

Análise de *Big Data* para promoção do envolvimento e sucesso de clientes na indústria têxtil

Gabriel Porto Marques

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Eduardo Gil da Costa



Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

2022-02-17

Resumo

A presente dissertação foi desenvolvida no departamento de Produto da Smartex.ai, uma empresa de tecnologia que atua no desenvolvimento de soluções para combater o desperdício na indústria têxtil. Este departamento é responsável pela criação de novos produtos e ferramentas. Um dos grandes desafios da Smartex.ai era tratar de maneira adequada os dados gerados durante as suas operações, portanto o objetivo deste trabalho traduz-se na criação de ferramentas de tratamento de informação para que os dados possam ser utilizados de maneira adequada em processos internos e externos.

Para chegar ao objetivo proposto foi preciso identificar as informações que o sistema captava durante sua operação e mapear todo o fluxo de informação e a base de dados da empresa. Esse mapeamento permitiu a criação de novos *KPI* e diversas visualizações de dados acerca da produtividade dos clientes e de seu desempenho com os produtos da Smartex.ai.

As métricas desenvolvidas deram origem a *dashboards* em *Power BI* e a partir deles foi possível aceder à base de dados de forma automatizada permitindo assim a análise de informações sob diferentes perspetivas com possibilidade de aplicação de diferentes filtros e restrições temporais. Os *dashboards* foram disponibilizados para toda a empresa e podem ser usados como base para uma tomada de decisão baseada em dados.

O projeto desenvolvido cumpriu com os objetivos esperados e o resultado foi positivo. Os *dashboards* permitiram que a informação fosse rapidamente tratada e transformada em conhecimento acionável. No fim do projeto as ferramentas desenvolvidas eram utilizadas por diferentes departamentos e provaram-se grandes aliadas para tomada de decisões associadas a problemas operacionais do dia-a-dia e também questões estratégicas da empresa.

Big Data & Analytics for driving Customer Success and User Engagement in the Textile Industry

Abstract

The present dissertation was developed in the Product department of Smartex.ai, a technology company that works developing solutions to combat waste in the textile industry. This department is responsible for creating new products and tools. One of Smartex.ai's great challenges was to properly handle the data generated during its operations, so the objective of this work is to create information handling tools so that the data can be used properly in internal processes and external.

To reach the proposed objective, it was necessary to identify the information that the system captured during its operation and map the entire flow of information and the company's database. This mapping allowed the creation of new KPIs and several data visualizations about the customers' productivity and their performance with Smartex.ai products.

The metrics developed gave rise to dashboards in Power BI and from them it was possible to access the database in an automated way, thus allowing the analysis of information from different perspectives and with the possibility of applying several filters and time restrictions. They have been made available across the enterprise departments and can be used as a basis for data-driven decision making.

The developed project fulfilled the expected objectives and its result was positive. Dashboards allowed information to be quickly processed and transformed into actionable knowledge. At the end of the project, the tools developed were used by different departments and proved to be great allies for decision-making associated with day-to-day operational problems and also company strategic issues.

Agradecimentos

Acredito que toda conquista está associada a algum tipo de apoio seja ele explícito ou implícito. Por isso, gostaria de agradecer a todos que contribuíram de alguma maneira para realização desta dissertação.

Primeiramente gostaria de agradecer a toda a equipa da Smartex.ai, que para além de ter proporcionado todas as condições para desenvolvimento do trabalho, o ter feito de maneira acolhedora, agradável e desafiadora. Um agradecimento especial à equipa de Produto, nomeadamente António Rocha, meu orientador na empresa, que esforçou-se para fazer do projeto um marco relevante e envolver todas as partes relevantes a ele, Diogo Cunha que desde o primeiro dia partilhou conhecimento de maneira transparente para que o trabalho fosse desenvolvido e a Joana Anjo, pelo auxílio e colaboração durante todo o processo.

Agradeço ao meu orientador Prof. Eduardo Gil da Costa pela orientação e preocupação com o desenvolvimento deste trabalho desde o seu início.

Gostaria de agradecer também a todos os professores e funcionários da FEUP que fazem da instituição um local de aprendizado e de experiências valiosas para a vida de todos os estudantes.

Agradeço a todos meus amigos, em especial aos que estiveram comigo nos últimos anos e fizeram com que todas as dificuldades associadas aos desafios académicos e sociais de se estudar em outro país fossem menores.

Agradeço a minha namorada, por toda compreensão e suporte durante o desenvolvimento deste projeto.

Por fim, agradeço a Deus e a minha família, meus pais Mário Marques e Josemíria Marques e minha irmã, Juliana Marques, que me apoiaram de maneira incondicional e deram todo apoio e suporte para que a conclusão desta dissertação e desta etapa académica fossem possíveis.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	Smartex e a indústria têxtil	1
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Método seguido no projeto	3
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	Revisão de Literatura	5
2.1	Indústria 4.0	5
2.2	Aquisição de dados e Tecnologias IoT	5
2.2.1	Sensores x Humanos	6
2.2.2	Tipos de Sensores para utilização industrial	6
2.2.3	Infraestrutura	7
2.3	Big Data e Análise de Dados	8
2.3.1	Implementação de um sistema de análises baseado em IoT	9
2.4	Business Intelligence	11
2.4.1	Definição de KPI	11
2.4.2	Dashboards & Visualização de dados	12
2.4.3	Desenvolvimento	14
3	Contextualização do Projeto	15
3.1	Contextualização da Indústria têxtil	15
3.1.1	Durante a produção	15
3.1.2	A seguir a produção	16
3.2	Contextualização do produto	17
3.2.1	Tipos de Defeito	18
3.2.2	Paragens Golden e Standard	20
3.2.3	Crítérios de paragem	20
3.2.4	Interação com operadores	21
3.2.5	Smartex Dashboard	21
3.3	Geração de dados:	22
3.3.1	Aquisição de dados	22
3.3.2	Estrutura de armazenamento	22
3.4	Situação Inicial da Análise de dados	25
3.4.1	Processos correntes	25
3.4.2	Considerações Finais	27
4	Implementação de soluções	29
4.1	Smartex Analytics	29
4.1.1	Contextualização	29
4.1.2	Aquisição de dados	30
4.1.3	Análises e Modelação	31
4.1.4	Validação	34
4.1.5	Implementação	35
4.2	Customer Success Metrics	36
4.2.1	Contextualização	36
4.2.2	Aquisição de dados	36
4.2.3	Análises e Modelação	37
4.2.4	Validação	38
4.2.5	Implementação	38

5 Resultados.....	41
5.1 Smartex Analytics.....	41
5.1.1 Menu Inicial.....	41
5.1.2 Página análise de paragens	42
5.1.3 Página análise de tempos de resposta.....	45
5.2 Customer Success Metrics.....	47
6 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro	49
Referências	51
ANEXO A: Consultas SQL	55
ANEXO B: Fórmulas <i>Power Query</i>	57
ANEXO C: Fórmulas <i>DAX</i>	58
ANEXO D: Modelo Relacional de dados.....	61
ANEXO E: Primeira versão <i>Customer Success Metrics</i>	62
ANEXO F: Versão final Customer Success Metrics.....	64

Siglas e Acrónimos

B2B	<i>Business-to-Business</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
DAX	<i>Data Analysis Expressions</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>

Índice de Figuras

Figura 1: Cadeia produtiva da malha.....	2
Figura 2: Gantt Chart primeira etapa do projeto.....	3
Figura 3: Metodologia Agile para Analytics Adaptado de: Larson and Chang (2016).....	4
Figura 4: Exemplo de fábrica da Indústria 4.0	6
Figura 5: Gastos energéticos no mundo em a) 2012 e b) 2017 Fonte: Peter Corcoran (2016) ...	8
Figura 6: Camadas de implementação Adaptado de: S. Kumar, Tiwari, and Zymbler (2019) ..	9
Figura 7: Exemplo de Dashboard de performance industrial Fonte: (BoldiBI in “< https://samples.boldbi.com/solutions/manufacturing/production-monitoring-dashboard >, Consultado em: 04/01/2022”).....	12
Figura 8: Exemplo de <i>Drill down</i> na categoria <i>Mobile</i> Fonte: DevExpress (2021)	13
Figura 9: Relações entre tabela facta e tabelas de dimensões. Fonte: (Microsoft Docs 2021) ..	14
Figura 10: Exemplo de tear circular Retirado de: (High Speed Circular Knitting Machine tradekorea in “< https://www.tradekorea.com/product/detail/P487532/High-Speed-Circular-Knitting-Machine.html >, consultado em: 22/01/2021”)	16
Figura 11: Máquina de inspeção Retirado de: (Svegea 2015).....	17
Figura 12: Defeito de linhas de elastano	18
Figura 13: Defeito de irregularidade de Fio	18
Figura 14: Defeito de agulha	19
Figura 15: Furos na malha	19
Figura 16: Mancha de óleo	20
Figura 17: Modelo relacional dos dados.....	31
Figura 18: Primeira versão página tempo de resposta	32
Figura 19: Página análise de máquinas.....	33
Figura 20: Página análise de malhas.....	34
Figura 21: Versão final da página do Menu Inicial	42
Figura 22: Versão final da página de Análise de Paragens	43
Figura 23: Elemento visual de paragens para seleção máquina	44
Figura 24: Paragens Smartex normalizadas por 100 000 rotações	44
Figura 25: Elemento visual de paragens para seleção tipos de malha.....	45
Figura 26: Versão final página análise tempos de resposta.....	45

Figura 27: Visualização do tempo total gasto em paragens por máquina	46
Figura 28: Visualização da distribuição temporal de tempo de respostas por turno	47
Figura 29: Distribuição elementos em <i>Customer Success Metrics</i>	47

1 Introdução

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

A presente dissertação de mestrado em ambiente industrial ocorreu no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Este projeto foi realizado na empresa Smartex.ai, no departamento de Produto e teve duração de quatro meses.

O departamento de Produto é completamente transversal, tendo contacto com as mais diversas áreas da empresa e uma das suas atribuições é o desenvolvimento de novos produtos e ferramentas para todas as áreas da empresa. Antes do início do projeto o departamento havia identificado que apesar de ser uma empresa de tecnologia que lidava diariamente com dados e os produzia em grandes quantidades, existia uma carência no que tangia o seu tratamento.

A principal motivação do projeto passa por desenvolver processos para que a empresa possa gerir melhor os dados e perceber o real valor da informação que poderia ser obtida a partir deles. Essa abordagem implica na criação de mecanismos que possam transformar a informação em conhecimento para a empresa, ajudando na construção de uma cultura de tomada de decisão baseada em dados.

1.2 Smartex e a indústria têxtil

A Smartex.ai é uma *startup* que foi oficialmente fundada em 2018 e atua na indústria têxtil. A proposta de valor da empresa baseia-se no desenvolvimento de tecnologia que seja capaz de impedir ou reduzir a produção de defeitos na produção têxtil. O modelo de negócios da empresa é baseado em B2B, no qual os clientes são fábricas têxteis. Atualmente a empresa possui apenas um produto que conta com componentes de *hardware* e *software* sendo que cada unidade do produto é capaz de atender uma única máquina das fábricas, logo cada cliente representa uma venda em potencial de dezenas de equipamentos.

O desenvolvimento de produto e a parte operacional da Smartex.ai são baseados em Portugal e os seus clientes estão em Portugal, Itália e Turquia.

O mercado em que a empresa está inserida apresenta algumas particularidades e para simplificação pode-se adotar que a produção têxtil é dividida em duas grandes áreas: produção de malha e produção de tecido. No momento a Smartex.ai atua apenas na primeira delas. A cadeia produtiva para produtos de malha está caracterizada na Figura 1.

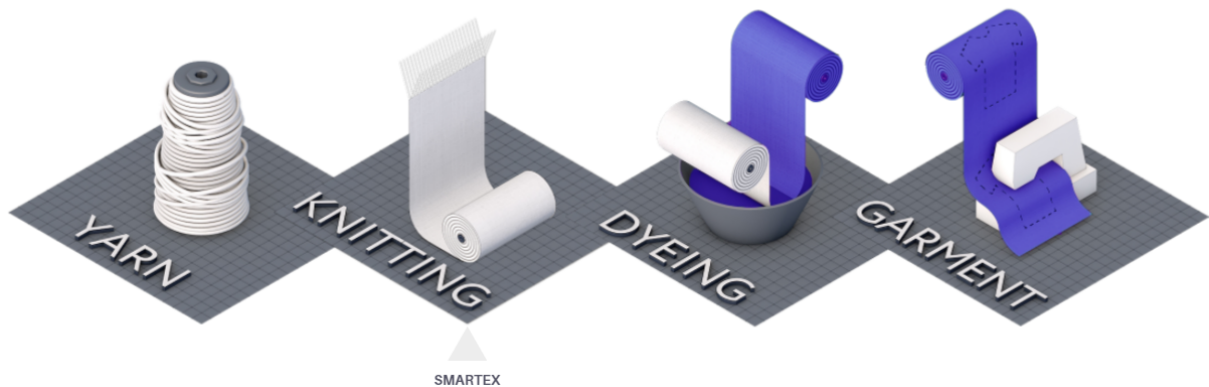


Figura 1: Cadeia produtiva da malha

A primeira etapa chamada de *Yarn* é referente à produção de matéria-prima, que neste contexto significa maioritariamente cones de fios de algodão.

A segunda etapa apontada por *Knitting* é a tricotagem e é onde a Smartex.ai opera. Nesta etapa os fios de algodão são processados e transformados em rolos de malha. Esta etapa é responsável por cerca de 80% dos defeitos de toda a cadeia com a particularidade de que aproximadamente ~100% dos defeitos desta etapa não podem ser corrigidos nas etapas seguintes.

A etapa *Dyeing* representa a etapa das tinturarias. Os rolos processados na etapa anterior costumam ser produzidos na cor branca ou em malha-cru, portanto é na tinturaria que os rolos serão pintados de acordo com a cor desejada do produto final. Os defeitos produzidos nesta etapa costumam estar relacionados com a cor, logo são mais visíveis e em muitos casos podem ser corrigidos.

Por fim está a *Garment*, a última etapa da cadeia, onde é produzido o produto final. Atualmente é a única parte do processo que conta com 100% de inspeção antes de avançar para a próxima etapa, que neste caso são os consumidores finais. Os defeitos encontrados nela são sensivelmente mais caros, visto que o material já passou por diversos processos.

É de referir que atualmente a Smartex.ai não possui nenhum concorrente direto, visto que todas as soluções para defeitos encontradas na tricotagem são consideravelmente diferentes do que os que a empresa oferece.

1.3 *Objetivos do projeto*

A Smartex.ai produz uma quantidade massiva de dados durante a sua operação, entretanto ainda não tinha sido realizado um estudo focado integralmente na melhor maneira de tratá-los. Havia na empresa um claro objetivo de longo prazo para construção de uma nova linha de produtos baseado em informações e estudos de *performance* dos seus clientes. Para além disso, também havia um enorme espaço para melhoria nos processos de tomada de decisão internos e nas sugestões de utilização transmitidas ao cliente.

O objetivo do projeto passa primeiro por identificar o valor que reside no conhecimento que pode ser extraído de toda essa informação armazenada pela empresa.

A nível externo deseja-se validar o conceito de que é possível obter valor dos dados sem promover grandes mudanças estruturais na operação da empresa. Idealmente essa prova de conceito deve ser feita através da definição dos *KPI* que podem ser obtidos e do desenvolvimento de uma plataforma protótipo para apresentá-los.

Os objetivos do projeto extrapolam-se para o desenvolvimento de processos e ferramentas que auxiliem na transformação dos dados brutos em conhecimento, de maneira a simplificar o acompanhamento de métricas e basear o processo de tomada de decisão em diversas áreas da empresa.

1.4 Método seguido no projeto

O projeto foi dividido em duas fases. O primeiro momento do desenvolvimento do trabalho teve aproximadamente um mês e meio e seguiu o cronograma apresentado no Gantt Chart da Figura 2.

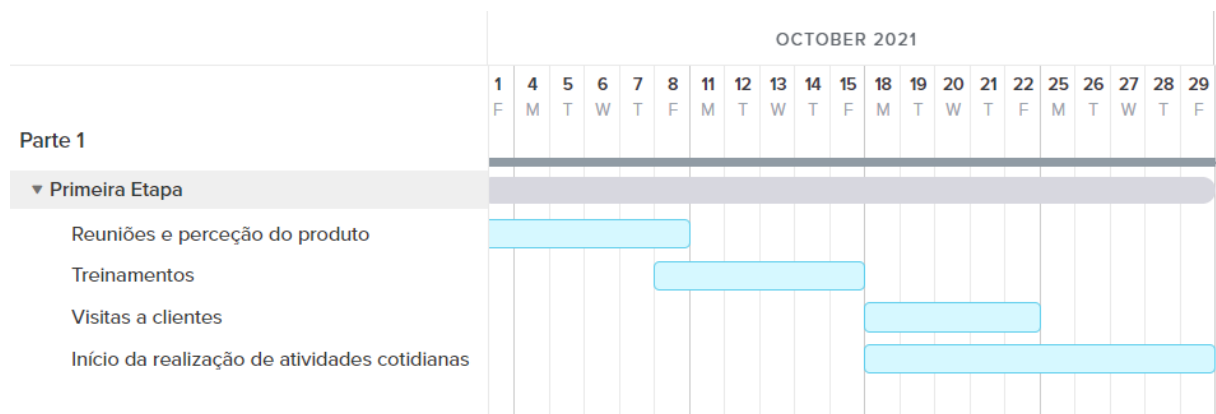


Figura 2: Gantt Chart primeira etapa do projeto

Esta primeira etapa consistiu na participação em reuniões expositivas com todas as equipas ligadas ao produto para garantir conhecimento em todas as áreas que poderiam relacionar-se diretamente ou indiretamente com o projeto.

Num segundo momento foi disponibilizado conteúdo teórico em formato de texto e vídeo com foco nas particularidades da indústria. Neste material foi possível ter dimensão do tamanho do mercado ao nível financeiro, principais fontes de desperdício, principais países da indústria, suas particularidades, características, entre outros. Essa etapa foi valiosa para basear a futura definição de métricas e indicadores.

O terceiro passo foi a participação em instalações do produto e visitas a clientes de forma a validar os conhecimentos teóricos adquiridos.

Por fim iniciou-se o trabalho nas atividades ligadas a análise de dados que já estavam a ser realizadas pela empresa. Essa etapa foi fundamental pois garantiu o primeiro contacto com os dados que já eram registados, indicadores existentes e ajudou a quantificar a percepção de valor dos clientes a cada métrica.

O segundo momento do projeto baseou-se no desenvolvimento de novos *dashboards* para uso interno e externo.

Nesta fase foi aplicado o modelo *Agile*. Os princípios deste modelo, publicados em 2001 com foco no desenvolvimento de *software*, são totalmente aplicáveis no universo da análise de dados. Estes princípios permitem um trabalho menos formal, mais dinâmico e altamente orientado ao cliente.

A metodologia aplicada foi baseada no *framework* publicado por Larson and Chang (2016) em “*A review and future direction of agile, business intelligence, analytics and data science*”. O modelo apresentado baseia-se nas etapas de implementação apresentadas na Figura 3.

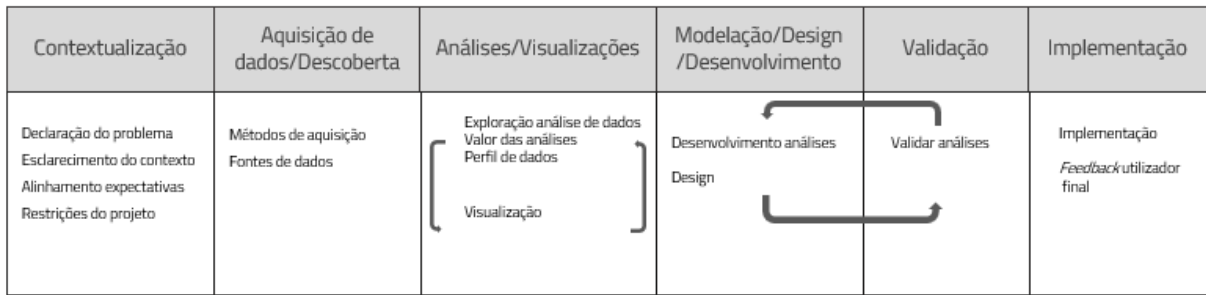


Figura 3: Metodologia Agile para Analytics Adaptado de: Larson and Chang (2016)

- Etapa 1 - Contextualização: momento de definição do problema, análise de possíveis restrições operacionais e alinhamento de expectativas;
- Etapa 2 - Descoberta e Aquisição de dados: definição de quais dados serão necessários, como serão adquiridos e armazenados;
- Etapa 3 - Análises e Visualizações: esta etapa como objetivo escolher as análises que devem ser feitas e como serão visualizadas. Um processo iterativo deve realizado até que se chegue as melhores análises possíveis, visualizadas de maneira adequada;
- Etapa 4 - Modelação, design e desenvolvimento: nesta etapa deve ser desenvolvido o modelo final proposto. No caso dos *dashboards* é o momento de implementar o *design* final com todas as análises e implementações da etapa anterior.
- Etapa 5 - Validação: Nesta etapa devem ser validados os resultados obtidos;
- Etapa 6 - Implementação: Etapa de implementação e contacto com o utilizador final.

1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, cada um deles com suas secções.

No presente capítulo (Capítulo 1) foi exposto o enquadramento do projeto, apresentação da Smartex.ai, objetivos e metodologia do projeto.

No Capítulo 2, Revisão de Literatura, foram apresentadas as referências teóricas que serviram de base para todo o trabalho realizado.

No Capítulo 3, Contextualização do Projeto, foi descrita a empresa e o seu mercado em maior nível de detalhe, assim como algumas características pertinentes do funcionamento do produto. Por fim apresentou-se a situação inicial do tratamento de dados na empresa.

No Capítulo 4, Implementação de soluções, foram apresentadas as etapas percorridas para obtenção do resultado. Foram também apresentadas as primeiras versões dos resultados.

O Capítulo 5, Resultados, apresenta o resultado final de maneira detalhada evidenciando os pontos mais relevantes.

Por fim, no Capítulo 6, Conclusões e perspectivas de trabalho futuro, foram apresentadas as conclusões do projeto e também pontos de melhoria para o trabalho realizado.

2 Revisão de Literatura

Neste capítulo são apresentados aspetos gerais e conceitos necessários para o desenvolvimento do projeto.

Os conceitos teóricos apresentados permitem melhor compreensão do contexto em que a empresa está inserida, assim como dos desafios de implementação e boas práticas que devem ser garantidas ao longo do processo.

O capítulo foi dividido em quatro Secções: i) Indústria 4.0, ii) Aquisição de dados e Tecnologias IoT, iii) *Big Data* e Análise de Dados e iv) *Business Intelligence*.

2.1 Indústria 4.0

O setor industrial nem sempre foi como o que conhecemos hoje, ao contrário, ao longo dos séculos ele reinventou-se algumas vezes. Considera-se que até hoje já existiram três revoluções industriais e hoje a quarta revolução encontra-se em andamento (Haddara and Elragal, 2015).

A primeira revolução baseou-se na energia proveniente da queima do carvão e início da produção em larga escala. A segunda contou com a energia elétrica e métodos para produção em massa. Já a terceira foi baseada nos dispositivos eletrónicos, sistemas informáticos e no surgimento da internet.

A quarta revolução industrial, que está agora em andamento, está diretamente ligada ao desenvolvimento de tecnologias *Internet of Things* (IoT), serviços em nuvem que permitem o armazenamento e processamento rápido de dados e estruturas de rede que proporcionam troca de informação *online* em alta velocidade.

