

Abordagem de *Process Mining* no âmbito da rastreabilidade do produto nos processos de produção e expedição

Inês Valente Dias Fortunato

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Américo Azevedo

Orientador na PwC: Pedro Pinto Barros



Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

2023-07-11

Resumo

A capacidade de rastreabilidade do produto, ao longo da cadeia de abastecimento, contribui para a eficiência dos negócios e para que estes alcancem vantagem competitiva no mercado dinâmico que marca a atualidade. Além disso, a aplicação de métodos de Gestão de Processos de Negócios e, mais especificamente, da disciplina inovadora de *Process Mining* tem demonstrado cada vez mais potencial para responder a problemas que surgem num contexto atual de digitalização dos negócios.

Deste modo, com base num caso de estudo prático de uma empresa da indústria papelreira, a presente dissertação tem como objetivo aplicar uma abordagem de *Process Mining* para analisar a rastreabilidade direta e inversa do produto de papel, nos processos de produção e expedição, bem como desenhar os processos futuros melhorados que, quando implementados, garantam a rastreabilidade exata e ágil. Adicionalmente, o objetivo é também explorar os contributos e limitações de *Process Mining* na análise de processos e no âmbito da rastreabilidade, nomeadamente em comparação com os métodos tradicionais de Gestão de Processos de Negócios.

A empresa em estudo enfrentava desafios que dificultavam a realização do exercício de rastreabilidade ágil e exato, como a complexidade dos seus processos e o facto de estes ainda não se encontrarem totalmente digitalizados. Assim, para endereçar estas problemáticas, o projeto foi estruturado em quatro fases principais.

Na primeira fase, correspondente ao planeamento, alinou-se o âmbito e objetivos do projeto com a visão estratégica da empresa. A fase dois consistiu na avaliação por métodos tradicionais de Gestão de Processos de Negócio e incluiu o levantamento aprofundado da situação atual da empresa, a sistematização dos entendimentos obtidos e a identificação dos constrangimentos com impacto na rastreabilidade. Na fase três, realizou-se a avaliação por *Process Mining*, na ferramenta *Celonis*, com base em etapas iterativas de mineração, análise e avaliação, e com o objetivo de obter uma análise robusta que respondesse à problemática em questão. Na última fase, desenhou-se o modelo dos processos futuros com base nas recomendações de melhoria identificadas.

A avaliação da situação atual empresa, através da conjugação dos métodos tradicionais de Gestão de Processos de Negócio e da abordagem de *Process Mining*, permitiu alavancar os pontos fortes de cada uma e construir um modelo futuro dos processos que, quando implementado, garantisse a rastreabilidade ágil e exata.

Com este trabalho, foi possível perceber como efetuar uma análise de *Process Mining*, no contexto de rastreabilidade, e perceber quais os seus contributos, tais como a descoberta eficaz e intuitiva dos processos e a avaliação quantitativa. Foi ainda possível perceber as limitações de uma abordagem de *Process Mining*, nomeadamente a dependência do grau de maturidade digital dos processos e a dependência de um conhecimento abrangente das suas características intrínsecas, do seu funcionamento operacional e, consequentemente, do conhecimento obtido através dos métodos tradicionais de Gestão de Processos de Negócio.

Abstract

A Process Mining approach for product traceability in the production and expedition processes

The ability to trace a product throughout the supply chain is essential for enhancing business efficiency and achieving a competitive advantage in today's dynamic market. Furthermore, the use of Business Process Management methods and, particularly, innovative Process Mining techniques has demonstrated significant potential for addressing challenges that arise in the current context of business digitalization.

Hence, the objective of this dissertation is to apply a Process Mining approach to analyze the forward and backward traceability of paper products in the production and expedition processes, based on a practical case study of a company in the pulp and paper industry, and to develop future improved processes that ensure accurate traceability when implemented. Additionally, the study aims to explore the contributions and limitations of Process Mining in process analysis and within the scope of traceability, particularly when compared to traditional Business Process Management methods.

The company being studied faced different problems that hindered the efficient and accurate performance of the traceability exercise, including the process's complexity and the ongoing digital development. To address these challenges, the project was structured into four main phases.

