdehnung Schuss [%] Max. Elongation at break weft [%]	35
Min. Zugfestigkeit Kette [daN/in.cm] Min. Tensile Strength at max. load warp [daN/in.cm]	50
Min. Zugfestigkeit Schuss [daN/in.cm] Min. Tensile Strength at max. load weft [daN/in.cm]	18
Dicke [µm] Thickness [µm]	580
Gewicht [g/m ²] Weight [g/m ²] Weight [oz/sq.yd]	285 8.4
Boil-over Bubble Point [mmWS] 38 Boil-over Bubble Point [in.H ₂ O] 1.5	
Luftdurchlässigkeit [(n)/m ² s] bei 2 mbar Air Permeability [(n)/m ² s] at 2 mbar	2000

Ficha técnica do tecido tipo PVDF (*Polyvinylidene Fluoride*):

濾布仕様
SPECIFICATION OF FILTER CLOTH

規格	ARTICLE No.	KF32K
材質 MATERIAL		POLY(VINYLIDENE FLUORIDE) ポリビニリデン樹脂
厚み THICKNESS (MM)		0.50
織方 WEAVE TYPE		綾織 TRILLED FABRICS
目付 WEIGHT(G/M ²)		440
糸のタイプ KIND OF YARN		Monofilament
粗織 YARN	経糸 WARP YARN	φ0.2
	緯糸 FILL YARN	φ0.2
密度(本/25.4mm) THREAD COUNT (PER 25.4MM)	経(W) WARP YARN	124
	緯(F) FILL YARN	48
強力(kg/3CM) TENSILE STRENGTH	経(W) WARP YARN	210
	緯(F) FILL YARN	105
伸度 ELONGATION(%)	経(W) WARP YARN	40
	緯(F) FILL YARN	35
透気度 AIR PERMEABILITY (CC/CM ² /SEC AT 12.7MMHg)		100 ± 20

NOTE: WARP YARN = W
FILL YARN = F



WEIGHT: 0.6 kg/m²