Quando esses elementos estão conectados e colaboram entre si o conceito da Indústria 4.0 é colocado em prática. Essa conexão permite uma visão total da fábrica nos mais diferentes níveis, sendo possível colher informações em tempo real dos produtos, máquinas, fluxo de produção e anomalias no chão de fábrica. Dessa forma é possível ter controlo total do processo o que possibilita uma tomada de decisão rápida e precisa.

2.2 Aquisição de dados e Tecnologias IoT

Dentro das tecnologias em desenvolvimento na Indústria 4.0, a IoT é particularmente relevante no contexto deste projeto. Essa tecnologia permite a conexão de diversos dispositivos físicos, que podem estar em localizações variadas, através da internet (Bhat, Gokhale and Bhat, 2007).

Entre os dispositivos que podem utilizar a tecnologia IoT estão os mais diversos tipos de sensores. Eles podem detetar alterações físicas ou químicas no ambiente em que atuam e rapidamente enviar essa informação ao sistema em que estão inseridos (Deepti Sehwat and Nasib Singh Gill, 2019). A Figura 4 apresenta um exemplo de fábrica na Indústria 4.0.



Figura 4: Exemplo de fábrica da Indústria 4.0 Fonte: Kalsoom et al. (2020b)

Estes dispositivos são parte fundamental para aquisição de dados que poderá vir a alimentar todo um sistema *Big Data*.

2.2.1 Sensores x Humanos

Mesmo antes do desenvolvimento de tecnologias IoT, desde o início da terceira revolução industrial, os computadores já eram amplamente utilizados para processamento de dados e orientação na tomada de decisão dos humanos. O problema com o processamento realizado nesta altura residia no facto de que os dados tratados pelos sistemas precisavam de ser inseridos manualmente por humanos.

O fornecimento de dados baseado em inserção humana é imperfeito e de baixa eficiência, os seres humanos não possuem aptidão para transmitir informações do mundo real para o digital, sendo assim os sensores são superiores em dois aspetos: precisão e velocidade (Haddara and Elragal, 2015).

O sistema que não é baseado em sensores e IoT está mais suscetível a erros porque possui menos precisão pelas inúmeras possibilidades de erro humano no momento da inserção dos dados na origem. A consequência são erros que dificilmente são detetados em fases posteriores ou resultam em anomalias nos resultados difíceis de serem explicadas.

Para além deste facto, a velocidade com que os sensores conseguem captar, processar e enviar a informação é muito superior aos sistemas manuais.

2.2.2 Tipos de Sensores para utilização industrial

Existem atualmente sensores disponíveis para captar os mais diversos tipos de fenómenos naturais. Entre os diversos componentes utilizados para aquisição dos dados estão diferentes tipos de sensores que podem captar mudanças de: pressão, posição, força, fluxo (Kalsoom et al, 2020), temperatura, vibração, humidade e até mesmo componentes químicos no meio (Kirianaki N, 2002).

Acelerómetro

Os acelerómetros são sensores que medem a aceleração própria de um sistema. Estes dispositivos são capazes de medir variações de velocidade linear ou angular e podem também captar as vibrações de um sistema (Transfer Multisort Elektronik, 2020.).

Por norma estes dispositivos medem a força da aceleração na unidade g (gravidade) e são capazes de medir variações em três dimensões.

Atualmente são facilmente encontrados em diversas aplicações domésticas e industriais, como por exemplo dentro de *smartphones* ou em sistemas de monitorização industrial.

Sensores de temperatura

Estes sensores são capazes de registar os valores atuais e de mudanças na temperatura do ambiente em que estão inseridos. Como a temperatura afeta diretamente a qualidade e a propriedade física de diferentes materiais, é um parâmetro que precisa ser medido recorrentemente nas mais diversas indústrias.

Tahera Calossomo (2020) divide os sensores de temperaturas em dois grandes grupos: (1) sensores de baixa temperatura, adequados para intervalos entre -100°C e $+400^{\circ}\text{C}$ com dispositivos baseados em fósforos, semicondutores e cristais líquidos; e (2) sensores de alta temperatura, para intervalos entre $+500^{\circ}\text{C}$ e $+2000^{\circ}\text{C}$ baseados em radiação de corpo negro.

Sensores de posição

Este tipo de sensor é utilizado para determinar a posição de objetos e convertê-la num sinal elétrico, sendo capaz de captar mudanças de posição lineares ou angulares.

A Direct Industry (n.d.) indica que, depois dos sensores de temperatura, os sensores de posição são os mais utilizados em ambiente industrial. Estes dispositivos são comumente aplicados para aferir a posição de válvulas e portas (Kalsoom et al, 2020).

Existem diversos tipos de sensores de posição no mercado, dependendo da escolha da faixa de medição, resolução, frequência de medição, para além do meio e tipo de material no qual será utilizado

Sensores óticos

Os sensores óticos ou de imagem são empregues na deteção de energia eletromagnética como a luz (Deepti Sehrawat and Nasib Singh Gill, 2019). Eles são os verdadeiros responsáveis pela captação das imagens nas câmaras.

Estes sensores são amplamente utilizados em sistemas IoT aplicados a *machine vision*.

Sensores Infravermelho

Este tipo de sensor pode emitir ou detetar radiação infravermelha. Estes sensores são capazes de detetar o calor emitido por determinado objeto e também detetar movimento (Mathas Carolyn, 2014).

Ressalta-se que os raios infravermelhos estão compreendidos entre 700 nm e 1000 μm , espectros de onda invisíveis ao olho humano.

2.2.3 Infraestrutura

Embora a monitorização de informação em tempo real por sensores em fábrica só se tenha tornado possível nos últimos anos, muitas tecnologias que baseiam o processo já estavam disponíveis no início do século, por isso questiona-se o motivo de os sistemas de controlo IoT só ganharem visibilidade na última década.

O desenvolvimento de tecnologias como internet, *embedded devices* e tecnologias de conexão costuma ser apontado como razão para que o seu desenvolvimento pleno só se tenha tornado possível na história recente. No entanto, para estes casos já havia soluções aplicáveis desde os anos 90.

Entretanto o desenvolvimento de duas tecnologias em específico possibilitaram uma grande mudança no eco sistema: computação em nuvem e dispositivos móveis conectados a redes de dados (Peter Corcoran, 2016).

A tecnologia em nuvem possibilita que todos os utilizadores possa processar e armazenar informação em tempo real. O processo fica ainda mais escalável porque possibilita que até mesmo pequenas e médias empresas possam manter o registo de todos os seus dados.

Outro fator limitante era o custo de algumas tecnologias na década passada. Raducan et al. (2012) reafirma que não há tanto que seja surpreendentemente novo nos sistemas IoT atuais e que desde os anos 2000 os serviços em nuvem, por exemplo, já estavam disponíveis para aplicações quotidianas como armazenamento de fotos. Entretanto o custo associado à atividade era extremamente elevado, com 1 TB de armazenamento chegando a custar US\$1,000,000 quando a tecnologia foi lançada.

A Figura 5 evidencia o aumento dos gastos mundiais energéticos em *data centers* e redes de dados. O aumento nos gastos energéticos está diretamente relacionado com aumento na utilização destes serviços.

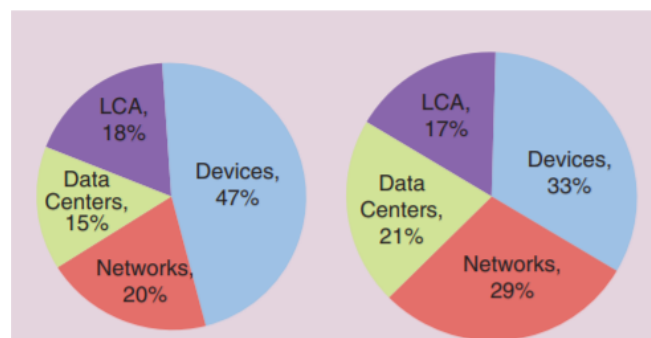


Figura 5: Gastos energéticos no mundo em a) 2012 e b) 2017 Fonte: Peter Corcoran (2016)

Já a evolução dos dispositivos móveis possibilitou o acesso rápido à informação, dado que muitas vezes esses dispositivos móveis servem como painel de controlo de pequenos dispositivos, como sensores e atuadores ligados à rede.

2.3 *Big Data e Analise de Dados*

Uma das consequências do desenvolvimento tecnológico e da ampla implementação de dispositivos ligados à rede verificados nas últimas décadas foi o crescimento na geração de dados em qualquer âmbito da sociedade, inclusive, em ambientes corporativos e industriais.

Com esse crescimento também surge o desafio de melhorar maneira de lidar com toda essa informação e como transformá-la em valor.

Todos esses conjuntos de dados costumam ser chamados de *Big Data* e compartilham algumas características retratadas pelo “5 V” (Fosso Wamba et al. 2015):

- Volume: consiste em quantidades muito elevadas de dados;
- Variedade: dados com informações variadas e gerados em fontes diversas;
- Velocidade: dados gerados e entregues em frequência elevada;

- **Veracidade:** dados precisam de ser fiáveis para que possam ser aplicáveis a análises;
- **Valor:** precisam permitir que se possa extrair informação que vai ser convertida em ações.

O advento do *Big Data* proporcionou, pela primeira vez na história, que uma quantidade massiva de dados pudesse ser tratada e transformada em vantagem competitiva (Lytras et al, 2020). Essa vantagem traduz-se em processos de elaboração de estratégias e tomadas de decisão mais precisas e eficientes.

Um dos grandes desafios dos “5V” está precisamente no último item: Valor. Com a grande quantidade de dados disponíveis, uma infinidade de análises torna-se possível. Por isso é preciso manter a atenção no valor que uma análise trará quando ela for realizada, de maneira a garantir que o resultado será uma informação acionável.

Toepfer Rick (2021) define dados acionáveis como informações que podem ser transformadas instantaneamente em ações práticas ou que forneçam uma visão de futuro suficientemente forte para que as ações necessárias sejam plenamente claras aos tomadores de decisão.

Existem inúmeros desafios para obter valor dos dados. Esse assunto será tratado na Secção 2.4.

2.3.1 Implementação de um sistema de análises baseado em IoT

Assim como qualquer implementação a nível industrial, a criação de um sistema de análises que integra IoT e *Big Data* deve ser planeado e ter as suas etapas especificadas.

É possível dividir o processo de implementação em cinco camadas, conforme apresentado na Figura 6 (S. Kumar, Tiwari, and Zymbler, 2019).



Figura 6: Camadas de implementação (Adaptado de: S. Kumar, Tiwari, and Zymbler (2019))

Camada física

Esta etapa define o tipo de dispositivo que será adotado para aquisição de dados para o sistema. São esses os dispositivos que enviarão a informação para a rede que futuramente alimentará o sistema. Entre os dispositivos mais utilizados nesta camada chama-se atenção para os citados na Secção 2.2.2.

A escolha do dispositivo deve levar em conta o fenómeno natural que se deseja captar. Para determinados ambientes pode haver necessidade de elaboração de algum mecanismo ou estrutura específica para suportar os equipamentos que estarão de facto a fazer os registos.

Por fim esses componentes enviam todos os dados e sinais captados à próxima camada, a camada de rede.

Camada de rede

A camada de rede é a camada intermediária entre a camada física e a camada de processamento, é quem deve interligar o ambiente físico e digital.

A função desta camada é transferir toda a informação gerada pelos dispositivos de aquisição de dados para as camadas seguintes. Esse transporte pode-se dar a partir de redes conhecidas como wireless, 3G, Bluetooth, LAN ou tecnologias como RFID e NFC (Sethi and Sarangi, 2017).

A solução mais adequada vai depender da utilização, do tráfego de informações necessário e das condições físicas da instalação.

Camada de processamento

A camada de processamento, também conhecida como camada do meio, recebe uma quantidade substancial de dados brutos que são enviados pela camada anterior.

Tipicamente os dados para uma aplicação *Big Data* industrial são heterogêneos, possuem variados formatos, tipos e provêm de diversas fontes (Wang, 2017). Esses dados precisam de ser armazenados, tipicamente numa base de dados para que possam ser utilizados posteriormente.

Toda essa informação pode ser armazenada de maneira não estruturada, semiestruturada ou estruturada. É no momento da criação da base de dados que deve ser feita a escolha de como a informação será organizada.

Muitos dos eventos obtidos de maneira independente serão relacionados no futuro, por isso é no momento da decisão da arquitetura que devem ser criados mecanismos que permitam identificar quais informações estão relacionadas entre si.

A escolha da arquitetura de armazenamento deve ter em conta quatro fatores chave das aplicações *Big Data*. O custo do armazenamento de um volume tão elevado de dados, a necessidade de consultas rápidas, a escalabilidade do sistema para responder a procuras variáveis ao longo do tempo e a flexibilidade necessária para alterar partes da estrutura ocasionalmente (Azad et al, 2020).

Nesta etapa ainda é possível dar o primeiro pré-tratamento aos dados (Zhang, Ming, and Yin, 2020). Por exemplo, evitar que sejam armazenadas informações duplicadas, transformações, unir informações de diferentes fontes para que sejam inseridas de forma conjunta, entre outros.

Camada da aplicação

Uma vez que todos os dados foram captados e armazenados nas etapas anteriores é o momento de utilizar toda a informação e transformá-la em conhecimento. Essa é a camada que serve de *interface* entre o sistema IoT e as aplicações reais para a indústria na qual está a ser utilizada (R. Kumar et al, 2020).

Neste momento devem ser definidos quais serviços o sistema IoT vai promover ao utilizador final (Sethi and Sarangi, 2017). No contexto industrial as aplicações podem ser desenvolvidas para uso interno e para uso externo.

O leque de possibilidades é amplo, mas alguns exemplos chamam atenção como: sistemas de monitorização de energia, rastreabilidade de inventário em tempo real, sistemas anti invasão (Liu and Lu, 2012), para além de diversas possibilidades de acompanhamento de *performance* e modelos preditivos.

Camada de negócios

Por fim, com as aplicações do sistema definidas no topo da arquitetura está a camada de negócios. Esta camada funciona como a grande gestora do sistema e deve controlar as aplicações de maneira a que a informação promovida seja convertida em valor para o negócio. Esta etapa é sensivelmente importante para o desenvolvimento de tecnologias IoT visto que

uma tecnologia só é realmente adotada quando consegue integrar-se e aprimorar o modelo de negócios das empresas (Wu et al, 2010).

As ferramentas para monitorizar e visualizar os resultados do sistema podem ser *flow charts*, modelos gráficos e *dashboards* (R. Kumar et al, 2020).

O objeto de estudo deste trabalho incide principalmente em otimizar o valor gerado na última camada com as aplicações que já existem.

2.4 Business Intelligence

O conceito de *Business Intelligence* ou BI é anterior ao desenvolvimento de tecnologias *Big Data*. O termo foi usado pela primeira vez em 1989 por Howard Dressner no grupo de investigação Gartner Group e está diretamente relacionado com as duas últimas camadas do sistema descrito na Secção anterior.

Segundo Burstein e Holsapple (2000) um sistema BI é criado para avaliar conjuntos complexos de dados e fornecer informação acionável, no tempo certo e da forma correta para auxiliar a tomada de decisão.

Inicialmente as ferramentas de BI eram maioritariamente aplicadas ao universo de vendas e *marketing*. Entretanto hoje em dia as aplicações a nível de gestão industrial são bastante comuns e podem ser aplicadas tanto internamente na gestão das operações e serviços industriais, quanto externamente com foco no cliente ou em outras partes da cadeia de valor (Zhang, Ming, and Yin, 2020).

Ressalta-se ainda que as análises voltadas ao cliente podem ser baseadas na identificação das necessidades, análise do comportamento, interação inteligente com clientes, entre outros.

2.4.1 Definição de KPI

Uma das etapas mais importantes para o sucesso de um sistema BI é a definição das métricas e indicadores que ele deve acompanhar. Este processo é especialmente importante no contexto de *Big Data* dado vastidão e disponibilidade de dados que permite a criação de dezenas ou até centenas de indicadores. Por isso é fundamental a definição dos indicadores chave ou *KPI*.

Kent Bauer (2004), define um *Key Performance Indicator (KPI)* como métrica quantificável que reflete a *performance* da organização em atingir as suas metas e objetivos. O que difere esses indicadores de métricas ordinárias é que os *KPI* medem apenas o que se reflete em valor estratégico e nunca estão relacionados com atividades não críticas.

Segundo Warren (2011) os *KPI* possuem quatro características:

1. Conformidade com a estratégia da organização: a relação entre o indicador e a estratégia e objetivos da empresa precisa de ser clara, caso contrário o indicador é uma métrica secundária e não um *KPI*;
2. Fácil compreensão: diversas vezes os indicadores serão usados e acompanhados por diferentes equipas e é preciso que todos os envolvidos percebam com clareza o que cada métrica representa;
3. Ligado a ações: As métricas precisam de estar relacionadas com ações específicas para transformar a informação em resultado. Para cada *KPI* deve haver uma ação ou um conjunto de ações que afetam seu valor. O indicador deve refletir o resultado das medidas que foram tomadas na prática;
4. Contexto bem definido: é possível que um indicador seja claro, mas que o contexto da métrica não esteja bem claro. Toda a equipa precisa de perceber, para além do que ele

significa, porque ele está a ser medido, qual o motivo de ser esta a métrica importante e não outra.

2.4.2 Dashboards & Visualização de dados

A visualização dos dados está intimamente relacionada com a eficácia de um modelo dentro da organização. É neste momento que toda a informação e *KPI* definidos são apresentados ao utilizador, que possivelmente tomará decisões baseado nela.

A definição da maneira de visualizar os dados deve levar em consideração o *design* no qual os indicadores serão apresentados, localização no painel, cores e experiência do utilizador.

Uma das formas mais comuns de visualização de dados consiste na criação de *dashboards*. Yigitbasioglu and Velcu, (2012) definem um *dashboard* como “uma ferramenta interativa de gestão de *performance* que num único painel de exibição apresenta as informações mais importantes para atingir os objetivos individuais ou organizacionais definidos, permitindo o utilizador identificar, explorar e comunicar as ações necessárias”.

Pode-se dizer que eles são a nova face dos sistemas de BI, por conseguirem transformar um sistema que até então só era propriamente usado por analistas de negócios (Wayne W. Eckerson, 2010) em um que apresenta informação de maneira clara e rápida para qualquer tipo de utilizador.

Para elaboração da visualização deve-se levar em conta que o *dashboard* deve apresentar apenas os *KPI* realmente relevantes, de acordo com as considerações feitas na Secção 2.4.1. Para além disso o *design* é extremamente importante para o resultado final. As cores, posicionamento e tipo dos gráficos devem ser cuidadosamente escolhidos e idealmente toda a informação deve estar contida em apenas uma página (Stephen Few, 2006).

A Figura 7 apresenta um exemplo de *dashboard* utilizado em contexto industrial onde diversos indicadores da produção são apresentados em apenas uma página.

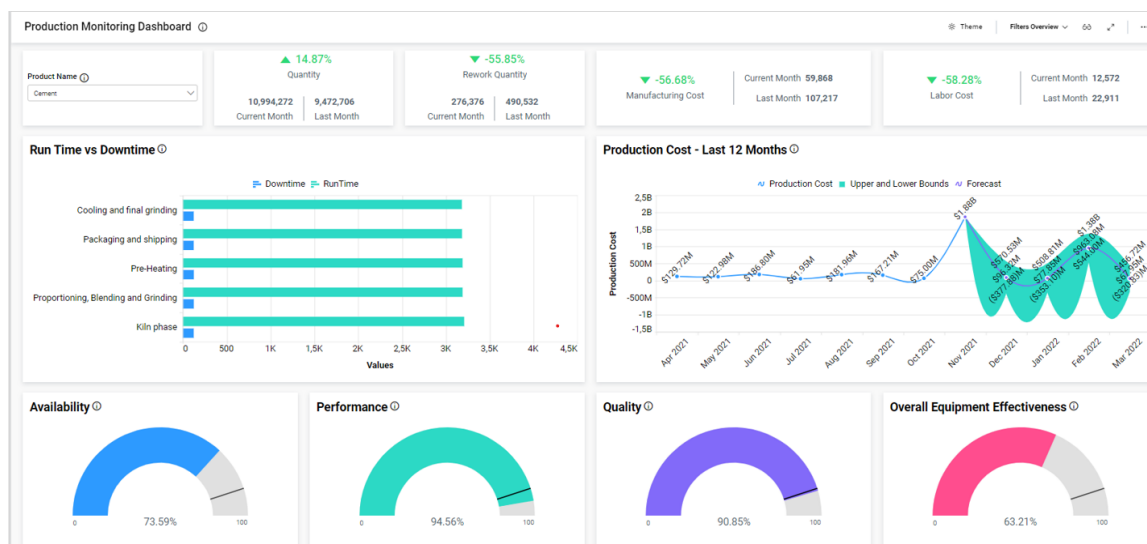


Figura 7: Exemplo de Dashboard de *performance* industrial Retirado de: (BoldiBI in “<<https://samples.boldbi.com/solutions/manufacturing/production-monitoring-dashboard>>, Consultado em: 04/01/2022”)

Drill Downs

Uma das grandes aliadas dos *dashboards* no objetivo de manter a página pouco poluída visualmente, mas ao mesmo tempo com riqueza de informação é a utilização de *drill down* nas análises.

Segundo Ikeda et al. (2012) essa ferramenta permite obter um conhecimento profundo de um conjunto particular de dados de maneira a permitir que o utilizador explore a mesma informação em diferentes níveis de detalhe e muitas vezes com apenas um clique. Esse comportamento permite que o utilizador navegue rapidamente entre uma visualização geral e ampla dos dados para outras mais profundas e detalhadas. A DevExpress (2021) propõe um exemplo simples de *drill down* apresentado na Figura 8.

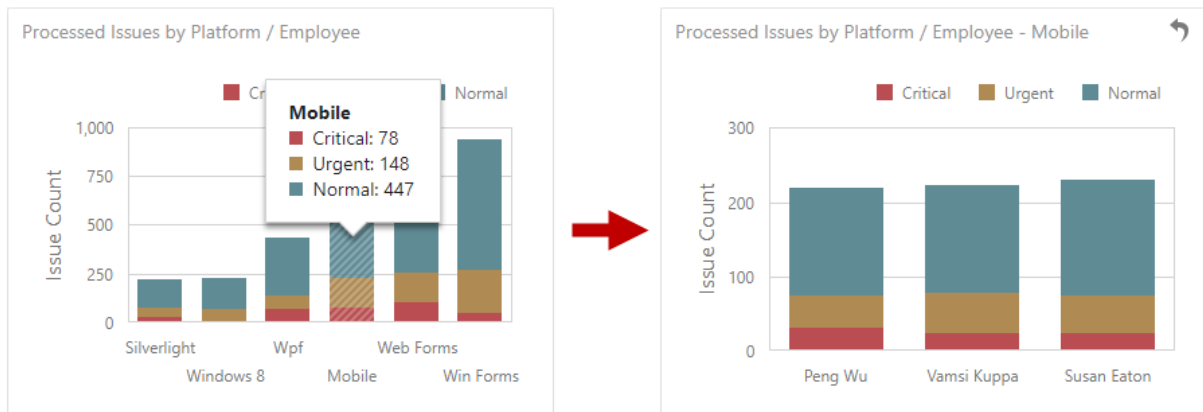


Figura 8: Exemplo de *Drill down* na categoria *Mobile* Fonte: DevExpress (2021)

No exemplo é apresentado um gráfico de barras com a contagem de problemas de uma plataforma distribuída pelas diferentes possíveis formas de acesso. Foi feito um *drill down* para a o tipo de acesso “*Mobile*” e o resultado na parte direita da imagem mostra o mesmo gráfico com a mesma métrica, porém com mais detalhes dentro da dimensão selecionada, passando-se a apresentar os nomes de cada um dos funcionários que acederam a plataforma via *mobile*.