During the planning phase, the project scope and objectives were defined and aligned with the company's strategic vision. The second phase involved the assessment of the company's current situation using traditional Business Process Management methods. This phase encompassed an in-depth examination of the company's operations, the systematization of the obtained insights, and the identification of constraints impacting traceability. In the third phase, Process Mining analysis was employed using the Celonis tool through iterative steps of mining, analysis, and evaluation in order to obtain a robust analysis to address the problem. Lastly, the fourth phase entailed designing future processes based on identified improvement recommendations.

By combining traditional Business Process Management methods with the Process Mining approach for the assessment of the company's current situation related to the traceability scope, it was possible to combine the strengths from each approach and to develop a future operative model of the processes that would ensure agile and accurate traceability upon implementation.

With this work, it was possible to understand how to conduct a Process Mining analysis in the traceability scope and to highlight the contributions of Process Mining, including effective and intuitive process discovery and quantitative evaluation. On the other hand, it was possible to understand the limitations associated with Process Mining, such as the dependency on the digital maturity level of processes, the dependency on domain knowledge, and consequently, on traditional Business Process Management methods.

Agradecimentos

O meu percurso pessoal e académico foram marcados e moldados por um conjunto de pessoas que me ensinaram, apoiaram e motivaram. Gostaria de expressar os meus agradecimentos individuais àqueles que foram especialmente importantes ao longo dos últimos cinco anos e para o desenvolvimento da presente dissertação.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador na PwC, Pedro Pinto Barros, pela disponibilidade em guiar o meu trabalho e pelo conhecimento que partilhou comigo, em vários aspetos técnicos e de desenvolvimento pessoal no dia-a-dia e, em específico, sobre os temas do projeto e a área de *Process Mining*. Além disso, quero também agradecer a toda a equipa de *Consulting* da PwC por me ter acolhido e integrado tão bem, ao longo dos últimos meses, e pelos desafios a que me propuseram e ensinamentos transmitidos. Em especial, ao Pedro Rodrigues, pelo apoio ao longo do projeto e pelo conhecimento que enriqueceu o meu trabalho. Ao Hugo e ao Eduardo, pela ajuda na integração e pelos valiosos conselhos. À Francisca e à Margarida, pela sua compreensão e disponibilidade que, nesta fase final, foram um apoio e motivação fundamentais. Por fim, um grande agradecimento à Juliana que, além de colega de equipa e de projeto, foi uma mentora e amiga neste percurso. Obrigada pela partilha de conhecimentos e conselhos essenciais para o meu trabalho, pela preocupação e cuidado demonstrados, pelo positivismo e encorajamentos constantes, e pela disponibilidade incessante para ajudar.

Ao Professor Américo Azevedo, por toda a disponibilidade ao longo destes meses, por me ter guiado e dado *feedback* nos momentos certos e por ter incentivado e valorizado o meu trabalho.

À minha família, que, como em todas as fases da minha vida, também nesta mostrou o seu apoio e carinho incondicionais. Em especial, à minha mãe Marta, por, mais uma vez nesta fase, ter sido o meu maior suporte e porto seguro, pelos sacrifícios que fez para que eu pudesse estar onde estou hoje, e pela bondade e generosidade que a tornam a pessoa mais especial para mim.

A todos os meus amigos, que preencheram os meus anos com memórias, momentos e risos. Às minhas amigas do Porto, que cresceram comigo e que apoiaram os meus desafios e conquistas, ao longo dos anos. Obrigada por me mostrarem que, passe o tempo que passar, serão sempre uma constante e estarão sempre à distância de uma mensagem, de um almoço ou de um plano improvisado à última hora. À Filipa, à Inês, ao Tiago, à Margarida, à Sofia, ao José, à Inês, ao Luís, ao Tiago, à Carina, à Lídia, à Maria João, ao Luís, à Inês e à Andreia, por, em cinco anos, me terem mostrado o que é ser genuinamente feliz. Por terem sido os meus companheiros irreverentes de todos os dias, por me terem ajudado a superar os maiores desafios e por os terem superado ao meu lado. Por terem partilhado comigo os momentos mais intensos e caóticos, as lágrimas e os risos mais sentidos e as memórias mais felizes e vividas. A sorte que foi fazer parte disto.

Ao fim destes cinco anos, a lição mais importante que levo comigo é que uma viagem é feita pelas pessoas com quem ela é partilhada, e que bonita que foi esta viagem que tive a sorte imensa de partilhar com vocês.