Factos vs. Dimensões

No momento da criação dos *dashboards* no contexto *Big Data*, devido a grande quantidade de tabelas e dados disponíveis, é normal que nem sempre esteja claro qual é a métrica em si e quais são as dimensões em que ela pode ser analisada.

Essa falta de clareza pode tornar-se um problema no momento de definir as possibilidades de *drill downs*, visto que estes devem ser feitos com o mesmo facto entre as diferentes dimensões que poderão ser detalhadas a medida em que os *drill downs* são aplicados.

É adequado que antes do início da criação dos *KPI* e das visualizações sejam identificadas adequadamente quais são as tabelas que contêm os factos a serem medidos e quais contêm as dimensões nas quais eles podem ser apresentados.

Uma *tabela facto* é uma tabela que contém os valores medidos do facto em si. Ela pode conter milhares ou mesmo milhões de registos. Cada um desses registos deve possuir uma *chave estrangeira* para que possa ser relacionado às dimensões de análise (Song et al, 2001).

Já uma *tabela dimensão* contém as dimensões possíveis de um facto. Ela armazena os atributos que podem ser usados para restringir, agrupar ou pesquisar os factos analisados (Song et al, 2001). Por norma, as dimensões ligam-se aos factos por relações do tipo um para muitos, embora em aplicações reais também sejam encontradas relações muitos para muitos.

A Microsoft disponibiliza um exemplo, apresentado na Figura 9, de um modelo que apresenta um facto em cinco dimensões diferentes.

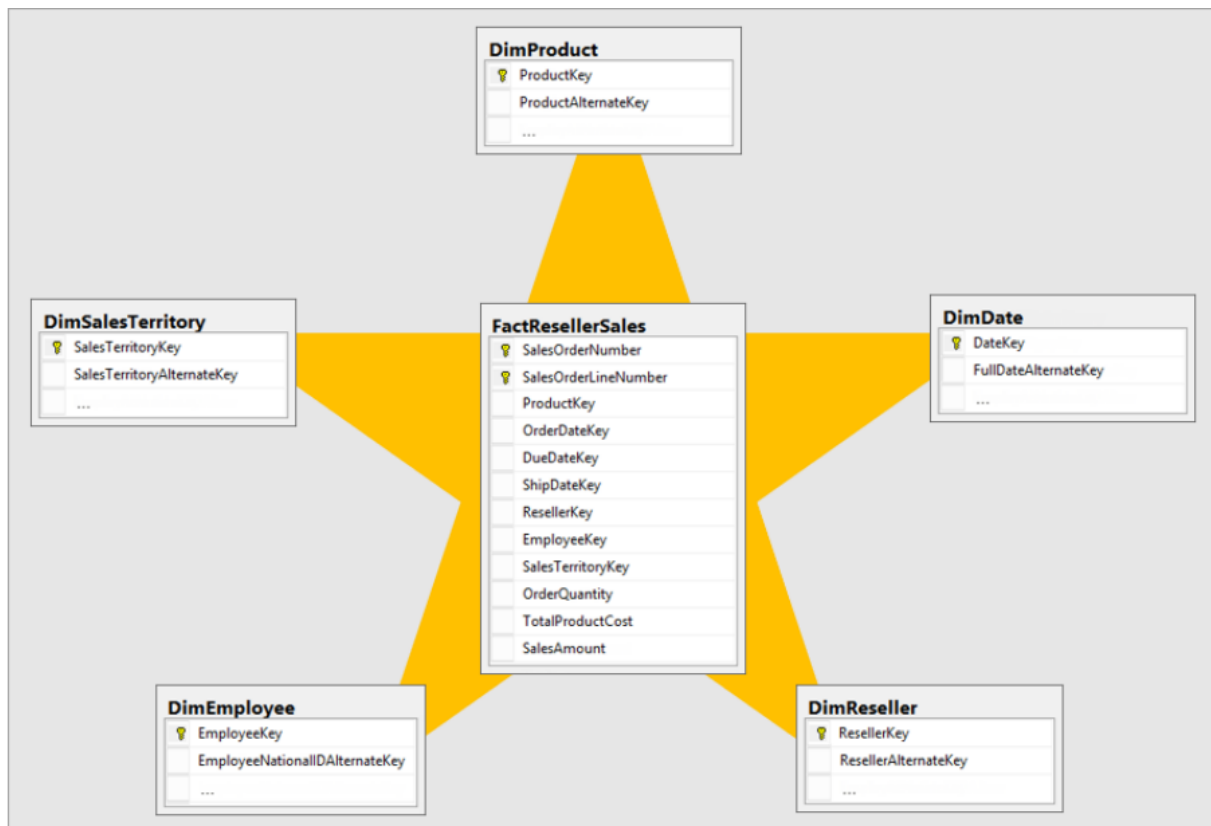


Figura 9: Relações entre tabela facto e tabelas de dimensões. Fonte: (Microsoft Docs 2021)

Neste exemplo o facto analisado são as vendas realizadas por revendedores e nota-se que dentro da tabela das vendas estão armazenadas diversas *chaves estrangeiras* para que sejam efetuadas as ligações com as dimensões.

As vendas, então, podem ser apresentadas em diferentes dimensões, sendo elas neste exemplo: produto, data, território, empregado ou revendedor.

2.4.3 Desenvolvimento

Durante todas as etapas o desenvolvimento do modelo de *BI* deve-se ter em mente que o objetivo final é que ele possa basear a tomada de ações. Para modelos de *BI* baseados em *Big Data* é crucial que o desenvolvimento do trabalho esteja alinhado com todos os futuros utilizadores para garantir o resultado esperado.

Este alinhamento deve existir nas etapas de definição dos *KPI* e criação das visualizações. Os utilizadores devem estar envolvidos, seja ativamente na definição ou em reuniões que permitam um processo iterativo de desenvolvimento.

Essa característica é um dos motivos que faz com que métodos derivados do *Agile* sejam tão adequados neste contexto, visto que costumam ter em consideração a necessidade de responder rápido a alterações no plano inicial e constante interação com o consumidor final, demandas naturais do processo de implementação de modelos *BI*.

3 Contextualização do Projeto

No Capítulo 3 é apresentado o contexto do mercado no qual a empresa e o projeto estão inseridos. São expostas algumas informações da indústria têxtil e sobre o funcionamento de alguns de seus processos.

Também é introduzido o produto da Smartex.ai, é feita uma apresentação acerca de como funciona, como se dá a interação com o cliente, os objetivos do sistema, tal como os *inputs* e *outputs* esperados em seu funcionamento.

Por fim são também descritos os processos de gestão de dados que serviram de ponto de partida para o projeto e são identificados de maneira mais detalhada os resultados esperados para o mesmo.

3.1 Contextualização da Indústria têxtil

A Smartex.ai fornece soluções para uma indústria muito particular: a indústria têxtil. Estima-se que o tamanho de mercado da indústria em 2021 tenha superado um bilhão de dólares (Grand View Research, 2021). Apesar de um tamanho de mercado tão grande essa indústria apresenta taxas elevadíssimas de desperdício de material. Estudos internos da Smartex.ai indicam que o desperdício de material ronde os 10% da produção total. Para além disso, de modo geral é um setor com poucos avanços tecnológicos no sentido da indústria 4.0 quando comparado a outras indústrias.

Como referido na Secção 1.2 a Smartex.ai atua na etapa de tricotagem. Essa etapa é responsável por cerca de 80% da produção total de defeitos da cadeia. Note-se que os defeitos produzidos nessa etapa são irreversíveis e como consequência toda a produção defeituosa é tratada como desperdício, visto que não pode ser reaproveitada.

Uma prova da falta de tecnologia referida é que, por norma, todo o processo de inspeção de malha na tricotagem é baseado em inspeção visual humana. Atualmente essa inspeção ocorre em dois momentos: durante a produção e a seguir a produção.

3.1.1 Durante a produção

Na inspeção durante a produção os operadores no chão de fábrica tentam identificar defeitos enquanto a malha é produzida. Este trabalho é ineficiente devido a alguns fatores. Sendo o principal deles a dificuldade de identificar defeitos enquanto a malha é produzida.

O trabalho dos operadores passa diretamente pela operação dos teares. Eles são responsáveis por alimentar a máquina com fios, limpar o equipamento e o chão, transportar e pesar os rolos produzidos, afinar e configurar máquinas, entre outras atividades. A Figura 10 apresenta um típico tear circular utilizado na produção de malha.

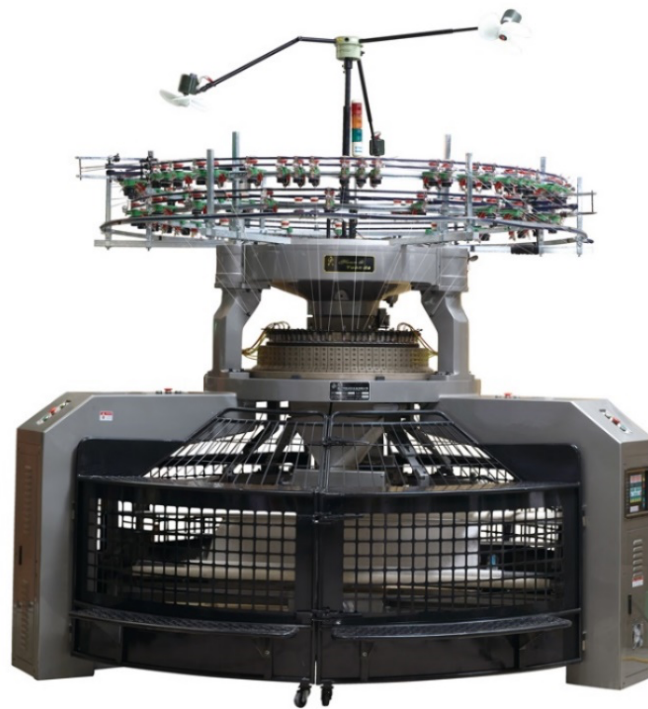


Figura 10: Exemplo de tear circular Retirado de: (High Speed Circular Knitting Machine | tradekorea in “<<https://www.tradekorea.com/product/detail/P487532/High-Speed-Circular-Knitting-Machine.html>>, consultado em: 22/01/2021”).

Uma das atividades desempenhadas pelos operadores é a inspeção da produção, que consiste na observação da produção através da grade de proteção do tear para detetar defeitos que podem ter 1 mm de espessura enquanto os fios são processados para produzir a malha. Note-se que enquanto o tear está em funcionamento há um movimento circular constante a uma velocidade de 20 a 30 rotações por minuto. A tarefa claramente não é indicada ao olho humano.

Para além dessa questão ainda existe o facto de que, em média, cada operador é responsável por fiscalizar quatro a seis máquinas em produção simultânea. Logo mesmo que ele consiga identificar o defeito, parar a produção na máquina e corrigir o defeito, se ao mesmo tempo outra máquina estiver a produzir defeito, este operador não conseguirá intervir.

3.1.2 A seguir a produção

Esta inspeção ocorre antes de enviar o rolo finalizado para a próxima etapa da cadeia. Existem máquinas especializadas que contam com luzes que facilitam a identificação de defeitos. Essas máquinas fornecem o suporte físico e auxílio mecânico para que os rolos possam ser analisados, mas é um operador quem deverá inspecioná-los e determinar se há defeito ou não. Caso seja constatada a presença de defeitos este operador ainda deverá determinar se o nível de produção defeituosa é aceitável para que a produção seja enviada à próxima etapa. A Figura 11 apresenta uma máquina de inspeção utilizada neste processo.

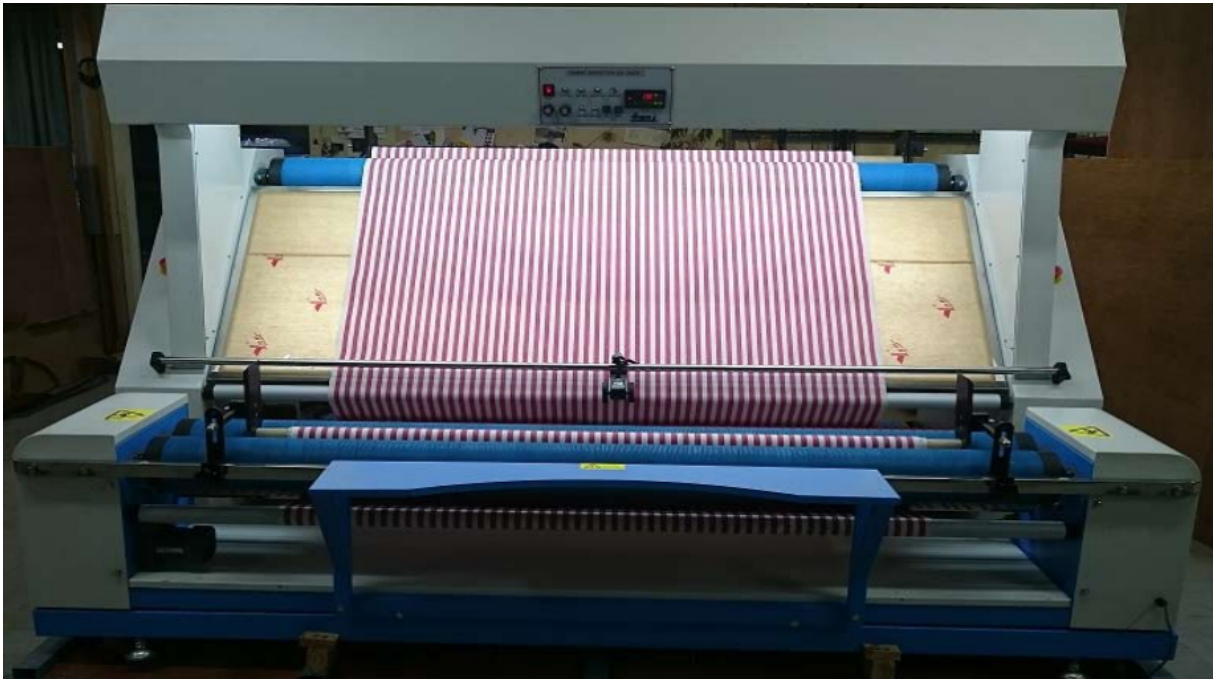


Figura 11: Máquina de inspeção Retirado de: (Svegea 2015)

Existem dois grandes problemas com essa inspeção. O primeiro deles é que nenhum desperdício é evitado. Caso seja constatado defeito, a única vantagem é a identificação do problema antes de chegar à próxima etapa da cadeia, mas haverá necessidade de produzir novamente o rolo caso o nível de defeitos não seja aceitável.

O outro grande problema consiste no facto de não ser possível inspecionar todos os rolos. A inspeção é feita por amostragem e não há nenhuma garantia quanto aos rolos que não foram inspecionados.

3.2 Contextualização do produto

A solução da Smartex.ai consiste em anexar uma série de dispositivos aos teares circulares que fazem inspeção automática e em tempo real de todos os rolos produzidos naquela máquina.

O produto tem componentes de *hardware* e *software*. Para simplificação o conjunto de dispositivos físicos que são instalados nos teares a partir de agora serão chamados de Smartex.

O Smartex é um sistema óptico que é instalado nos teares circulares e que inspeciona a malha que está a ser produzida. O sistema envia constantemente os registos da produção a servidores onde são aplicados algoritmos de *machine learning* que definem se há, ou não, defeito na produção, baseando-se entre outros elementos nos critérios definidos pelo operador.

A informação sobre a presença, ou não, de defeito retorna então aos dispositivos Smartex. Quando os critérios de paragem são atingidos o equipamento para o tear circular. A produção só é reiniciada após uma interação humana que deve avaliar o possível defeito.

Por fim é possível concluir que o Smartex é mais eficiente quando comparado aos dois casos correntes de inspeção na indústria. Para o caso da inspeção durante a produção o produto é mais preciso que os olhos humanos ao identificar defeitos e, como cada máquina possui um Smartex, a aparição de defeitos em simultâneo em diferentes máquinas deixa de ser um problema.

No caso da inspeção a seguir a produção o Smartex também se mostra mais eficiente visto que, para além de identificar os defeitos, também impede a sua produção e não sofre com o problema de amostragem, visto que todos os rolos são inspecionados.

3.2.1 Tipos de Defeito

No processo de tricotagem existem alguns tipos de defeito recorrentes. O Smartex é capaz de distinguir entre defeitos horizontais, verticais, pontuais e marcas de óleo.

Os defeitos horizontais são produzidos paralelamente ao eixo em que o tecido é enrolado. Este tipo de defeito pode ser causado por irregularidades nos fios, ausência de elastano, falhas na máquina ao processar o fio ou elastano, entre outros.

Dada a natureza dos teares circulares e de como as malhas são produzidas a não correção de um defeito horizontal resulta num defeito periódico que irá aparecer a cada 4~8 cm no rolo. As Figuras 12 e 13 apresentam alguns exemplos.

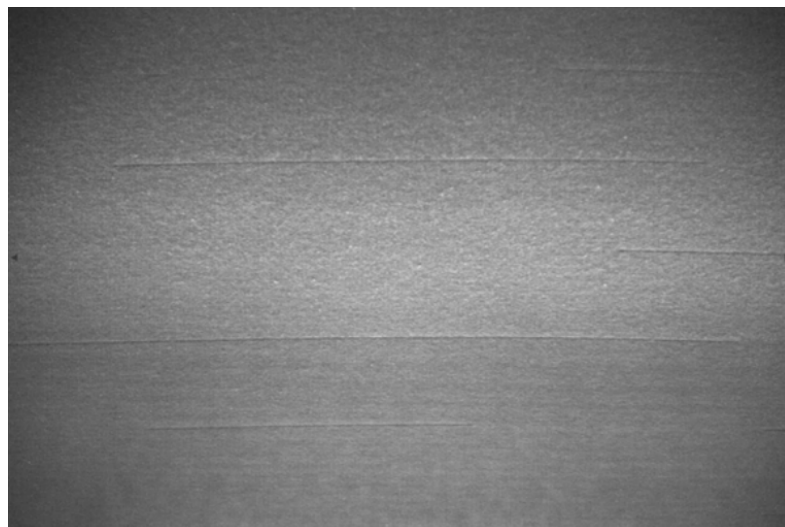


Figura 12: Defeito de linhas de elastano

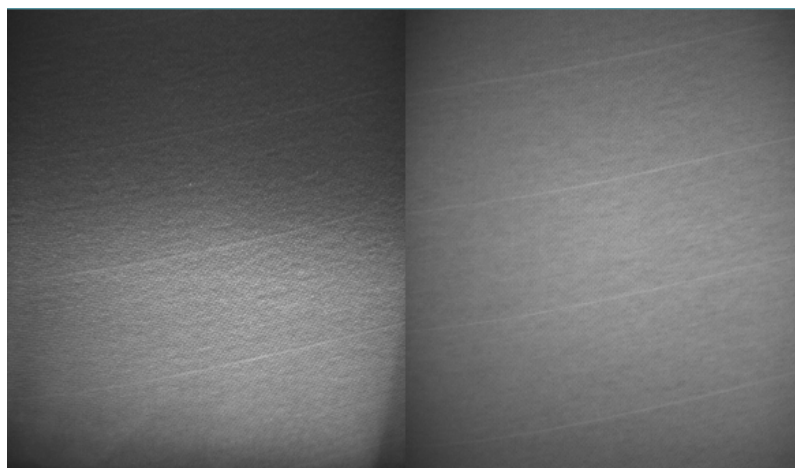


Figura 13: Defeito de irregularidade de Fio

Os defeitos verticais ocorrem perpendicularmente ao eixo do rolo e estão relacionados com problemas nas agulhas dos teares. Normalmente ocorrem quando há agulhas partidas ou tortas

e costumam ser contínuos. Caso não sejam corrigidos os defeitos são propagados ininterruptamente por todo o rolo. A Figura 14 apresenta um exemplo.

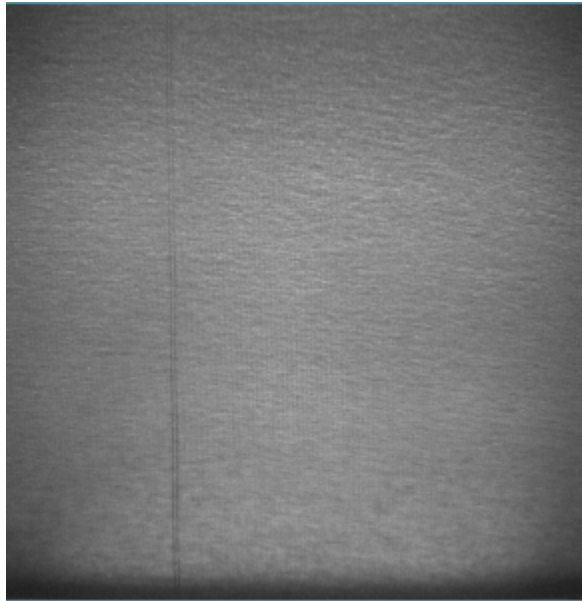


Figura 14: Defeito de agulha

Os defeitos pontuais caracterizam-se por pequenos buracos que ocorrem ocasionalmente na malha e podem ter diversas causas, podendo ser periódicos ou não. A Figura 15 apresenta um exemplo de defeitos pontuais em sequência.

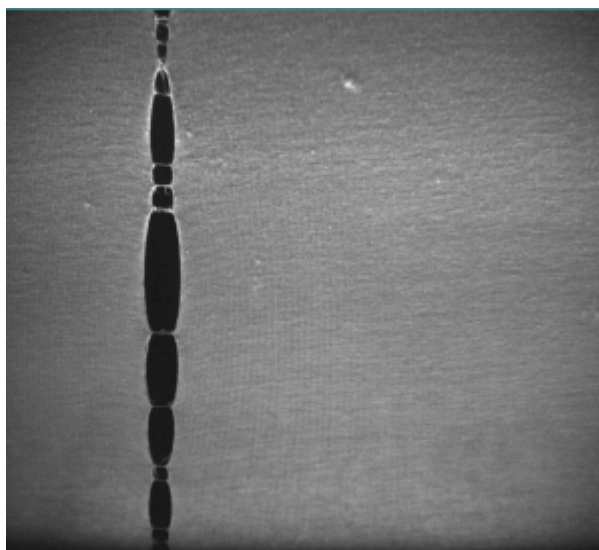


Figura 15: Furos na malha

As marcas de óleo são os defeitos causados por contaminação da malha com óleo que pode ter origem em vazamentos ou manutenções nas máquinas. Assim como os defeitos pontuais, as manchas de óleo podem ser contínuas, periódicas ou podem acontecer pontualmente, a depender da causa do problema. A Figura 16 apresenta um defeito de óleo.



Figura 16: Mancha de óleo

3.2.2 Paragens Golden e Standard

Os defeitos apresentados na Secção 3.2.1 são defeitos comuns e reconhecidos pela indústria. Sempre que o Smartex os deteta, e as condições de paragem são cumpridas, a máquina é parada. Entretanto nota-se que algumas paragens são mais importantes que outras aos olhos dos clientes.