Muito obrigada a todos!
Inês Fortunato

"A journey well shared is a journey well enjoyed"

unknown

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e motivação	1
1.2	Problema e objetivos	3
1.3	Metodologia	4
1.4	Estrutura da dissertação	6
2	Revisão de literatura	7
2.1	Rastreabilidade	7
2.1.1	Rastreabilidade e gestão da cadeia de abastecimento	7
2.1.2	Componentes dos sistemas de rastreabilidade e tecnologias	9
2.2	Gestão de Processos de Negócio	11
2.2.1	A emergência da Gestão de Processos de Negócio	11
2.2.2	Definição e metodologias	11
2.2.3	Áreas e objetivos de aplicação	13
2.2.4	Aplicabilidade para a rastreabilidade	14
2.2.5	Limitações e tendências emergentes	15
2.3	<i>Process Mining</i>	16
2.3.1	A disciplina de <i>Process Mining</i>	16
2.3.2	Técnicas e perspectivas	18
2.3.3	Ferramentas	19
2.3.4	Metodologias	21
2.3.5	Áreas e objetivos de aplicação	22
2.3.6	Aplicabilidade para a rastreabilidade	23
2.3.7	Limitações e desafios	24
3	Caracterização do Caso de Estudo	25
3.1	Definição do problema	25
3.2	Abordagem metodológica proposta	27
3.2.1	Metodologia <i>Transform</i> ®	27
3.2.2	Metodologia <i>PM</i> ²	28
3.2.3	Fases do projeto	30
4	Avaliação por métodos tradicionais de BPM	33
4.1	Planeamento	33
4.2	Levantamento da informação	35
4.3	Processos <i>as-is</i>	35
4.4	Identificação dos constrangimentos	39

5	Avaliação por <i>Process Mining</i>	43
5.1	Planeamento	43
5.2	Preparação dos dados	44
5.2.1	Definição do âmbito dos dados	44
5.2.2	Execução dos <i>datasets</i>	46
5.2.3	Processamento dos dados	47
5.2.4	Integração dos dados	48
5.3	Mineração, análise e avaliação	49
5.3.1	<i>Event log</i> jumbo	49
5.3.2	<i>Event log</i> bobine	50
5.3.3	<i>Event log</i> palete	54
5.3.4	Rastreabilidade nos processos	56
5.4	Discussão	58
6	Melhorias e desenho dos processos futuros	62
6.1	Catálogo de processos <i>to-be</i>	62
6.2	Mapeamento dos processos e melhorias	63
7	Conclusão	67
7.1	Principais conclusões	67
7.2	Perspetivas de desenvolvimento futuro	70
A	Sobre a PwC	77
B	Guião para levantamento de informação	78
C	Hierarquia da <i>Process Classification Framework</i>®	79
D	Configurações para <i>Process Mining</i>	80
E	Iterações das fases de mineração, análise e avaliação	84
F	Mapeamento dos processos <i>to-be</i>	98

Siglas e Acrónimos

APQC	American Productivity and Quality Center
BPEL	Business Process Execution Language
BPM	Business Process Management
BPMN	Business Process Model and Notation
BRC	British Retail Consortium
BU	Business Unit
DCS	Distributed Control System
DFG	Directly-Follows Grap
ESG	Environmental, Social, Governance
EPC	Event-driven Process
IA	Inteligência Aritifical
ID	Identificador
IT	Informações Tecnológicas
IoT	Internet of Things
KPI	Key Performance Indicator
OMG	Object Management Group
PI	Pergunta de Investigação
PCF	Process Classification Framework
PDM	Process Diagnostics Method
PM	Process Mining
PM4PY	Process Mining for Python
PQL	Profile Query Language
PwC	PricewaterhouseCoopers
QR	Quick Response
RFI	Request for Information
RFID	Radio Frequency Identification
SGP	Sistema de Gestão de Produção
SIoT	Social Internet of Things
TRU	Traceable Resource Unit
VBA	Visual Basic for Applications
XPDL	Extensible Markup Language Process Definition Language