Isto ocorre porque alguns defeitos possuem maior potencial destrutivo que outros. Por exemplo, um defeito vertical contínuo ou horizontal de elevada periodicidade pode vir a afetar a produção de um rolo inteiro, ou vários rolos se o problema não for corrigido. Por outro lado, a máquina também pode parar ao identificar três manchas de óleo num rolo. Porém se essas manchas não forem sequenciais e estiverem a cair aleatoriamente ou com baixíssima periodicidade podem não ter grande impacto na produção.

São utilizadas duas categorias para distinguir as paragens do Smartex. As que evitam os grandes desperdícios em potencial são chamadas de “Paragens *Golden*”. As paragens que possuem menor potencial de poupança são chamadas de “Paragens *Standard*”.

O critério para que uma paragem seja considerada *golden* está associado ao tamanho do defeito. As paragens *Golden* são aquelas que param a máquina durante a produção de um defeito contínuo ou periódico que possui comprimento superior ou igual a 1.5 metros no momento da paragem.

É importante referir que o conceito de paragens *Golden* ou *Standard* é amplamente utilizado tanto pelos clientes, que passam a utilizar os termos após terem o Smartex instalado, quanto internamente pela equipa da empresa.

O esclarecimento dessa diferença é fundamental para futuramente quantificar as poupanças dos sistemas Smartex. As paragens *Golden* são aquelas que indiscutivelmente estão a impedir grandes desperdícios.

3.2.3 Critérios de paragem

Como referenciado anteriormente, durante a produção de malha um modelo de *machine learning* está constantemente a informar ao sistema se está a detetar alguma anomalia ou não. Entretanto não basta que sejam detetadas anomalias para que a produção seja interrompida. É preciso que alguns critérios sejam cumpridos.

Esses critérios representam o limite que deve ser atingido para que o Smartex pare a máquina. Eles são definidos pelo utilizador e podem ser divididos em dois grupos: critérios de contexto ou critérios de rolo.

Os critérios de contexto analisam as paragens num curto período de produção e procuram evitar os defeitos contínuos ou periódicos de alta frequência. Para defini-los o utilizador precisa de introduzir dois parâmetros no sistema: o número de anomalias aceitável e o comprimento de malha de referência. Por exemplo o utilizador pode definir que caso aconteçam cinco anomalias em 1 metro de malha a produção deve ser interrompida.

Já os critérios de rolo estão normalmente associados a problemas periódicos que não possuem uma periodicidade suficientemente alta para que sejam detetados nos critérios de contexto. Diferente dos contextuais nos critérios de rolo o utilizador deve definir apenas um parâmetro: o número de anomalias aceitável, pois nesse parâmetro o referencial de comprimento de malha passa a ser o próprio rolo. Um exemplo deste critério consiste em definir que uma paragem deve ocorrer caso sejam encontradas 15 anomalias do mesmo género no rolo.

Ambos os critérios são ajustáveis aos tipos de defeito e é possível ter critérios ativos para todos os tipos, logo o sistema pode funcionar com um critério específico para cada tipo de defeito simultaneamente. Para além disso os critérios de contexto e de rolo são complementares, ficando ambos ativos durante a produção.

3.2.4 Interação com operadores

Outro ponto importante do produto é a sua interação com os operadores das fábricas. Entre os dispositivos de *hardware* que compõem o Smartex está incluído um ecrã *touchscreen* que funciona como *interface* entre os operadores das máquinas e o sistema. É através desta *interface* que eles têm acesso em tempo real às informações da inspeção e também podem alterar definições do produto.

Antes do início de cada rolo o operador deve inserir no sistema algumas informações referentes à ordem de produção como: confirmação de que o rolo anterior foi finalizado, código de ordem de produção e tipo de malha a ser produzido. Também é uma tarefa dos operadores definir a sensibilidade e escolha de critérios de paragem do sistema.

Já durante a produção o operador tem acesso às imagens que estão a ser registadas assim como a informações das anomalias que já foram encontradas naquele rolo até ao momento. Para além disso, quando há uma paragem o operador deve indicar se foi uma paragem boa ou má. Uma paragem boa é aquela em que anomalia indicada pelo sistema realmente é uma falha na produção e a paragem evita que ela continue a ser produzida. Já a indicação de má paragem significa que a anomalia não era realmente um defeito, logo não traz benefícios.

3.2.5 Smartex Dashboard

Entre os componentes de *software* disponibilizados aos clientes pela Smartex está o acesso a uma plataforma *web* para controlo e monitorização do sistema em tempo real. A partir de agora essa plataforma será chamada de Smartex *Dashboard*.

A definição de quem tem acesso a plataforma é uma escolha de cada cliente, mas na grande maioria dos casos os principais utilizadores são os gestores de produção.

No Smartex *Dashboard* o utilizador tem acesso a informação de todas as máquinas da sua fábrica que possuem o Smartex. É possível ter acesso a informações como: número de defeitos, número de paragens, metros com defeitos, imagens dos defeitos, entre outros, de todos rolos que foram produzidos nestas máquinas.

Também são disponibilizadas informações sobre a máquina, especificamente: número de rolos produzidos, tempo em que a máquina esteve a produzir, tempo em que esteve parada e tempo em que esteve desligada.

O *Smartex Dashboard* também é utilizado internamente pelas equipas da Smartex para acompanhar os resultados dos clientes e tentar identificar situações anormais. Atualmente a equipa interna Smartex tem acesso às mesmas informações que os clientes.

3.3 Geração de dados:

O principal objetivo do produto Smartex é detetar e impedir a produção de defeitos. Entretanto durante o processo de inspeção são gerados milhões de dados das fábricas e suas produções.

Os dados são um subproduto natural do funcionamento do sistema, visto que os dispositivos estão constantemente a enviar informações aos servidores. Essa quantidade de registos proporcionada pelo Smartex representa uma oportunidade para a indústria no sentido de ampliar a monitorização da *performance* das suas produções. Essa oportunidade é valiosa porque grande parte desses dados não poderia ser produzida sem recorrer a inteligência artificial.

3.3.1 Aquisição de dados

Como apresentado na Secção 2.3.1 o primeiro passo de um sistema de análise de dados baseados em IoT é a camada física. Neste caso em específico, os dispositivos desta camada são os próprios dispositivos que compõem o produto Smartex. Estes dispositivos têm como principal finalidade garantir o bom funcionamento de todo o sistema, mas ao mesmo podem servir como fontes de dados para as análises.

Para a total compreensão de como os dados são adquiridos é preciso voltar ao processo de inspeção do Smartex. Apesar de a máquina só ser parada nos momentos de defeito, a inspeção ocorre de maneira quase contínua, o que significa que o sistema está constantemente a receber informações dos modelos de *machine learning* a respeito da existência, ou não, de defeitos.

Isso significa que, para cada máquina com Smartex, numa questão de poucos segundos há novos dados relativos a presença, ou não, de defeito. Nota-se que cada registo está associado a um carimbo de data/hora e, no caso de ser detetado alguma ocorrência defeituosa, é registado qual o tipo de defeito encontrado pelo sistema.

Para além dos defeitos o Smartex também conta com sensores que registam informações da produção. Um deles indica se um tear está ligado, desligado ou ligado e parado. A partir do sistema óptico também é possível definir o comprimento produzido, sendo possível por exemplo chegar ao tamanho da malha defeituosa ou comprimento total de cada rolo produzido.

Uma das informações mais importantes para o bom funcionamento do sistema vem dos sensores que indicam a velocidade em que o tear está a funcionar caso ele esteja em produção.

Existem também dados que não são provenientes dos sensores, mas dos operadores das máquinas. No contexto deste trabalho os mais importantes são: o tipo de malha que está a ser produzida naquele rolo e a avaliação do operador em relação a paragem, que deve indicar se uma paragem foi boa ou má sempre que o Smartex para a máquina.

3.3.2 Estrutura de armazenamento

A camada de rede, também referida na Secção 2.3.1, faz a ponte entre a camada física e a camada de processamento. O tráfego de informações do sistema é feito por uma rede *wireless*.

A seguir à camada de redes está a camada de processamento. Neste caso a camada recebe informações dos sensores e armazena-as em uma base de dados, que processa os dados brutos obtidos pelos sensores e estrutura-os de maneira que sejam mais acessíveis posteriormente.

A camada de processamento é especialmente importante e complexa devido à natureza do *Big Data*. Como foi apresentado anteriormente os dados da produção possuem diferentes fontes de dados heterogêneas e trabalham em frequência elevada.

Existem também alguns dados importantes que não provêm da produção. Entre eles estão por exemplo as informações gerais de cada cliente e de suas máquinas.

De modo geral as tabelas da base de dados relacionam-se a partir de *chaves estrangeiras*, mas em muitos casos a mesma informação pode estar contida em mais de uma tabela sob contextos diferentes. Entre as dezenas de tabelas de dados geradas na camada de processamento chama-se atenção para as apresentadas a seguir visto que são particularmente importantes para este projeto.

Stops

Nesta tabela estão contidas informações de todas as paragens nas máquinas efetuadas pelo Smartex. Entre os atributos mais relevantes destacam-se:

- ID da Paragem: chave única para identificar cada paragem;
- Carimbo de hora da paragem: data completa do momento em que a paragem ocorreu;
- Paragem *Golden*: *booleano* que indica se a paragem em questão é *Golden* ou *Standard*;
- Verificação Humana: representa a indicação do operador da máquina que validou a paragem na fábrica e a definiu como boa ou má;
- Etiqueta de defeito: indica qual o tipo de defeito deu motivo a paragem (horizontal, vertical, pontual ou óleo);
- Parâmetro de paragem: indica se a paragem ocorreu por um critério de paragem contextual ou de rolo;
- Número de ocorrências: quantas vezes o defeito foi detetado antes de efetivamente parar a máquina;
- Limite para ocorrências: parâmetro estabelecido pelos utilizadores que definem a tolerância máxima para o intervalo no qual número de ocorrências pode ocorrer.
- ID do Rolo: chave que faz referência ao rolo em que houve a paragem em questão.

Rolos

Esta tabela contém os registos de todos os rolos que já foram produzidos. Destacam-se os atributos:

- ID do Rolo: chave única para identificar cada rolo;
- Carimbo de hora inicial: data completa do momento em que a produção do rolo foi iniciada;

- Carimbo de hora final: data completa do momento em que a produção do rolo foi finalizada;
- ID de malha: chave que faz referência ao tipo de malha fabricado;
- ID de máquina: chave que faz referência a máquina na qual o rolo foi produzido.

Rpms

A unidade padrão para medir a velocidade das máquinas é o rpm (rotações por minuto). Logo a tabela Rpms guarda a informação da velocidade das máquinas. Destacam-se os atributos:

- ID de máquina: chave que faz referência a máquina que está a ser analisada;
- Carimbo de data: momento em que a velocidade foi registrada;
- Valor: o valor da velocidade daquela máquina naquele momento, em Rpm.

CKM Status

Esta tabela guarda a informação do estado de cada máquina. Destacam-se os atributos:

- ID de máquina: chave que faz referência a máquina que está a ser analisada;
- Carimbo de data: momento em que o estado foi registrado;
- Valor: indica se naquele momento a máquina estava a produzir, parada ou desligada.

Também existem tabelas com informações que não provém dos sensores na produção, dentre elas as mais relevantes para este projeto são:

Ckms

Nela estão contidas todas as informações a respeito das máquinas. Destacam-se os atributos:

- ID da Máquina: chave única para identificar cada máquina;
- Nome: nome de cada máquina atribuído pelo dono da fábrica;
- ID da Fábrica: chave que indica a fábrica a qual a máquina pertence.

Factories

Possui as informações sobre as fábricas. Destacam-se os atributos:

- ID da Fábrica: chave única para identificar cada fábrica;
- Nome: nome da fábrica;
- ID endereço: chave que faz referência região geográfica do cliente.

Fabrics

Guarda as informações das malhas criadas pelos clientes. Destacam-se os atributos:

- ID da malha: chave única para identificar cada malha;
- Nome: nome da malha;
- ID da Fábrica: chave que indica a fábrica a qual a malha pertence.

3.4 Situação Inicial da Análise de dados

Dada a explanação do subcapítulo anterior pode-se concluir que dos “5V” apresentados na Secção 2.3 e pretendidos para um sistema de análises *Big Data*, quatro já estão bem endereçados. O sistema cumpre os requisitos quanto ao:

- Volume: a inspeção contínua de todas as máquinas resulta numa produção massiva de dados;
- Variedade: os dados gerados possuem diversas fontes, entre elas diversos sensores;
- Velocidade: toda a informação é processada e armazenada em tempo real para que a inspeção aconteça;
- Veracidade: a informação está associada aos sensores que são utilizados para inspeção, logo espera-se fiabilidade do equipamento e em caso de falha nestes dispositivos também há falha na inspeção e consequentemente há alertas por parte dos clientes para que um eventual problema seja rapidamente identificado e corrigido.

O “V” que ainda não é propriamente endereçado é o “Valor”. Apesar de o sistema de coleta de armazenamento de dados estar em pleno funcionamento, ainda há potencial inexplorado no que refere ao tratamento de dados.

A geração de valor está diretamente associada ao desenvolvimento das camadas de Aplicação e Negócios apresentadas em 2.3.1 e para que essas camadas sejam desenvolvidas é preciso primeiro identificar os processos correntes de tratamento de dados e traçar objetivos para o projeto.

3.4.1 Processos correntes

Devido à natureza do negócio nota-se que existem duas partes interessadas no tratamento dos dados. Uma é a própria empresa, que tem interesse na monitorização da *performance* dos seus clientes e a outra são os clientes que pela primeira vez podem vir a ter o registo dos dados de toda a sua produção.

Serão tratadas como aplicações externas as que têm como objetivo entregar mais valor ao cliente e como aplicações internas as análises com a finalidade de atender às necessidades da própria empresa.

Aplicações Externas

Antes do início deste projeto a empresa já tratava dados para trazer informações sobre *performance* e produtividade para os clientes visto que nunca houve acesso antes a tanta informação sobre a produção. Este tratamento estava focado em análises que tinham o objetivo de quantificar as poupanças dos clientes a nível financeiro e ambiental, sendo reunidas informações sobre parâmetros *golden* e assumidos alguns pressupostos para que fosse possível chegar a valores de poupança.

Os dados das paragens eram consultados diretamente na base de dados e tratados em Excel para que fosse criado um Relatório Executivo. Dentre os indicadores calculados estavam:

1. Número total de paragens *golden*;
2. Poupança em horas de produção;
3. Poupança em peso de malha;
4. Poupança em euros;
5. Poupança em litros de água;
6. Poupança de energia elétrica;
7. Emissões de CO₂ evitadas;
8. *ROI*;
9. *Payback*.

Já em relação a métricas de *performance* calculava-se:

1. Tempo de resposta médio dos operadores;
2. Tempo de resposta médio por turno;
3. Tempo de resposta médio por semana;
4. Percentual de paragens *golden* por tipo de defeito;
5. Número de paragens *golden* por semana.

O tempo de resposta refere-se ao intervalo de tempo entre uma máquina parar por algum motivo e voltar a produzir. Esta métrica é particularmente importante pois está diretamente relacionada com a produtividade dos operadores e é apresentada sob diferentes dimensões: média total, média por turno e média semanal.

O percentual de paragens *golden* por tipo de defeito apresenta a distribuição de paragens percentualmente em relação ao tipo de defeitos, que podem ser verticais, horizontais, pontuais ou de óleo. Já a última métrica de *performance* informa quantas paragens *golden* ocorreram em toda a fábrica por semana.

Até então, o processo para chegar aos resultados era manual e ocorria em folhas de Excel. Para além disso as métricas de *performance* só eram apresentadas em conjunto com o relatório executivo, que possui foco financeiro.

O que ocorria é que os clientes não possuíam maneira de aceder a essas análises atualizadas, pois só as recebiam neste relatório que lhes era entregue mensalmente.

Aplicações Internas

Para contextualização das aplicações internas é importante mencionar que a empresa possui um departamento chamado *Customer Success* cujo principal objetivo é monitorizar os clientes para garantir que tenham sucesso ao utilizar o produto.

Este departamento faz uso de duas ferramentas para realizar este acompanhamento: contacto direto com clientes e o Smartex *Dashboard*.

O contacto direto representa um bom processo qualitativo, mas muitas vezes carece de dados. Ele representa uma forma cada vez mais ineficiente à medida que novos clientes surgem com o crescimento da empresa.

Já a utilização do Smartex *Dashboard* permite acesso a alguns dados de produção como: número de paragens, número de paragens *golden* assim como alguns detalhes de cada uma delas. Também é possível aceder individualmente aos rolos produzidos e ter informações sobre o número de ocorrências, paragens e tamanho dos rolos.

Entretanto, apesar da ferramenta disponibilizar as informações, ela foi criada para ser utilizada por clientes e neste momento não há distinção entre formas de visualização para

equipa Smartex ou cliente, logo essa forma de acompanhamento não é a mais adequada para monitorizar resultados gerais.

Entre as principais inadequações destaca-se que a plataforma foi pensada para apresentar informações pontuais e em tempo real, logo a informação é muito granular pois o mais relevante para os clientes é ter os dados o mais pormenorizados possível.

Destaca-se que nesta ferramenta há poucas possibilidades para agrupamento de dados e que como ela não foi idealizada para esta finalidade são precisas muitas interações para ter acesso a informações relevantes à equipa Smartex.

Por fim ainda podem existir métricas que são importantes internamente para o acompanhamento dos resultados que não fazem sentido para o cliente, portanto não é possível adicioná-las ao Smartex *Dashboard*, visto que não trazem valor aos utilizadores finais da plataforma.

Uma métrica reconhecidamente importante para auxiliar a equipa de *Customer Success* a medir os resultados é o %TGS. O %TGS pode ser calculado de acordo com a Equação (3.1).

$$\%TGS = \frac{\text{True Golden Stops}}{\text{Total Smartex Stops}} \quad (3.1)$$

Esta métrica representa o percentual das paragens *golden* entre todas as paragens do Smartex. O numerador da equação representa o número paragens *golden* classificadas como boas pelos operadores que ocorreram naquele cliente no período de tempo analisado. Já o denominador indica a quantidade total de paragens realizadas pelo Smartex, sejam elas *golden*, *standard*, boas ou más.

Esta métrica é apontada como relevante visto que de uma forma geral representa tanto a *performance* do sistema quanto os resultados financeiros dos clientes. Um valor elevado nesta métrica indica que as paragens estão a ser validadas pelos operadores e estão de facto, a gerar poupanças.

Por outro lado, um valor baixo pode significar que muitas paragens não têm sido validadas pelos operadores ou que muitas vezes o sistema tem parado por paragens *standard*, que em muitos casos realmente evitam defeitos, mas possuem menos valor agregado.

3.4.2 Considerações Finais

A nível externo, como referido anteriormente, há um desejo claro por parte da empresa em desenvolver mecanismos para produzir informações relevantes às fábricas. Acredita-se que no futuro esta área possa trazer novas fontes de receita, mas não existia um processo estruturado para se chegar até lá.

Neste segmento é preciso identificar possibilidades de gerar valor para os clientes com os dados que já estão disponíveis na empresa, portanto conclui-se que o projeto deverá analisar os processos que já existem e extrapolá-los. É expectável que o centro do projeto esteja em análises para além das métricas financeiras e cálculos de poupanças, que têm sido o principal foco até então.

Para isso, é preciso percorrer todo caminho de desenvolvimento de modelos de análise de dados, que inclui: contextualização, aquisição de dados, modelação, validação e implementação. É desejável que no fim do projeto se obtenha um ou mais *dashboards* que servirão como protótipo para um novo produto, chamado Smartex *Analytics* que tratará da gestão de dados de todos os clientes.

A nível interno procura-se desenvolver ferramentas com as quais a equipa consiga facilmente aceder a informações relevantes a respeito dos resultados e experiência dos clientes que utilizam Smartex.

Entre as equipas internas interessadas neste projeto identifica-se a equipa de *Customer Success* como o principal *stakeholder* visto que um dos seus principais objetivos é garantir que os clientes tenham sucesso durante a utilização do produto.

Portanto é desejável que seja criado um *dashboard* que centralize toda a informação e siga todo o processo de implementação utilizado para a criação do Smartex *Analytics*, mas tendo a própria equipa de *Customer Success* como utilizador final. O *dashboard* deverá ser denominado de *Customer Success Metrics*.

4 Implementação de soluções

No presente capítulo é descrito o processo de implementação das soluções propostas para o projeto. Devido à diferente natureza dos *dashboards* o *Smartex Analytics* e *Customer Success Metrics* foram desenvolvidos de maneira independente um do outro.

A metodologia aplicada para ambos foi a apresentada na Secção 1.4 que designava as seguintes etapas: contextualização, aquisição de dados, análises e visualizações, desenvolvimento do modelo, validação e implementação.

4.1 *Smartex Analytics*

Após a contextualização do problema e conclusão de que a melhor maneira para prosseguir com o projeto seria a construção de um ou mais *dashboards* foi preciso identificar os requisitos, restrições e alinhar as expectativas com a equipa.

É importante ressaltar que ainda que todo o material possa ser consultado pela equipa *Smartex*, os utilizadores finais do *Smartex Analytics* são os clientes. Por isso para todas as decisões teve-se em conta o valor que seria proporcionado sob o ponto de vista dos clientes.

Outro componente significativo é o facto de que o *dashboard* deveria ser de fácil acesso pelos clientes e pudesse receber informação atualizada numa base diária. O objetivo é que esse componente tivesse o foco na *performance* das fábricas e fornecesse informações que pudessem orientar as decisões dos gestores de produção.

Por fim, o processo de construção do *dashboard* é iterativo e envolve constante debate de ideias, validação de resultados, ajustes e realinhamento de expectativas. Ocorreram diversas iterações onde algumas análises e requisitos foram ajustados até que fosse possível chegar a um resultado satisfatório.

4.1.1 Contextualização

O primeiro passo para definição dos requisitos do *Smartex Analytics* foi intensificar a recolha de *feedback* com clientes no momento da apresentação do Relatório Executivo.

Desde o início do processo toda a equipa de *Business* da *Smartex* foi uma importante aliada no desenvolvimento deste *dashboard*. Para além das informações padrão do Relatório Executivo, durante os primeiros meses do projeto foram testadas mais de uma dezena de novas métricas durante a apresentação destes relatórios. Nestas apresentações foi possível medir o grau de interesse do cliente em cada uma delas. Este passo no início do processo foi crucial para reduzir o retrabalho gerado na etapa de validação.

Ao final deste processo definiu-se que o *Smartex Analytics* deveria ser pensado tendo em conta os seguintes requisitos funcionais:

1. Integração com o *Smartex Dashboard*;
2. *Design* interativo e simples;

3. Atualização automática dos dados;
4. Flexibilidade para filtragem dos resultados;
5. Apresentar apenas as informações mais relevantes para o cliente;
6. O *dashboard* deveria ser criado em inglês.

A nível de informações que deveriam ser apresentadas concluiu-se que as análises deviam ser baseadas em métricas relacionadas com o número de paragens e com o tempo de resposta dos operadores.

4.1.2 Aquisição de dados

A seguir à contextualização deve-se definir o método para aquisição de dados e identificar as informações necessárias para os cálculos que virão a seguir.

Como toda informação necessária já era recolhida pelos dispositivos Smartex nas fábricas e a seguir armazenada na base de dados, a primeira decisão foi a respeito da melhor forma de se conectar a base de dados.

Considerando os requisitos funcionais definidos para o projeto e em especial o Requisito 3 e o Requisito 4, concluiu-se que a melhor maneira de prosseguir seria desenvolver o *dashboard* no *software PowerBI*, visto que ele permite uma conexão direta à base de dados eliminando quaisquer processos intermediários para alimentação do modelo.

Neste projeto a conexão entre o *software* e a base de dados foi feita via ODBC que possibilita o acesso em tempo real a todas as tabelas da base de dados assim como permite o envio de consultas em SQL.

Uma vez que o *software* a ser utilizado e o processo de obtenção de dados estavam definidos, passou-se a uma análise das tabelas que deveriam ser incorporadas no modelo. O primeiro passo foi distinguir quais eram as tabelas de factos e quais eram as de dimensões.

De acordo com o que foi traçado durante a contextualização concluiu-se que seriam incorporados no modelo quatro tabelas de factos e cinco tabelas de dimensões. Os factos a serem analisados são: paragens, tempo de resposta, tempo a produzir e rotações da máquina. Já as dimensões são: rolos, máquinas, fábricas, tipos de malha e datas de análise.

A *tabela facto* das paragens e as *tabelas das dimensões* rolos, máquinas, fábricas e tipos de malha podem ser obtidas diretamente da base de dados a partir da importação das tabelas *Stops*, *Rolls*, *Ckms*, *Factories* e *Fabrics* já referidas na Secção 3.3.2. Elas podem ser incorporadas pelo *Power Query* sem nenhum tipo de tratamento prévio.

Já os dados referentes aos outros três factos só podem ser obtidos através de consultas à base de dados efetuadas em SQL. As consultas são incorporadas seguindo a mesma lógica das tabelas, sendo armazenadas com o mesmo formato e uma vez que estejam dentro do *Power Query* possuem as mesmas características das tabelas. As consultas realizadas podem ser encontradas no Anexo A.

O cálculo dos tempos de resposta é realizado na consulta *Q. Response Times* através do processamento de dados as tabelas *Ckm Status*, *Ckms* e *Factories*. Nesta consulta é calculado o tempo de resposta de todas as paragens de uma máquina, inclusive daquelas que não são realizadas pelos dispositivos Smartex.

A *Q. Response Times* ainda é tratada no *Power BI* via *Power Query* para que dois atributos sejam adicionados: o turno em que a paragem ocorreu e a categoria em que o tempo de resposta se encontra. As fórmulas utilizadas no *Power Query* podem ser encontradas na Secção B.1 do Anexo B.

Já o tempo a produzir é calculado na consulta *Q.Ckm Uptime* realizada nas tabelas *Ckm_Status* e *Ckm*. Nesta consulta é calculado o tempo em minutos em que uma máquina esteve ligada a produzir, o tempo em que esteve parada e o tempo em que esteve desligada.

As rotações realizadas por uma máquina são calculadas em *Q. Rotations* através de consulta das tabelas *Rpms* e *Ckms*. O resultado desta consulta é o número de rotações realizado por cada máquina em diferentes períodos de tempo.

Por fim, a tabela referente à dimensão tempo foi criada em *Power Query* e é chamada de “Calendar”. Esta tabela tem a função de centralizar os atributos de tempo de todas as tabelas do modelo que possuem algum atributo temporal, logo ela possui uma relação do tipo um para muitos com as tabelas: *Stops*, *Rolls*, *Q. Response Times*, *Q. Ckm Uptime* e *Q. Rotations*. Essa tabela é de grande utilidade para o modelo, visto que quando for preciso um filtro de tempo pode-se aplicá-lo apenas em “Calendar”.

O modelo relacional dos dados está apresentado na Figura 17.

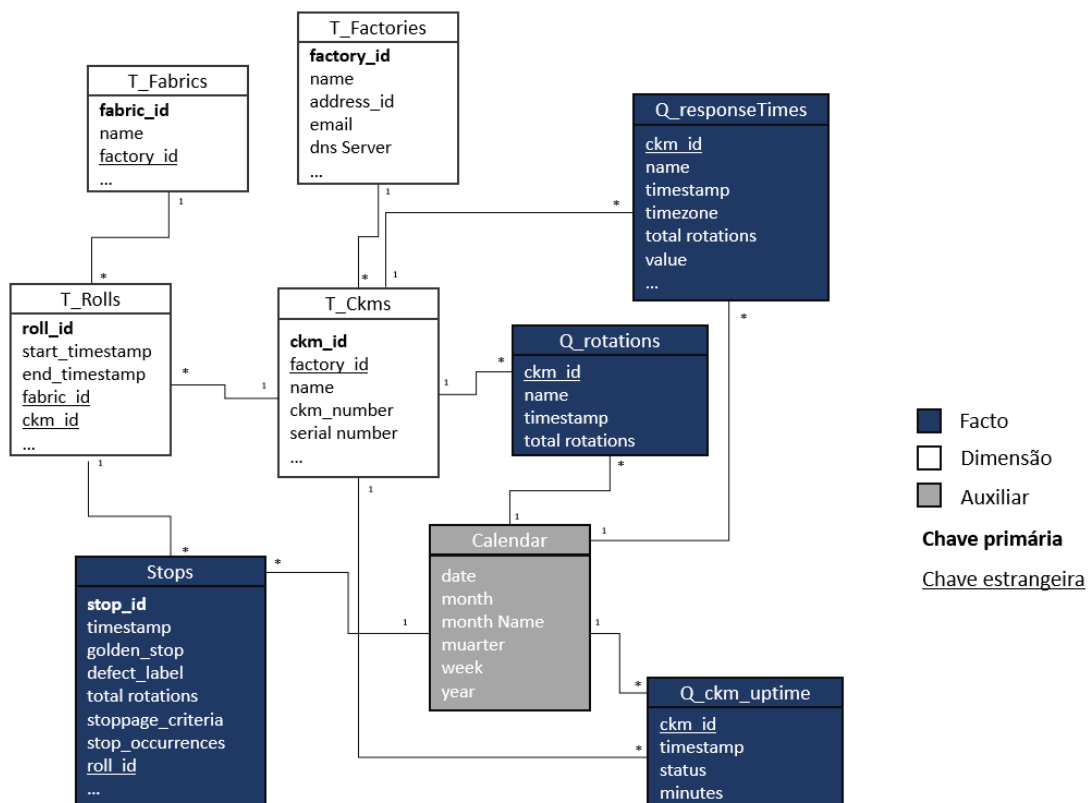


Figura 17: Modelo relacional dos dados

4.1.3 Análises e Modelação

Finalizada a etapa de aquisição de dados é iniciada efetivamente a construção do *dashboard*. Acordou-se que seriam criadas três páginas: uma para os tempos de resposta, uma para análise da dimensão máquinas e outra referente a análise da dimensão malhas.

A primeira versão deste modelo consistiu em transferir para cada página do *dashboard* as análises que já eram calculadas manualmente no Relatório Executivo.

As secções referentes a cada uma das páginas apresentam as métricas e gráficos gerados com dados produzidos internamente em ambientes de testagem.

Tempo de Resposta

Todos os dados utilizados nesta página são obtidos em *Q. Response Times* e na tabela *Ckms*. Um dos atributos de *Q. Response Times* é o turno em que ocorreu a paragem que originou o tempo de resposta.

O turno, tratado por *Shift* no *dashboard*, é uma dimensão específica dos tempos de resposta muito relevante para as fábricas, visto que este indicador está intimamente relacionado a produtividade. Esta métrica é apresentada num gráfico de barras para que o utilizador possa comparar diretamente a *performance* dos seus turnos.

Uma das vantagens da construção do *dashboard* em *Power BI* é a maneira simplificada de construir gráficos sem necessidade de código para operações comuns como cálculos de médias e contagens. Entretanto foi utilizada a linguagem *DAX (Data Analysis Expressions)* para o cálculo de métricas que por algum motivo necessitaram de fórmulas matemáticas. Apresentam-se na Secção C.1 do Anexo C as fórmulas necessárias para a página de tempos de resposta. A Figura 18 apresenta a página construída nesta etapa.

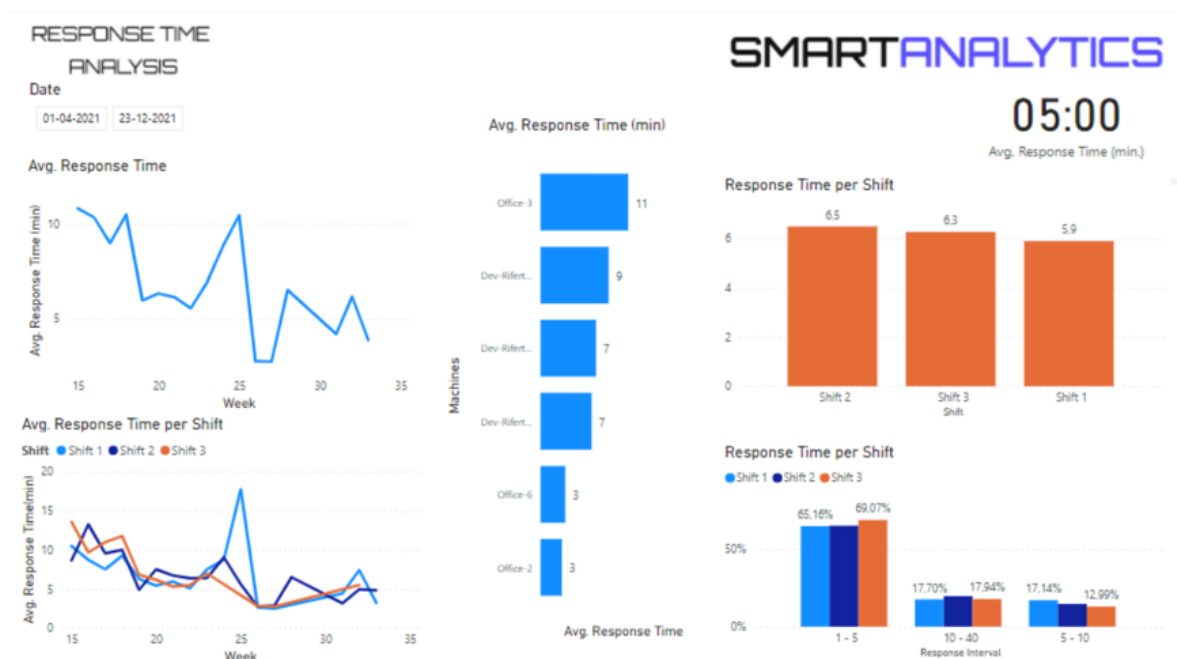


Figura 18: Primeira versão página tempo de resposta

Outro atributo de *Q. Response Times* é o intervalo em que o tempo de resposta está compreendido. Existem três categorias possíveis: inferior a cinco minutos, entre cinco e dez minutos ou superior a dez minutos. Note-se que as paragens superiores a 40 minutos não são levadas em conta na consulta.

Todos os elementos visuais da página são baseados no tempo de resposta a uma paragem. Este tempo de resposta é apresentado por máquina, por semana ou mês, por turno, por intervalo e ainda como uma média geral para todo o período seleccionado. Note-se que página possui um filtro temporal específico.

Os gráficos de linha à esquerda da página representam a distribuição temporal do tempo de resposta médio com possibilidade de *drill down* de mês para semana e ainda é apresentada a visualização de cada turno por mês ou semana.

O gráfico de barras horizontais no centro da página apresenta o tempo de resposta por máquina. Já o tempo de resposta médio para todo o período selecionado é indicado no cartão *KPI* à direita da página.

Por fim, à direita da página, o tempo de resposta médio por turno é apresentado num gráfico de barras, onde cada barra representa um turno. O último gráfico apresenta a distribuição percentual dos tempos de resposta por suas categorias para cada turno. Este atributo é apresentado na forma de barras verticais agrupadas, onde cada grupo representa uma categoria e cada barra do grupo simboliza um turno.

Análise de máquinas

Para a análise de máquinas foram usados dados da tabela *Stops*, *Ckms* e das consultas *Q. Response Times* e *Q. Rotations per Machine*. Apresenta-se a respetiva página na Figura 19. Inicialmente para estas análises não foi necessário criar medidas em *DAX* visto que todos os valores podiam ser obtidos diretamente no *Power BI*.

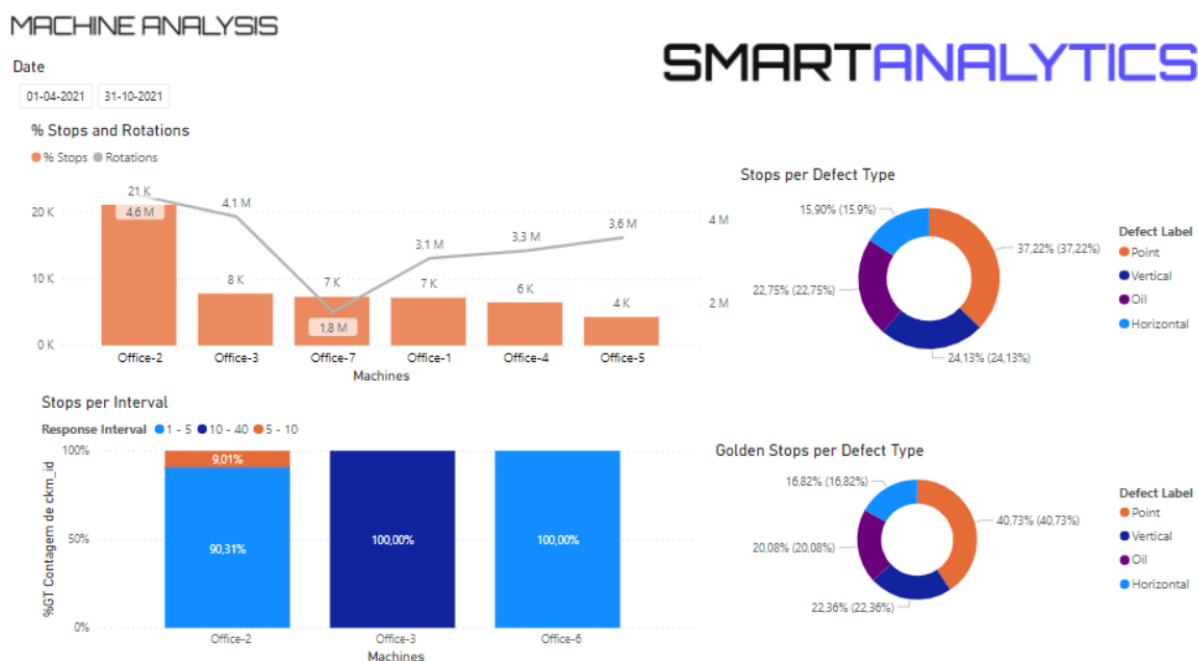


Figura 19: Página análise de máquinas

O gráfico de barras e linhas à esquerda apresenta o número total de paragens e rotações por máquina para o período selecionado, onde as paragens de cada máquina são apresentadas na barra e as respetivas rotações nas linhas.

Já o gráfico de barras verticais empilhadas apresentada o percentual de paragens pelo intervalo de tempo de resposta. Neste caso, para cada máquina é apresentada a distribuição percentual do número de paragens para cada uma das categorias possíveis: de 1 a 5 minutos, de 5 a 10 minutos ou de 10 a 40 minutos.

Apresenta-se ainda em forma de *donut charts* os gráficos do percentual de paragens e paragens *golden* por tipo de defeito, sendo que caso uma máquina seja selecionada estes gráficos passam a apresentar apenas valores referentes a ela.

Análise de tipos de malha

Para análise das malhas foram utilizadas as tabelas *Fabrics*, *Stops* e *Rolls*. Assim como na página anterior também não foi necessário criar nenhuma medida em *DAX*. A análise das malhas é apresentada na Figura 20.

O principal indicador desta página é o percentual de paragens realizadas. Foram apresentadas, em valores percentuais, as paragens por cada tipo de malha produzido pelo respetivo cliente no período selecionado.

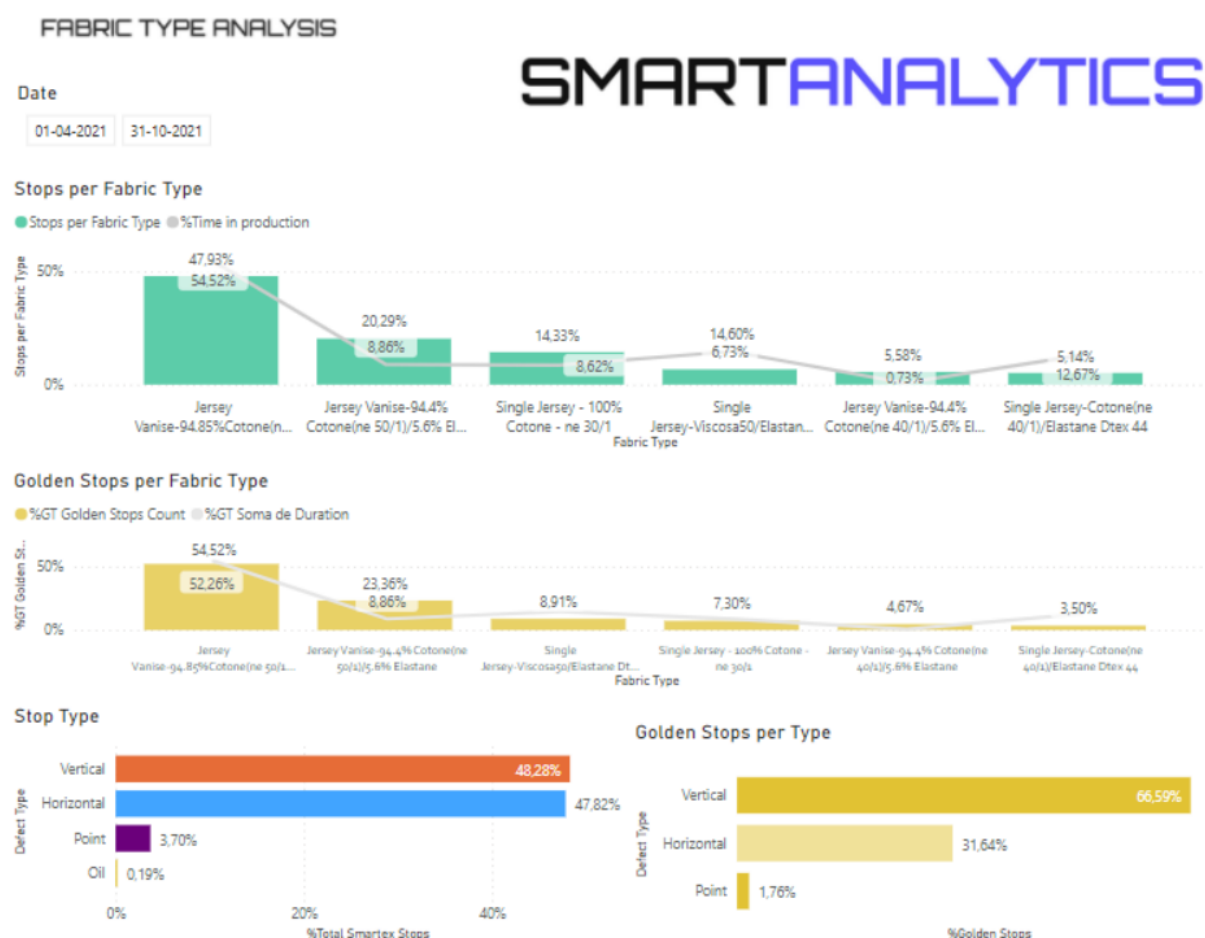


Figura 20: Página análise de malhas

O primeiro gráfico na região superior da página apresenta o percentual de paragens Smartex por tipo de malha num gráfico de barras e linhas, onde as barras indicam a percentagem de paragens realizadas pela Smartex naquele tipo de malha e nas linhas o percentual do tempo gasto para produzir cada uma delas.

O gráfico de barras e linhas no centro da página foi utilizado para apresentação apenas das paragens *golden* por tipo de malha. Ele funciona da mesma maneira que o gráfico logo acima, entretanto só leva em consideração paragens *golden*.

Por fim, como na página de máquinas são utilizados dois gráficos que apresentam a percentagem paragens com o tipo de defeito. Neste caso foram adotados dois gráficos de barras horizontais, sendo um deles utilizado para todas as paragens Smartex e o segundo apenas para paragens *golden*. Assim como no caso anterior, caso uma malha seja selecionada esses gráficos passam a filtrar seus valores consoante a seleção.

4.1.4 Validação

Com a primeira versão pronta, é chegado o momento de recolha de *feedback*. A nível interno foram realizadas três reuniões com membros de diversas equipas da empresa nas quais foram levantados pontos sob aspetos funcionais, estéticos, grau de dificuldade para futura implementação e o valor que as métricas ofereciam ao cliente.

Também foi recolhido *feedback* externo em quatro entrevistas de produto realizadas com diferentes clientes. Nessas entrevistas foi apresentada a primeira versão do protótipo e os entrevistados puderam expor as suas opiniões, preferências e apontar de maneira franca pontos positivos, negativos e possíveis melhorias.

Concluiu-se que o modelo cumpria plenamente as expectativas a nível de gestão e tratamento de dados, mas ainda não desempenhava o que era esperado quanto ao *design* e simplificação da informação, respetivamente os requisitos funcionais 2 e 5.

A partir dessa conclusão deu-se início a um trabalho em conjunto com a equipa de *UX/UI* da Smartex.ai para que o *dashboard* fosse aprimorado e uma nova versão desenvolvida.

Foi feita uma análise profunda das páginas da primeira versão, especialmente das páginas de análise das máquinas e de malhas e notou-se que havia inconsistências, como por exemplo o facto de a análise de máquinas apresentar detalhes sobre os tempos de resposta, que já possuem uma página exclusiva.

Também constavam tanto na página de análise de máquinas como na de malhas gráficos a respeito dos tipos de defeito. Os gráficos relacionavam-se com as máquinas ou malhas caso um filtro dinâmico fosse ativado ao selecionar algum elemento em específico, mas caso o utilizador não ativasse um filtro dinâmico os gráficos apresentariam informação duplicada.

Por fim, surgiram as principais sugestões de alteração:

1. Criar uma página inicial com resumo da informação mais relevante para o cliente;
2. Substituir as páginas de máquinas e tipos de malha por uma única página de análise de paragens;
3. Aplicar o recurso de *drill-down* quando possível;
4. Procurar recurso que possibilite a navegação por diferentes dimensões dentro do mesmo gráfico;
5. Remover gráficos e métricas que trazem pouco valor.

Após as alterações o *dashboard* passou novamente por validação interna e externa. O resultado final é detalhado no Capítulo 5.

4.1.5 Implementação

Apesar do Smartex *Analytics* ter sido desenvolvido com foco externo e idealizado para que fosse utilizado por clientes, o objetivo do projeto era o desenvolvimento de um protótipo, não do produto final. Esse facto implica que inicialmente o projeto será implementado em um ambiente experimental de uso interno da Smartex que deve simular todos os aspetos do ambiente dos clientes.

Como os clientes já possuem o Smartex *Dashboard* que possui diversas finalidades, o objetivo a nível de implementação é que caso, o Smartex *Analytics* seja desenvolvido no futuro para larga escala de utilização, ele esteja inserido na página *web* do Smartex *Dashboard*, como uma nova ferramenta.

Portanto a implementação do protótipo ocorreu na versão de desenvolvimento do Smartex *Dashboard*. Esta versão é uma cópia da versão principal onde são realizados testes de novas funcionalidades, alterações, testes para correções de falhas, entre outros.

O *Power BI* provou-se novamente uma mais-valia no momento da implementação. No momento em que o *dashboard* foi finalizado, a sua versão final foi publicada na plataforma do *Power BI Online*. Esta plataforma permite que os *dashboards* sejam incorporados em páginas externas, como é o caso do Smartex *Dashboard*.

Portanto, a partir do *Power BI Online*, foi gerado um *iframe* que permite que o *dashboard* em questão seja utilizado em qualquer endereço *web*. A seguir a equipa de desenvolvedores da Smartex preparou uma nova área no Smartex *Dashboard* de desenvolvimento destinada ao Smartex *Analytics* e por meio do *iframe* gerado foi feita a publicação.

O Smartex *Analytics* atualmente encontra-se disponível para toda a equipa Smartex, com dados atualizados em base diária.

4.2 Customer Success Metrics

Assim como nas aplicações externas, o ponto de partida para as análises internas foi a análise dos processos que já existiam na equipa de *Customer Success*.

Ao contrário do cenário externo, a nível interno ainda não existiam processos completamente definidos para tratamento de dados e *KPI* necessários. Entretanto já havia sido idealizado um rascunho das necessidades da equipa. A principal delas era acompanhar as paragens do sistema de maneira mais rápida e eficiente, em que fosse possível navegar sobre diferentes dimensões de análise.

4.2.1 Contextualização

Desde o início do processo havia a certeza sobre qual seria o principal *KPI* desse *dashboard*: o %TGS, identificado na Equação (3.1). A partir daí foi preciso alinhar quais seriam as formas de visualização desse indicador assim como outras possíveis métricas.

A nível do %TGS foi definido que deveria ser possível visualizar essa métrica das seguintes maneiras:

1. Consolidada como uma média geral de todos os clientes;
2. Individualmente para cada fábrica;
3. Individualmente para cada máquina da fábrica;
4. Dentro de uma lista contendo os clientes com resultados mais baixos neste indicador, para que a equipa pudesse priorizar com clareza as suas intervenções.

Note-se que a possibilidade de navegar entre resultados gerais, resultados por fábrica e por máquinas é especialmente importante, visto que permite a distinção dos problemas generalizados dos problemas específicos.

Por ser o principal indicador do *dashboard*, um dos requisitos relativos ao %TGS era a necessidade de visualizá-lo simultaneamente em dois períodos temporais, para que fosse possível fazer uma comparação direta entre dois períodos.

Quanto a novas métricas identificou-se a necessidade de visualizar o número absoluto de paragens Smartex por cada tipo de defeito.

Também era preciso identificar que critérios de paragem estavam a originar mais paragens. Desta forma seria possível analisar também se o critério adotado pelos clientes era adequado, ou não, e caso a resposta fosse negativa a equipa poderia intervir e sugerir a alteração dos mesmos.

A nível de filtros definiu-se que o *dashboard* deveria ter dois filtros temporais e também a possibilidade de excluir facilmente fábricas e máquinas específicas da análise.

4.2.2 Aquisição de dados

A aquisição de dados para a construção deste *dashboard* é muito semelhante à apresentada na Secção 4.1, porém simplificada visto que algumas informações não são necessárias nesta página.

Os dados necessários são provenientes das tabelas: *Stops*, *Factories*, *Rolls*, *Ckms*, da consulta: *Rotations per Day per Machine* e da tabela auxiliar: *Calendar*. Toda a interação e ligações necessárias entre as tabelas seguem o apresentado na Secção 4.1. O modelo relacional de dados utilizado está disponível no Anexo D.

4.2.3 Análises e Modelação

Inicialmente o objetivo era construir o modelo no ambiente da ferramenta *Metabase*, visto que ela permite a criação de *dashboards* internos e possui uma interação rápida e prática com a base de dados.

A primeira versão desenvolvida era constituída por quatro grupos de elementos: um cabeçalho contendo elementos de controlo e filtros, uma Secção A para visualização geral de todas as fábricas, Secção B para visualização de informações mais detalhadas de uma fábrica em específico e Secção C para visualização de dados ainda mais específicos acerca de apenas uma máquina. Todas as secções eram apresentadas na mesma página que dependia de *scroll down/up* para que o utilizador pudesse navegar entre as secções.

O resultado desta versão encontra-se no Anexo D. Os dados utilizados para as demonstrações foram gerados em contexto experimental. No caso das visualizações que não podiam ser demonstradas a partir de dados experimentais, o nome dos clientes e resultados obtidos foram ocultados por questões de confidencialidade.

No cabeçalho o utilizador podia selecionar e filtrar os seguintes elementos:

1. Filtros de data para indicação dos dois períodos de análise do *dashboard*;
2. Número de clientes que serão exibidos na tabela que evidencia as fábricas com os menores resultados;
3. Fábrica que será analisada na Secção B;
4. Máquina que será analisada na Secção C;
5. Número de máquinas que serão exibidas na tabela que evidencia as máquinas com os menores resultados da fábrica selecionada na Secção B;
6. Filtro para exclusão de algum tipo de defeito das análises;
7. Filtro para exclusão de fábricas das análises;
8. Filtro para exclusão de uma máquina das análises.

A Secção A, responsável pela apresentação do resultado geral de todas as fábricas, é constituída por dois elementos visuais. O primeiro elemento é um gráfico de barras conjuntas onde são apresentadas duas barras para cada fábrica que representam o resultado do *KPI %TGS* para cada um dos períodos indicados no cabeçalho. Este elemento ainda conta com duas linhas de média, que apresentam a média da *%TGS* para cada período.

O segundo elemento é apresentado em forma de tabela com as informações dos clientes com os menores valores de *%TGS* para os períodos selecionados. A tabela possui três colunas: nome da fábrica, *%TGS* no período 1 e *%TGS* no período 2. O número de linhas da tabela é definido no cabeçalho.

A Secção B é destinada a apresentar informações de uma fábrica em específico que deverá ser selecionada no cabeçalho. Esta secção possui quatro elementos visuais. O primeiro deles é um gráfico de barras conjuntas similar ao utilizado na secção anterior, mas dessa vez apresentando o resultado do *%TGS* por período para as máquinas da fábrica selecionada.

Um segundo gráfico de barras conjuntas é utilizado para apresentar o percentual de paragens *standard* que ocorreram devido a critérios de paragem contextuais. Cada barra exibe a percentagem por máquina para cada período e duas linhas de média indicam a média dos períodos para a fábrica selecionada.

Este segundo gráfico foi criado devido à necessidade da equipa avaliar rapidamente se havia algum tipo de padrão em toda a fábrica a nível de critérios de paragem das paragens não *golden*. Dessa forma seria possível rapidamente direcionar os próximos passos e investigações sobre critérios de paragem adotados.

O terceiro elemento visual é constituído por um gráfico de barras simples onde é apresentado o número total de rotações para cada uma das máquinas para o segundo período selecionado.

O último elemento é uma tabela, com mesmo formato e métricas que a exibida na Secção A, mas que apresenta os resultados por máquina ao invés de fábricas.

A Secção C apresenta informação mais detalhada para apenas uma máquina, sendo constituída por dois gráficos de barras conjuntas onde cada uma das barras representa um período temporal. O primeiro deles apresenta a distribuição percentual de paragens *standard* para cada um dos critérios de paragem utilizados na máquina durante aquele período. Já o segundo apresenta a distribuição de paragens por tipo de defeito.

A análise por máquina é particularmente importante pois permite a análise na maior granularidade possível proporcionando a visibilidade da raiz dos factos.

4.2.4 Validação

A primeira versão do *dashboard* foi criada em *Metabase*. Entretanto, quando se chegou à conclusão de que o *Smartex Analytics* seria desenvolvido em *Power BI*, optou-se por implementar também o *Customer Success Metrics* nesse mesmo *software*, logo a primeira grande alteração seria essa mudança. Partindo dessa premissa, iniciou-se a recolha de *feedback*.

Os primeiros pontos de melhoria estavam relacionados com a parte funcional. A divisão em três secções que dependiam de constantes *scroll up/down* provaram-se desconfortáveis, portanto era desejável que toda a informação fosse apresentada sem a necessidade de rolar a página.

Outro ponto a nível funcional está relacionado com a interação do utilizador com os filtros, sendo desejável que fosse possível filtrar fábricas ou máquinas sem a necessidade de escrita.

Quanto a métricas e *KPI* optou-se por adicionar três novas informações: número absoluto de paragens *golden* e *standard* e também o percentual de paragens classificadas como boas pelos operadores.

Por fim, concluiu-se que no momento da reconstrução do *dashboard* em *Power BI* os elementos seriam criados para cumprir os requisitos funcionais, mas também seria empregue algum cuidado a nível de *design* para melhorar o *UI* da página. O resultado das alterações é apresentado no Capítulo 5.

4.2.5 Implementação

Após a etapa de validação todo o modelo foi recriado em *Power BI*. Uma vez que a versão final tenha sido alcançada prosseguiu-se ao mesmo processo utilizado na implementação do *Smartex Analytics*.

O *dashboard* foi publicado na plataforma online do *Power BI* e foi gerado um *iframe* que posteriormente foi utilizado para implementação do mesmo no *Smartex Dashboard*.

No caso do *Customer Success Analytics* como não se pretende que clientes acessem ao conteúdo, pode-se manter a versão definitiva da página publicada via *iframe*, visto que são menores as restrições a nível de engenharia e *design*. Logo, o *dashboard* estará no Smartex *Dashboard* acompanhado da restrição de só estar disponível para utilizadores com credenciais da Smartex.ai.

5 Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados após as modificações apontadas na validação, sendo apresentadas todas as páginas de ambos os *dashboards* e as análises nelas contidas.

Os valores apresentados neste capítulo foram gerados artificialmente e, para os casos em que foi impossibilitada a criação artificial de dados, os valores foram ocultados por motivos de confidencialidade.

5.1 *Smartex Analytics*

A versão final do *Smartex Analytics* é constituída por um *dashboard* com três páginas: Menu inicial, Análise de paragens e Análise de tempos de resposta. Em cada uma das páginas só foram apresentadas as métricas consideradas *KPI* pela equipa nos seus respetivos contextos.

Para além das três páginas que constituem o modelo, também existe uma página auxiliar que só será utilizada em ambiente de testes e será eliminada futuramente. A sua única finalidade é permitir que o utilizador da *Smartex.ai* possa selecionar as datas e o cliente sob qual deseja fazer a análise.

Note-se que para as páginas finais foi empregue atenção especial a nível de *design*, de modo que o presente protótipo simule ao máximo o que poderia ser o produto final.

5.1.1 *Menu Inicial*

A primeira página é o Menu inicial. No modelo inicial esta página não estava prevista, no entanto concluiu-se posteriormente que ela seria desejável. O seu objetivo é apresentar apenas as informações relevantes da fábrica ao utilizador, de modo que caso fosse realizada uma consulta apenas a esta página, seria possível rapidamente ter uma visão geral dos principais componentes.

Era preciso um número reduzido de elementos, tendo-se optado por apresentar métricas sobre: paragens *golden*, tempo de resposta por turno, produtividade da fábrica e total de paragens da fábrica no tempo. A Figura 21 apresenta a página em questão. As métricas criadas em *DAX* podem ser encontradas na Secção C.2 do Anexo C.

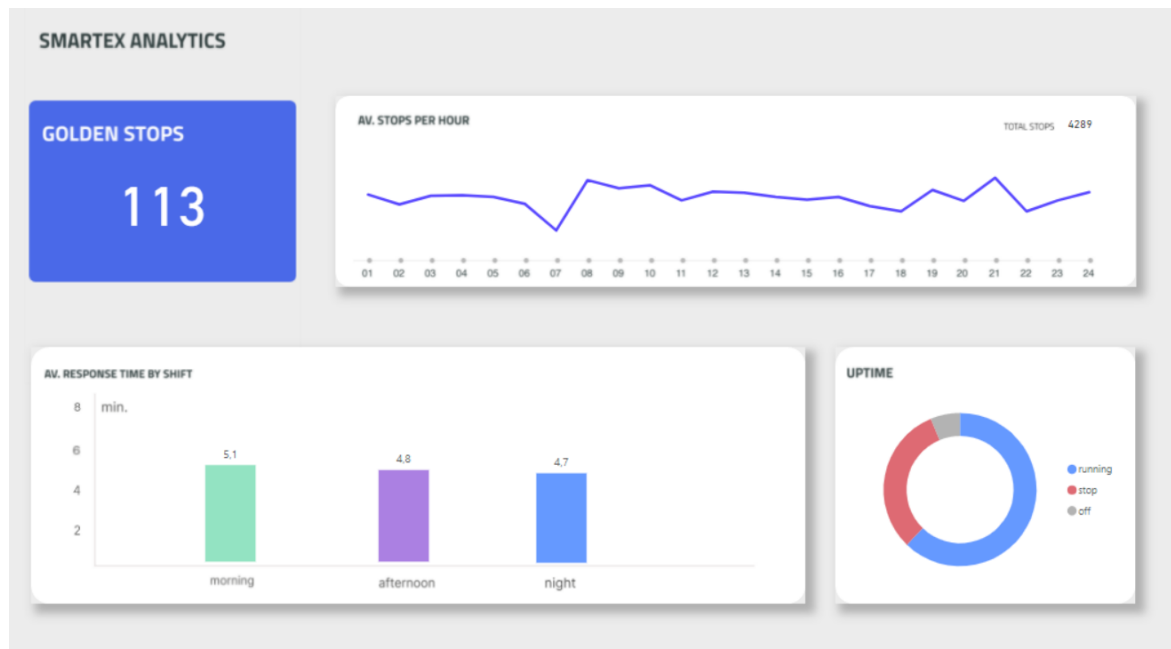


Figura 21: Versão final da página do Menu Inicial

A primeira diferença em relação à primeira versão é a ausência de um filtro de data para cada página, que agora é selecionado apenas uma vez na página auxiliar e passa a valer para todo o modelo.

O utilizador pode consultar o número total de paragens *golden* que ocorreram no período através do cartão *KPI* com esta indicação.

A nível de paragens também é possível consultar o número médio de paragens por hora num gráfico de linhas. Nesta visualização no eixo das abcissas estão representadas as horas do dia e no eixo das ordenadas está a média de paragens. É ainda apresentado o número total de paragens que ocorreram no período selecionado. As paragens neste caso são todas as paragens que ocorreram nas máquinas, independente de terem sido causadas pelo Smartex.

A nível de tempos de resposta foram apresentados os tempos de resposta médios por turno por meio de um gráfico de barras.

Por fim um gráfico *donut chart* apresenta a produtividade da fábrica, com o tempo em que as máquinas da fábrica estiveram: a trabalhar, paradas ou desligadas.

5.1.2 Página análise de paragens

A página de análise de paragens foi criada com o objetivo de apresentar toda a informação relevante relativa a paragens com algum nível de detalhe. A versão final é apresentada na Figura 22. As fórmulas das métricas criadas em *DAX* referentes a esta página estão disponíveis na Secção C.3 do Anexo C.

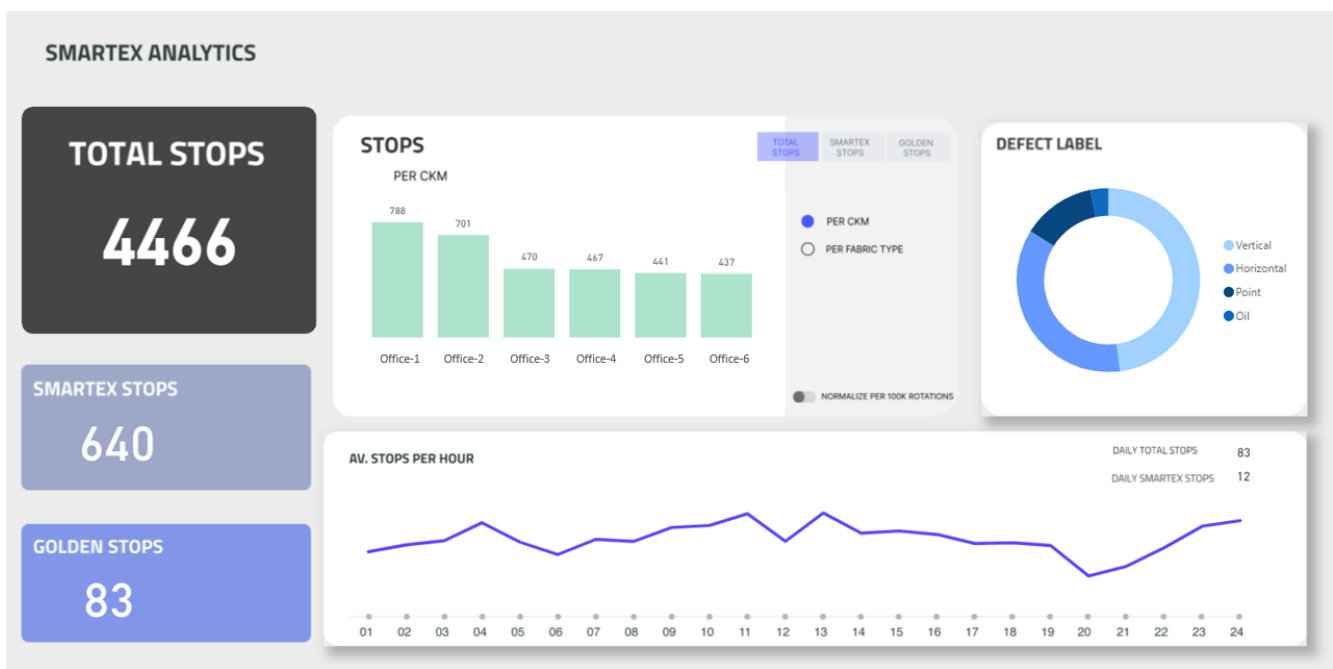


Figura 22: Versão final da página de Análise de Paragens

A página apresenta em forma de cartões os seguintes *KPI*:

1. Total de Paragens: todas as paragens que ocorreram no período selecionado, independente de terem sido realizadas pelo sistema Smartex;
2. Paragens Smartex: todas as paragens realizadas pelo sistema Smartex no período selecionado;
3. Paragens *golden*: apenas as paragens *golden* que ocorreram no período selecionado.

Na parte inferior da página, assim como no Menu Principal a média de paragens por hora é apresentada num gráfico de linhas. Concluiu-se que ainda que ele já tenha sido apresentado anteriormente, devia ser mantido na página das paragens, visto que neste caso o gráfico mudará caso o utilizador carregue num dos cartões de paragens. Por exemplo, caso seja selecionado o cartão de paragens Smartex, ele passará a exibir a média por hora apenas das paragens Smartex, ao invés do total de paragens. Foram também adicionados outros dois *KPI* a este gráfico que apresentam a média diária de paragens e também a média diária de paragens Smartex.

Um dos grandes desafios para a construção desta página foi apresentar em apenas uma página toda a informação relevante que na primeira versão estava disposta em duas páginas diferentes: uma para máquinas e outra para tipos de malha.

Na primeira versão, tanto a página das máquinas quanto a dos tipos de malha possuíam um gráfico que apresentava a distribuição de paragens por tipo de defeito. Como neste caso ambas dimensões seriam exibidas na mesma página, foi necessário apenas um *donut chart*, encontrado na lateral direita, para apresentar esta distribuição. Caso uma máquina ou tipo de malha em específico seja selecionado, o gráfico apresentará novos valores de acordo com a seleção.

Por fim o último elemento é resultado de um esforço para permitir que dentro de um único elemento visual fosse possível alterar a métrica que está a ser visualizada e a dimensão

representada. Esse comportamento foi possível graças à utilização de botões ligados a marcadores no *Power BI*, onde cada marcador representa uma possibilidade de visualização.

Dois botões do tipo rádio permitem que a dimensão de visualização seja alternada entre máquina ou tipo de malha. As métricas disponíveis alteram-se consoante a dimensão selecionada. A Figura 23 apresenta o elemento visual quando a dimensão máquina é selecionada.

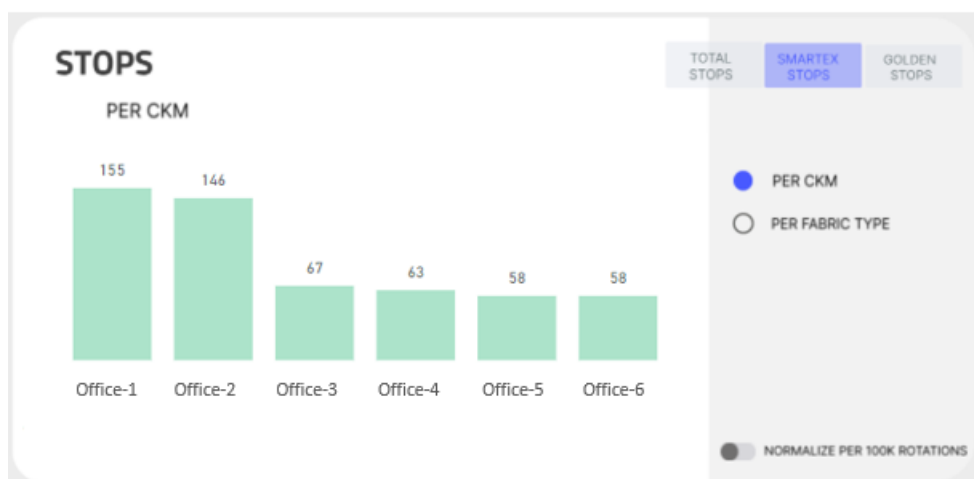


Figura 23: Elemento visual de paragens para seleção máquina

Para o caso da dimensão das máquinas existem três métricas disponíveis: total de paragens, paragens Smartex e paragens *golden*. A métrica é apresentada num gráfico de barras, onde cada barra está associada a uma máquina.

Ainda é possível visualizar as três opções normalizadas por 100 000 rotações da máquina. A opção da normalização surgiu como alternativa aos gráficos de Barra e Linha utilizados na primeira versão dada a necessidade de simplificação da visualização. Essa opção é ativada quando o botão de alternância é acionado, conforme apresentado na Figura 24.

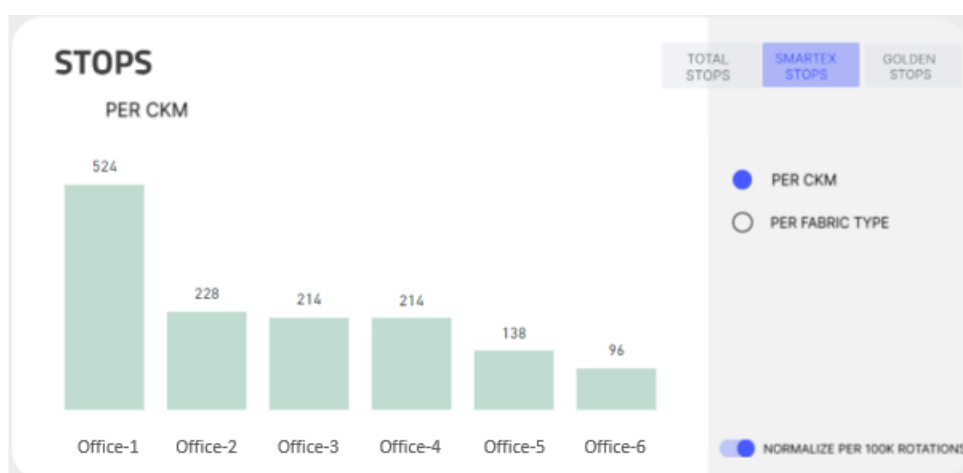


Figura 24: Paragens Smartex normalizadas por 100 000 rotações

A visualização das métricas normalizadas foi considerada especialmente importante segundo *feedback* dos clientes, porque a análise apenas do número absoluto pode levar a conclusões equivocadas. Caso o número absoluto de paragens de uma máquina esteja elevado, antes de chegar a uma conclusão sobre sua *performance* é preciso saber se ela está a parar mais porque está a produzir mais ou se realmente há alguma anomalia no seu funcionamento.

Já quando a dimensão dos tipos de malha é seleccionada, o comportamento é similar ao indicado nas máquinas. A métrica seleccionada é apresentada no mesmo gráfico de barras onde cada barra passa a estar associada a um tipo de malha, conforme apresentado na Figura 25.

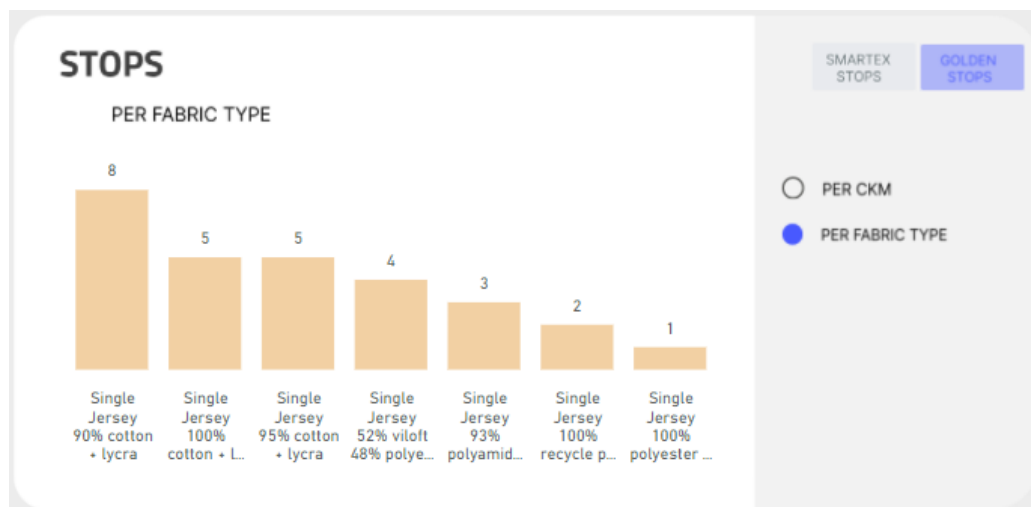


Figura 25: Elemento visual de paragens para seleção tipos de malha

No caso dos tipos de malha o elemento é ligeiramente mais simples, permitindo apenas visualização das métricas de Paragens Smartex ou *golden* e sem a opção de normalizar paragens por 100 000 rotações.

5.1.3 Página análise de tempos de resposta

A última página do Smartex *Analytics* é destinada a análise dos tempos de resposta. Todas as métricas desta página estão relacionadas a alguma unidade de medida temporal. Ao contrário da página de paragens, a página para análise de tempos de resposta não sofreu muitas modificações a nível de indicadores em relação à sua primeira versão. As principais alterações foram relacionadas a adequação de *design* e implementação de um novo *KPI*.

A versão final é exibida na Figura 26. As fórmulas das métricas criadas em *DAX* referentes a esta página podem ser encontradas na Secção C.4 do Anexo C.

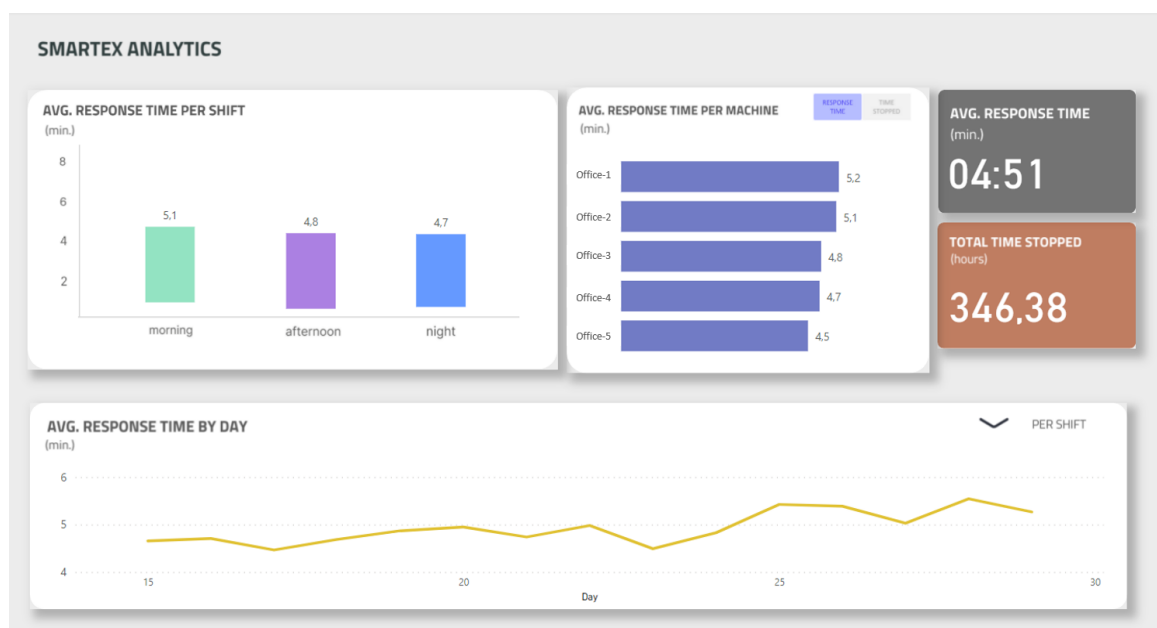


Figura 26: Versão final página análise tempos de resposta

O tempo de resposta médio de cada turno é apresentado em minutos por um gráfico de barras, onde cada barra representa a média de cada turno. Já a média geral da fábrica é apresentada num cartão *KPI* no formato “mm”.”ss”.

Um novo *KPI* foi criado para esta página: o tempo total gasto em paragens, apresentado na Equação (5.1) onde TGP representa o tempo total gasto em paragens e T_p o tempo de resposta à cada paragem p , obtido em $Q.Response Times$.

$$TGP = \sum_{p=1}^P T_p \quad (5.1)$$

Esse indicador significa em termos absolutos o tempo de produção perdido em paragens pela fábrica. Ele é apresentado num cartão *KPI* e utiliza a unidade de medida de horas.

O elemento visual, constituído por um gráfico de barras empilhadas, é responsável por apresentar as métricas para a dimensão das máquinas. Num comportamento similar ao utilizado na página de paragens é possível fazer a seleção da métrica que está a ser apresentada a partir de dois botões.

Estão disponíveis a visualização do tempo de paragens médio por máquina e o tempo total gasto em horas para cada máquina. A Figura 27 apresenta o elemento visual gráfico quando a segunda métrica é seleccionada.

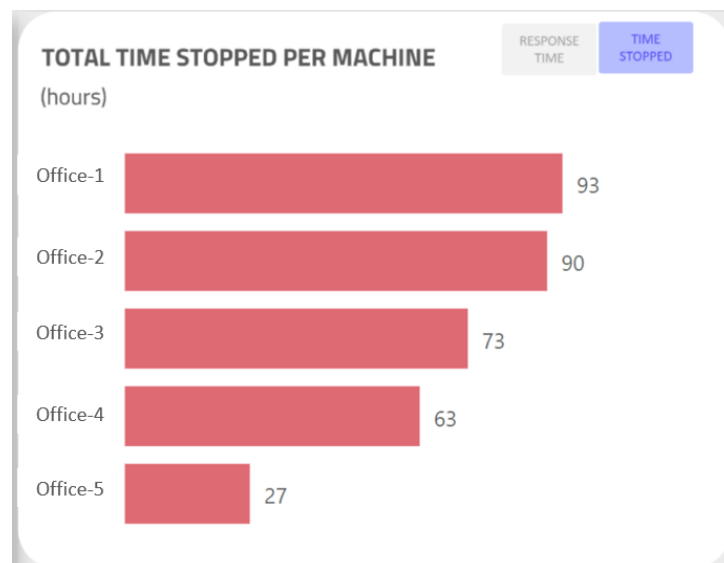


Figura 27: Visualização do tempo total gasto em paragens por máquina

Por fim, na região inferior da página, a distribuição do tempo de paragens médio pela série temporal é apresentada num gráfico de linhas, onde o eixo das abscissas indica os dias do período selecionado pelo utilizador. Neste elemento visual por definição é apresentado o valor do tempo de resposta médio para cada dia, sendo possível efetuar *drill-down* e o elemento passa a apresentar três linhas, onde cada linha representa um turno e os valores representam o tempo de resposta médio diário de cada turno. A visualização por turnos é apresentada na Figura 28.

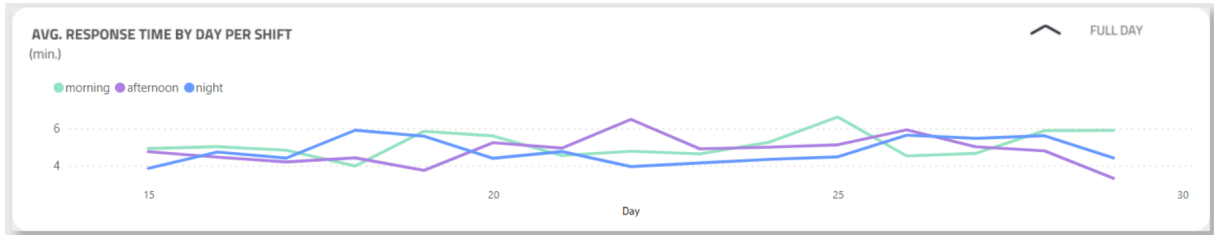


Figura 28: Visualização da distribuição temporal de tempo de respostas por turno

5.2 Customer Success Metrics

A versão final do *Customer Success Metrics* é constituída por um *dashboard* com apenas uma página e sua versão completa pode ser consultada no Anexo F. Os elementos visuais da página podem ser divididos em cinco grupos como mostra a Figura 29.

O Grupo A é responsável pelos elementos de controlo da página, podendo ser seleccionadas fábricas específicas para análise e também os dois períodos que serão analisados na página.

O Grupo B é constituído por oito cartões *KPI* distribuídos de forma a apresentar quatro indicadores, sendo que cada um deles é calculado para ambos os períodos de análise.

Os *KPI* apresentados nos cartões são:

1. %TGS;
2. Percentagem de boas paragens segundo operadores;
3. Paragens *golden*: apenas as paragens consideradas *golden*;
4. Paragens Smartex: todas as paragens realizadas pelo sistema Smartex;



Figura 29: Distribuição elementos em *Customer Success Metrics*

O Grupo C exibe o mesmo gráfico de barras conjuntas para %TGS que era apresentado na primeira versão deste *dashboard*. Entretanto nesta versão as linhas médias foram retiradas, visto que a informação passou a ser apresentada na forma de cartão.

Além disso, agora o gráfico permite a possibilidade de *drill-down*: quando uma fábrica específica é seleccionada o utilizador pode utilizar este recurso para que o gráfico passe a apresentar a métrica para cada uma das máquinas.

O Grupo D é constituído apenas pela tabela que indica as fábricas com valores mais baixos de para a métrica %TGS no período 1.

Já o Grupo E é constituído por três elementos visuais que apresentam métricas referentes apenas ao período 1. São eles:

1. Gráfico funil onde é apresentado o total de rotações de cada uma das máquinas no período selecionado;
2. Gráfico de barras horizontais empilhadas apresentando o total de paragens no período para cada tipo de defeito. As barras são ainda empilhadas de acordo com a verificação do operador para a paragem: boa ou má;
3. Gráfico de barras horizontais apresentando o total de paragens para cada tipo de critério de paragem consoante a fábrica e período selecionados pelo utilizador.

Por fim nota-se que a implementação em *Power BI* permite ainda a utilização de filtros dinâmicos, logo sempre que uma fábrica, máquina, tipo de defeito ou critério de paragem é selecionado nos elementos visuais, todas as métricas passam a assumir a seleção como mais um filtro e apresentam novos valores.

6 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

A criação de valor a partir de um conjunto de dados caracterizado como *Big Data* é especialmente desafiadora devido à vastidão de análises possíveis. Para que esse processo fosse bem executado era preciso perceber todo o contexto em que a empresa está inserida, os processos de gestão de dados que já eram utilizados, as limitações técnicas associadas ao processamento de um conjunto massivo de registos e ter em conta as necessidades do utilizador final, seja ele interno ou externo, para que o resultado realmente pudesse trazer valor.

De modo geral, pode-se afirmar que o projeto cumpriu os objetivos inicialmente propostos. A nível externo o Smartex *Analytics* provou o ponto de que era possível construir uma plataforma com informação relevante para os clientes apenas com os dados que já eram obtidos no processo principal do produto. Um dos pontos fortes dessa ferramenta foi a adaptação a arquitetura corrente da base de dados e a confirmação para a empresa que para o desenvolvimento de um novo produto de dados, ao menos inicialmente, não seriam necessárias mudanças a nível de *hardware* ou na arquitetura do banco de dados.

O Smartex *Analytics* representa uma possibilidade de otimizar o processo de tomada de decisão por meio de informações que nunca haviam sido disponibilizadas às fábricas anteriormente. As métricas dão suporte a conclusões sobre produtividade de turnos, *performance* da fábrica e máquinas em geral.

Essa ferramenta possibilita que gestores de produção e operadores de máquina passem a ter meios de comparar e analisar eventos do dia a dia. O Smartex *Analytics* torna possível que conclusões obtidas empiricamente sejam validadas através de métricas, como por exemplo que alguns tipos de malha são mais críticos que outros, ou que determinadas máquinas param com maior frequência.

Relativamente a projetos futuros associados ao Smartex *Analytics* aponta-se dois fatores para desenvolvimento: a dimensão dos operadores e alertas em tempo real. Acredita-se que os maiores utilizadores da página do Smartex *Analytics* serão os gestores de produção das fábricas e uma dimensão de análise especialmente importante para eles são os operadores. Isso ocorre porque esta é a dimensão de análise em que os gestores de produção possuem o maior poder de influência. É importante que as métricas que são apresentadas por máquina e por turno sejam também apresentadas individualmente por operador. Desta forma obtém-se visibilidade imediata sobre o quadro de funcionários e é possível identificar os operadores que carecem de formação ou maior atenção assim como aqueles que consistentemente estão acima da média.

Para além disso concluiu-se que seria desejável que o sistema pudesse alertar aos clientes acerca de pontos de atenção nos dados apresentados. Essa necessidade coloca-se porque há uma disparidade significativa acerca das características dos gestores de produção. Nesta posição é possível encontrar profissionais totalmente habituados a leitura de dados e identificação de pontos fora da curva nas análises, mas também há uma parcela significativa que não possui essa aptidão ou que trabalham num ambiente em que há poucos processos

digitais, logo como costumam passar pouco tempo no computador, sendo importante que nos poucos momentos de interação digital eles recebam a informação mais acionável possível em formato de alertas.

Já sob a perspectiva interna pode-se dizer que o modelo final do *Customer Success Metrics* foi um sucesso. A página representou um grande avanço no que se refere ao suporte à tomada de decisão para equipa de *Customer Success* e em algumas situações para a equipa de *Business*. O *dashboard* permitiu maior independência na reunião de informações, visto que os dados passaram a estar disponíveis numa única página.

Houve também uma redução significativa no tempo necessário para identificar problemas. As diferentes dimensões apresentadas na página permitem perceber se resultados inesperados são generalizados, específicos de alguma fábrica ou até mesmo pontuais em determinadas máquinas, sendo possível descobrir rapidamente, e em poucas interações, as causas de um comportamento não esperado. Essa mudança no processo foi extremamente significativa, pois anteriormente muitas métricas só poderiam ser calculadas manualmente e dependiam de um processo demorado, onde os clientes eram analisados individualmente pelo *Smartex Dashboard*.

Para além das consultas diárias, a análise detalhada do *Customer Success Metrics* tornou-se um processo formal da empresa, onde uma vez por semana toda a equipa de *Customer Success* e alguns membros da equipa de *Business* reúnem-se para acompanhar os indicadores do *dashboard* de forma a determinar pontos de ação e prioridades para a semana baseado na *performance* dos clientes.

Quanto a perspectiva de trabalho futuro no contexto da análise interna, o primeiro potencial de melhoria está na identificação dos critérios de paragem. Em muitos casos é possível identificar que resultados aquém do esperado do sistema *Smartex* em alguns clientes está associado a critérios de paragem inadequados. Entretanto existem resultados inesperados que só conseguem ser explicados depois de um trabalho minucioso de investigação, onde são analisadas diversas imagens para se chegar a conclusão relativamente a qualidade daqueles critérios de paragem.

Era desejável que na próxima iteração do *Customer Success Metrics* fosse desenvolvido um modelo de análise de dados que indicasse se um critério de paragem é adequado, ou não, ou até mesmo sugerisse critérios adequados para diversas condições de tipo de malha, velocidade média em que a máquina costuma andar, entre outras variáveis. Essa possibilidade traria uma nova camada de complexidade ao modelo, visto que são necessários processos de ciência de dados, e possivelmente novos modelos de *machine learning*, para chegar a estes resultados.

Por fim, acredita-se que, tanto sob o ponto de vista interno quanto externo, o projeto estabeleceu as provas de conceito e bases necessárias para o desenvolvimento de futuros produtos baseados em análise de dados, comprovando que é possível extrair vantagem competitiva a partir dos dados gerados pela empresa.

Referências

- Azad, Poopak, Nima Jafari Navimipour, Amir Masoud Rahmani, and Arash Sharifi. 2020. “The Role of Structured and Unstructured Data Managing Mechanisms in the Internet of Things.” *Cluster Computing* 23(2): 1185–98.
- Bhat, Omkar, Pradyumna Gokhale, and Sagar Bhat. 2007. “Introduction to IOT.” *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology* ISO 3297(1). <https://www.researchgate.net/publication/330114646>.
- Deepti Sehrawat, and Nasib Singh Gill. 2019. “Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors.” In *Proceedings of the Third International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI 2019)*,.
- DevExpress. 2021. “Drill-Down on the Web | Business Intelligence Dashboard | DevExpress Documentation.” <https://docs.devexpress.com/Dashboard/117061/web-dashboard/create-dashboards-on-the-web/interactivity/drill-down> (Último acesso: 4 de janeiro, 2022).
- Direct Industry. “Que Sensor de Posição Escolher? - Buying Guides DirectIndustry.” <https://guide.directindustry.com/pt/que-sensor-de-posicao-escolher/> (Último acesso: 4 de janeiro, 2022).
- Fosso Wamba, Samuel et al. 2015. “How ‘big Data’ Can Make Big Impact: Findings from a Systematic Review and a Longitudinal Case Study.” *International Journal of Production Economics* 165: 234–46.
- Frada Burstein, and Clyde W. Holsapple. 2000. *Handbook on Decision Support Systems 2*. Springer.
- Grand View Research. 2021. “Textile Market Size | Industry Analysis Report, 2021-2028.” <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/textile-market> (Último acesso: 4 de janeiro, 2022).
- Haddara, Moutaz, and Ahmed Elragal. 2015. “The Readiness of ERP Systems for the Factory of the Future.” In *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 721–28.
- Ikeda, Robert et al. 2012. “Provenance-Based Debugging and Drill-down in Data-Oriented Workflows.” In *Proceedings - International Conference on Data Engineering*, , 1249–52.
- Kalsoom, Tahera, Naeem Ramzan, Shehzad Ahmed, and Masood Ur-Rehman. 2020a. “Advances in Sensor Technologies in the Era of Smart Factory and Industry 4.0.” *Sensors (Switzerland)* 20(23): 1–22.
- . 2020b. “Advances in Sensor Technologies in the Era of Smart Factory and Industry 4.0.” *Sensors (Switzerland)* 20(23): 1–22.
- Kent Bauer. 2004. “The Power of Metrics: KPIs – The Metrics That Drive Performance Management, DM Review.”

- Kirianaki N. 2002. *Data Acquisition and Signal Processing for Smart Sensors*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kumar, Ravi et al. 2020. 12 Article in International Journal of Communication Networks and Information Security *Exploring Data Security and Privacy Issues in Internet of Things Based on Five-Layer Architecture Data Security and Cloud Computing View Project Network Performance Evaluation View Project Exploring Data Security and Privacy Issues in Internet of Things Based on Five-Layer Architecture*. <https://www.researchgate.net/publication/341201776>.
- Kumar, Sachin, Prayag Tiwari, and Mikhail Zymbler. 2019. “Internet of Things Is a Revolutionary Approach for Future Technology Enhancement: A Review.” *Journal of Big Data* 6(1).
- Larson, Deanne, and Victor Chang. 2016. “A Review and Future Direction of Agile, Business Intelligence, Analytics and Data Science.” *International Journal of Information Management* 36(5): 700–710.
- Liu, Tao, and Dongxin Lu. 2012. “The Application and Development of IOT.” In *Proceedings of 2012 International Symposium on Information Technologies in Medicine and Education, ITME 2012*, , 991–94.
- Lytras, Miltiadis, Anna Visvizi, Xi Zhang, and Naif Radi Aljohani. 2020. “Cognitive Computing, Big Data Analytics and Data Driven Industrial Marketing.” *Industrial Marketing Management* 90: 663–66.
- Mathas Carolyn. 2014. “Infrared Sensors Evolve from Military to IoT Applications | DigiKey.” <https://www.digikey.in/en/articles/infrared-sensors-evolve-from-military-to-iot-applications> (Último acesso: 4 de janeiro, 2022).
- Microsoft Docs. 2021. “Understand Star Schema and the Importance for Power BI - Power BI | Microsoft Docs.” <https://docs.microsoft.com/en-us/power-bi/guidance/star-schema> (Último acesso: 4 de janeiro, 2022)
- Peter Corcoran. 2016. “The Internet of Things: Why Now, and What’s Next?” *IEEE Consumer Electronics Magazine*: 63–68.
- Raducan, Ilariu, Thomas Coughlin, and Peter Corcoran. 2012. “What If Digital Cameras Didn’t Need (Local) Storage?: Directing Photos to the Cloud.” *IEEE Consumer Electronics Magazine* 1(1): 65–75.
- Sethi, Pallavi, and Smruti R. Sarangi. 2017. “Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications.” *Journal of Electrical and Computer Engineering* 2017.
- Song, Y, W Rowen, C Medsker, and E Ewen. 2001. “I-An Analysis of Many-to-Many Relationships Between Fact and Dimension Tables in Dimensional Modeling.” In *Proceedings of the International Workshop on Design and Management of Data Warehouses (DMDW’2001)*, Interlaken. <http://sunsite.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-39/>.
- Stephen Few. 2006. *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data*.
- Svegea. 2015. “MANUAL Fabric Inspection Machine.” www.svegea.se (Último acesso: 8 de fevereiro, 2022).
- Toepfer Rick. 2021. “Actionable Data Is Business Intelligence.” <https://www.phocassoftware.com/business-intelligence-blog/actionable-data-is-business-intelligence> (Último acesso: 4 de janeiro, 2022).
- Transfer Multisort Elektronik. 2020. “Como Funciona e o Que Faz Um Acelerómetro? | Distribuidor de Componentes Eletrónicos.” <https://www.tme.eu/pt/news/library->

articles/page/22568/Como-funciona-e-o-que-faz-um-acelerometro/ (Último acesso: 4 de janeiro, 2022).

- Wang, Lidong. 2017. "Heterogeneous Data and Big Data Analytics." *Automatic Control and Information Sciences* 3(1): 8–15.
- Warren, Jacques. 2011. *KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPI) – DEFINITION AND ACTION KPIs into Your Company's Strategy*.
- Wayne W. Eckerson. 2010. *1 Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business*. 2nd ed. John Wiley & Sons.
- Wu, Miao et al. 2010. "Research on the Architecture of Internet of Things." In *ICACTE 2010 - 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, Proceedings*,.
- Yigitbasioglu, Ogan M., and Oana Velcu. 2012. "A Review of Dashboards in Performance Management: Implications for Design and Research." *International Journal of Accounting Information Systems* 13(1): 41–59.
- Zhang, Xianyu, Xinguo Ming, and Dao Yin. 2020. "Application of Industrial Big Data for Smart Manufacturing in Product Service System Based on System Engineering Using Fuzzy DEMATEL." *Journal of Cleaner Production* 265.

ANEXO A: Consultas SQL

```

1  WITH inner_query AS (
2      SELECT ckms_status.ckm_id,
3          lag(ckms_status.value) OVER (PARTITION BY ckms_status.ckm_id ORDER BY ckms_status."timestamp") AS lag_value,
4          ckms_status.value,
5          lead(ckms_status.value) OVER (PARTITION BY ckms_status.ckm_id ORDER BY ckms_status."timestamp") AS lead_value,
6          ckms_status."timestamp",
7          lead(ckms_status."timestamp") OVER (PARTITION BY ckms_status.ckm_id ORDER BY ckms_status."timestamp") AS lead_timestamp
8      FROM ckms_status
9  ), middle_query AS (
10     SELECT inner_query.ckm_id,
11         inner_query."timestamp",
12         inner_query.lead_timestamp - inner_query."timestamp" AS value,
13         ckms.name,
14         ckms.factory_id as "fabrica_id"
15     FROM inner_query
16     INNER JOIN ckms ON ckms.id = inner_query.ckm_id
17     WHERE inner_query.lag_value = 'running'::ckms_status_value_enum
18         AND inner_query.value = 'stop'::ckms_status_value_enum
19         AND inner_query.lead_value = 'running'::ckms_status_value_enum
20 )
21 SELECT middle_query.ckm_id,
22     middle_query."timestamp",
23     middle_query.name,
24     date_part('epoch'::text, middle_query.value) / 60::double precision AS value,
25     factories.timezone
26
27 FROM middle_query
28 left join factories on middle_query."fabrica_id" = factories."id"
29 WHERE (middle_query.value >= '00:01:00'::interval AND middle_query.value <= '00:40:00'::interval)
30 AND (middle_query.timestamp >= timestamp with time zone '2021-03-01 00:00:00.000+01:00')
31

```

Figura A. 1: Código "*Q. Response Times*"

```

1
2  SELECT ckms_status.ckm_id AS "CKM Id",
3      ckms_status.value AS "Status",
4      ckms_status."timestamp",
5
6      (date_part('epoch'::text, ((lead(ckms_status."timestamp")
7      OVER (PARTITION BY ckms_status."ckm_id" ORDER BY ckms_status."timestamp")) - ckms_status."timestamp")) / 60::double precision) AS "minutes"
8
9  FROM ckms_status
10 WHERE
11     (ckms_status."timestamp" >= timestamp with time zone '2021-11-15 00:00:00.000Z')
12
13

```

Figura A. 2: Código "*Q. CKM Uptime*"

```

1  WITH inner_query AS (
2      SELECT
3          ckms.id,
4          rpms."value",
5          rpms."timestamp",
6          ckms."name"
7      FROM rpms
8      LEFT JOIN ckms ON rpms."ckm_id" = ckms."id"
9      WHERE rpms."value" >= 0
10 ), middle_query AS (
11     SELECT
12         inner_query.id,
13         inner_query."value",
14         inner_query."name",
15         inner_query."timestamp",
16         lead(inner_query."timestamp") OVER (PARTITION BY inner_query.id ORDER BY inner_query."timestamp") AS lead_timestamp
17     FROM inner_query
18 ), middle_query_2 AS (
19     SELECT
20         middle_query.id,
21         middle_query."value",
22         middle_query."name",
23         middle_query."timestamp",
24         middle_query."lead_timestamp",
25         middle_query."lead_timestamp" - middle_query."timestamp" AS duration
26     FROM middle_query
27 ), middle_query_3 AS (
28     SELECT
29         middle_query_2."name",
30         middle_query_2."timestamp",
31         (date_part('epoch'::text, middle_query_2."duration") / 60::double precision * middle_query_2."value") AS total_rotations
32     FROM middle_query_2
33 ) SELECT
34     CAST(middle_query_3."timestamp" AS date),
35     middle_query_3."name" AS "ckm_name",
36     sum(middle_query_3."total_rotations") AS "total_rotations"
37 FROM middle_query_3
38 WHERE (
39     (middle_query_3."timestamp" >= timestamp with time zone '2021-08-24 00:00:00.000+01:00'
40     AND middle_query_3."timestamp" < timestamp with time zone '2021-11-24 00:00:00.000+01:00')
41 )
42 GROUP BY CAST(middle_query_3."timestamp" AS date), middle_query_3."name"
43 ORDER BY middle_query_3."name", CAST(middle_query_3."timestamp" AS date) ASC
44
45

```

Figura A. 3: Código "*Q. Rotations per Machine*"

ANEXO B: Fórmulas *Power Query*

B.1: Novas colunas em *Q. Response Time*

- **Shift:**

Shift = Table.AddColumn("#Tipo Alterado1", "Shift", each if

```
DateTime.Time([timestamp_adjusted]) >= #time(6,0,0) and
DateTime.Time([timestamp_adjusted]) < #time(14,0,0) then "Shift 1"
else if DateTime.Time([timestamp_adjusted]) >= #time(14,0,0) and
DateTime.Time([timestamp_adjusted]) < #time(22,0,0) then "Shift 2"
else "Shift 3")
```

- **Response Interval:**

Response Interval= Table.AddColumn("#Personalizado Adicionado2",

```
"Response Interval", each if [value] < 1 then "<1"
else if [value] >= 1 and [value] < 5 then "1 - 5"
else if [value] >= 5 and [value] < 10 then "5 - 10"
else if [value] >= 10 and [value] < 40 then "10 - 40"
else ">40")
```

ANEXO C: Fórmulas *DAX*

C.1. Página tempos de resposta

- **Tempo médio de resposta:**

Avg. Response time = AVERAGE ('Q.Response_time'[value]);

- **Tempo de resposta turno 1:**

R.T Shift 1 = CALCULATE(AVERAGE(('Q.Response_time '[value])), Q.Response_time '[Shift]="Shift 1");

- **Tempo de resposta turno 2:**

R.T Shift 2 = CALCULATE(AVERAGE(('Q.Response_time '[value]), Q.Response_time '[Shift]="Shift 2");

- **Tempo de resposta turno 3:**

R.T Shift 3 = CALCULATE(AVERAGE(('Q.Response_time '[value]), Q.Response_time '[Shift]="Shift 3");

- **Tempo de resposta (formato em min.):**

Avg. Response Time (format min.) = format(Time(0,0,AVERAGE('Q.Response_time '[value])*60),"nn:ss");

- **Tempo total de paragens:**

Total time stopped = Divide(SUM(' Q.Response_time' [value]),60)

C.2 Página Menu inicial

- **Número de Paragens *Golden*:**

Total Golden Stops=Calculate(COUNTROWS(Stops),((Stops[GoldenStop]=1)
&&((Stops[Human Verification]="ok"))|(Stops[Smartex Verification]="ok"))

$\&\&(\text{Stops}[\text{State}] = \text{"ok"}))$

- **Número total de Paragens:**

Total Stops = COUNTROWS('Q.Response_time')

C.3 Página Análise das Paragens

- **Número total de Paragens Smartex:**

Total SMX Stops = CALCULATE(COUNTROWS(Stops), Stops[State] = "ok")

- **Média diária de Paragens:**

Avg. Daily Total Stops = DIVIDE('Stops Analysis'[Total Stops], 'Stops Analysis'[Days selected])

- **Média diária de Paragens Smartex:**

Avg. Daily Smartex Stops = DIVIDE('Stops Analysis'[Total SMX Stops], 'Stops Analysis'[Days selected])

- **Total de dias selecionados:**

Days selected = (CALCULATE(COUNTROWS('Calendar'),
DATESBETWEEN('Calendar'[Date],
FIRSTDATE('Calendar'[Date]), LASTDATE('Calendar'[Date]))))

- **Paragens normalizadas por 100 000 rotações:**

N.Total Stops/100k Rotations = DIVIDE('Stops Analysis'[Total Stops], 'Stops Analysis'[Total Rotations])*100000

- **Paragens Smartex normalizadas por 100 000 rotações:**

N.Smartex Stops/100k Rotations = DIVIDE('Stops Analysis'[Total SMX Stops], 'Stops Analysis'[Total Rotations])*100000

- **Paragens *golden* normalizadas por 100 000 rotações:**

N.Golden Stops/100k Rotations = DIVIDE('Stops Analysis'[Total Golden Stops], 'Stops Analysis'[Total Rotations])*100000

C.4 Novas métricas Página Análise Tempos de Resposta

- **Tempo total em paragem:**

Total time stopped = $\text{DIVIDE}(\text{SUM}('Q.\text{Response_time}'[\text{value}]), 60)$

ANEXO D: Modelo Relacional de dados

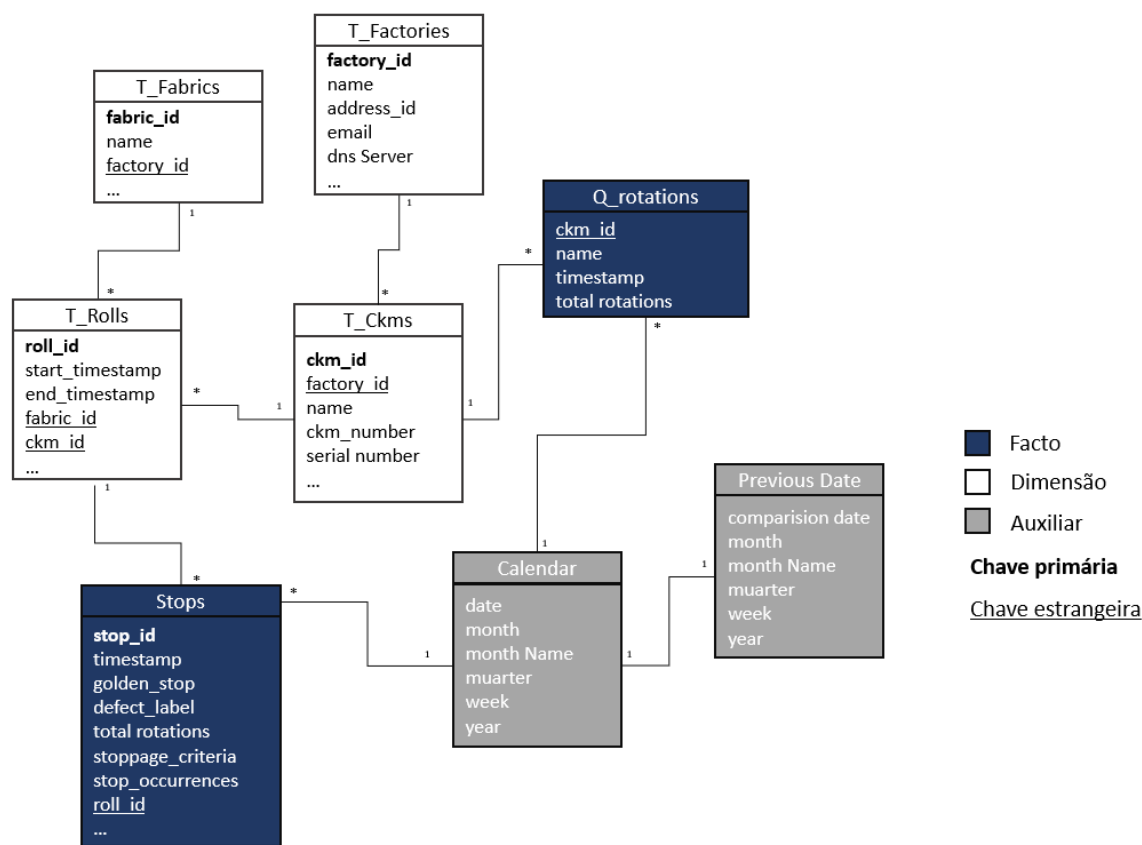


Figura D. 1: Modelo relacional de dados utilizado em *Customer Success Metrics*

ANEXO E: Primeira versão *Customer Success Metrics*

Period 1: required for all sections
Previous 2 Weeks x

Period 2: required for all sections
Previous Week x

No. worst factories shown: required for section A)
3 x

Chosen factory: required for section B)
Office x

Chosen machine: required for section C)
Office-4 x

No. worst machines shown: required for section C)
3 x

Included Defect Types: optional
5 selections x

Excluded Factories: optional

Excluded machines: optional

Figura E. 1: Cabeçalho

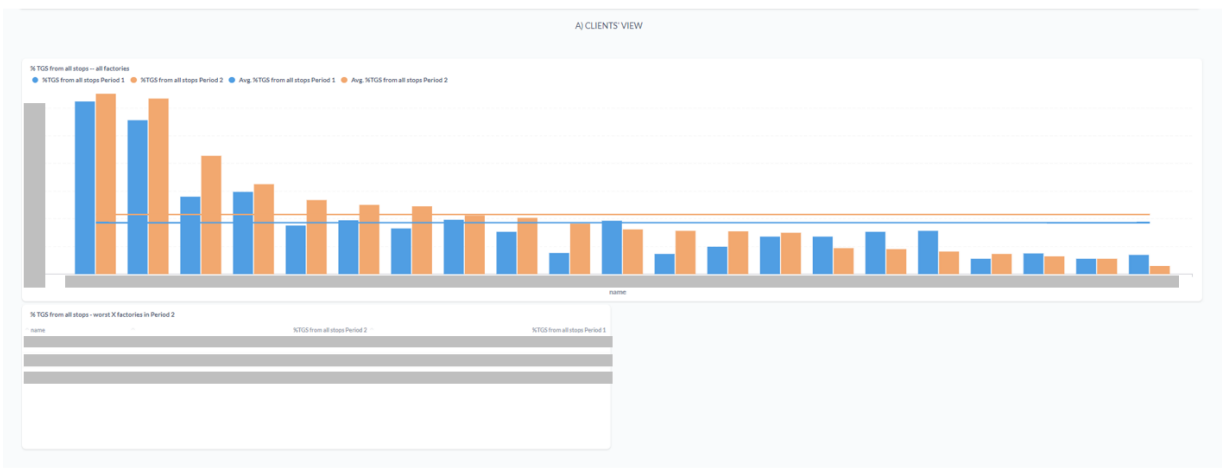


Figura E. 2: Vista Secção A – todas as fábricas

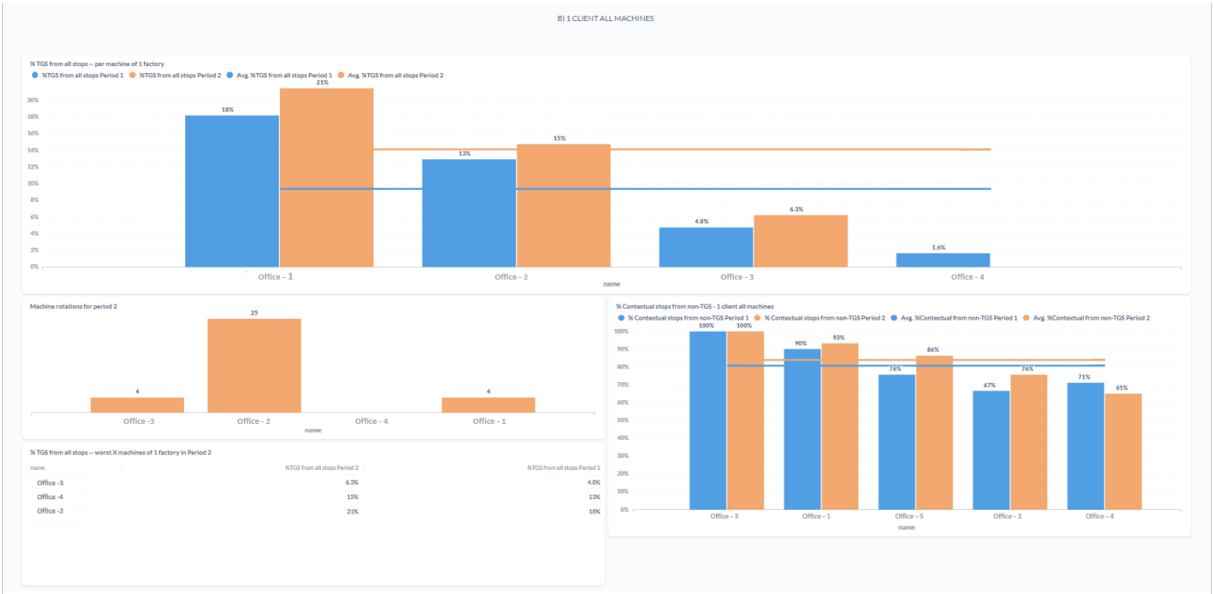


Figura E. 3: Vista Secção B – apenas uma fábrica seleccionada

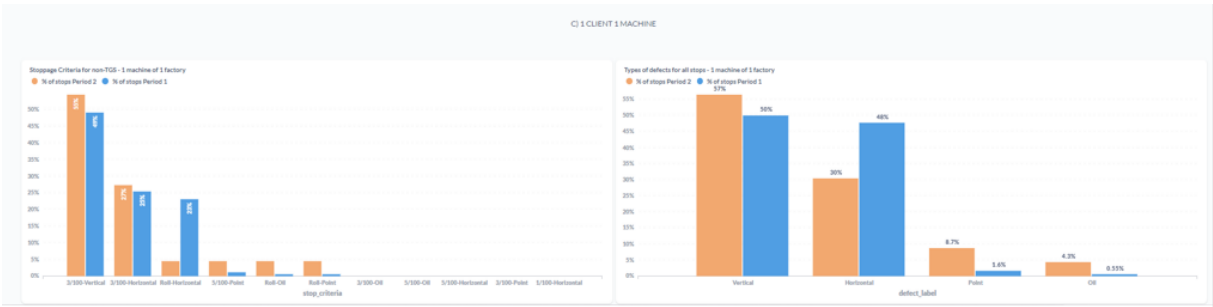


Figura E. 4: Vista Secção C - apenas uma máquina seleccionada

ANEXO F: Versão final Customer Success Metrics

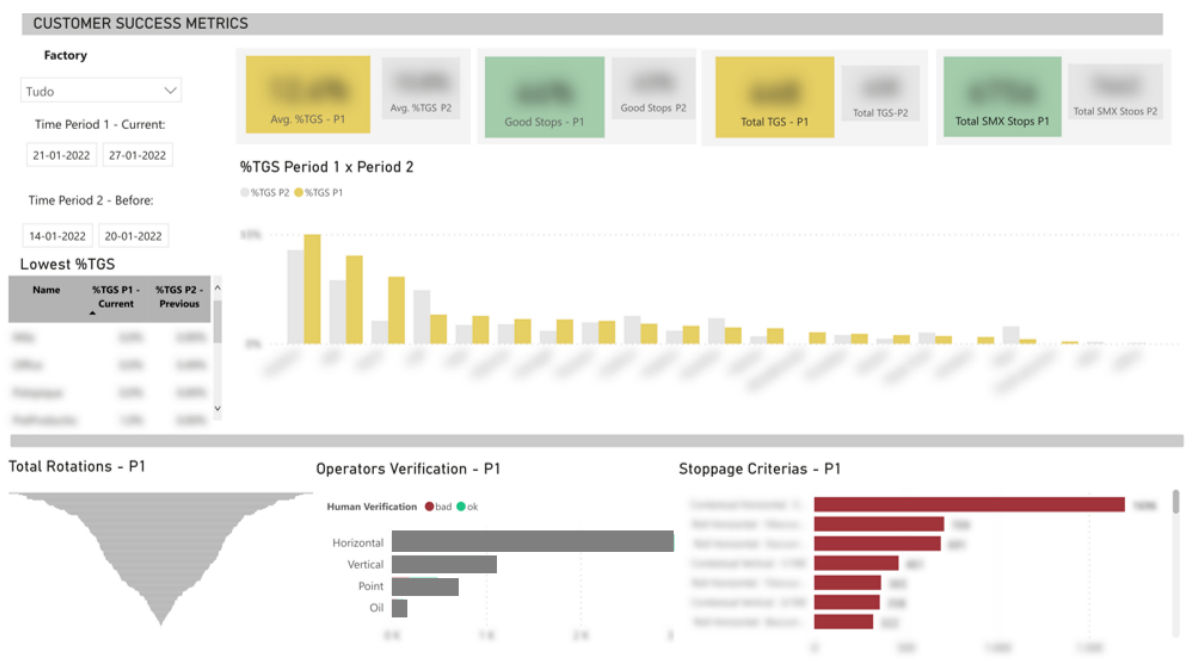


Figura F. 1: Vista inicial *dashboard*

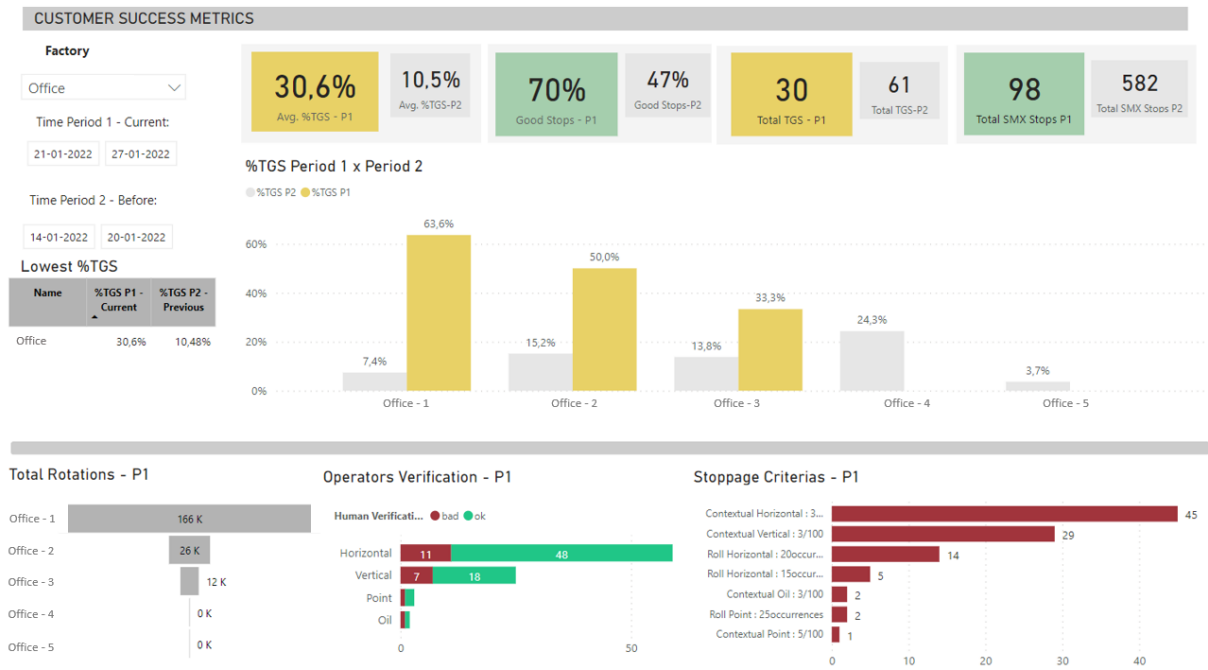


Figura F. 2: Vista para seleção de uma fábrica