Lista de Figuras

1.1	Fases do projeto e respectivas etapas principais	5
2.1	Os componentes de um sistema de rastreabilidade e as respectivas opções de implementação. (Fonte: Adaptado de Olsen and Borit (2018))	10
2.2	Ciclo BPM. (Fonte: Adaptado de Dumas et al. (2013))	13
2.3	Esquema exemplificativo de um <i>event log</i> . (Fonte: AlShathry (2016))	17
2.4	Os três tipos básicos de técnicas de <i>Process Mining</i> . (Fonte: Van Der Aalst (2012))	18
3.1	Esquematização alto nível da cadeia de abastecimento da Empresa Cliente	25
3.2	Diagrama da Metodologia <i>Transform</i> ®. (Fonte: PwC)	28
3.3	Representação global da Metodologia <i>PM</i> ² . (Fonte: Van Eck et al. (2015))	29
4.1	Catálogo de processos <i>as-is</i>	36
4.2	Esquematização das relações entre TRU's e elementos existentes	40
5.1	Esquematização do modelo relacional com as respectivas chaves estrangeiras de cada tabela	48
5.2	<i>Dashboard</i> do processo de produção do <i>event log</i> jumbo	50
5.3	Processos de produção e expedição do <i>event log</i> bobines excluindo as bobines cujo estado é "em processo"	51
5.4	Processos de produção e expedição do <i>event log</i> paletes excluindo as paletes cujo estado é "em processo"	54
6.1	Catálogo de processos <i>to-be</i>	63
B.1	Guião para a observação em chão de fábrica com exemplos de perguntas	78
C.1	Hierarquia da <i>Process Classification Framework</i> ®. (Fonte: Adaptado de APQC (2023))	79
D.1	Exemplo de configuração em VBA de uma variante de processo	80
D.2	Exemplo de processamento dos dados em <i>Alteryx Designer</i>	81
D.3	Exemplo de <i>dataset</i> executado	81
D.4	Exemplo de importação e configuração de atributos de uma tabela em <i>Celonis</i> . .	82
D.5	Exemplo de configuração de uma <i>activity table</i> em <i>Celonis</i>	82
D.6	Exemplo de configuração de chave estrangeira entre tabelas em <i>Celonis</i>	83
E.1	Perguntas de Investigação analisadas e <i>event logs</i> correspondentes	84
E.2	Análise da PI.1.1.1."O que acontece na variante 2 do processo e porquê?"	85

E.3	Análise da PI.1.2."Como são os processos de produção e expedição de bobines?"(antes da execução da filtragem)	85
E.4	Análise da PI.1.2.1."Como é o processo de produção de bobines disponíveis em armazém?"	86
E.5	Análise da PI.1.2.2."Como são os processos de produção e expedição de bobines expedidas?"	86
E.6	Análise da PI.1.2.2.1 "Qual o rácio de bobines expedidas que são expedidas via marítima e quais são?"	87
E.7	Análise da PI.1.2.3."Como é o processo de produção de bobines consumidas?"	87
E.8	Análise da PI.1.2.4."Como é o processo de produção de bobines rejeitadas?"	88
E.9	Análise da PI.1.2.4.1 "O que acontece às bobines que são enviadas para desperdício após o seu consumo?"	88
E.10	Análise da PI.1.2.5."Uma bobine é consumida em mais do que uma <i>mill order</i> ?"(filtragem para bobines registadas como consumidas e cujo peso final não era nulo)	89
E.11	Análise da PI.1.2.6."Qual o nível de conformidade nos processos de produção e expedição de bobines?"	89
E.12	Análise da PI.1.3.1."Como são os processos de produção e expedição de paletes?"(antes de filtragem)	90
E.13	Análise da PI.1.3.1."Como são os processos de produção e expedição de paletes de papel tipo A?"	90
E.14	Análise da PI.1.3.1.1 "O que acontece com as paletes que são filmadas duas vezes?"	91
E.15	Análise da PI.1.3.2."Como funciona o processo das paletes de papel tipo B?"	91
E.16	Análise da PI.1.3.3."Qual o rácio de paletes expedidas que são expedidas via marítima e quais são?"	92
E.17	Análise da PI.1.3.4."Qual o nível de conformidade nos processos de produção e expedição de paletes?"	92
E.18	Análise da PI.2.1."Como funciona a rastreabilidade direta de jumbos, bobines e paletes nos processos?"(vista processos)	93
E.19	Análise da PI.2.1."Como funciona a rastreabilidade direta de jumbos, bobines e paletes nos processos?"(vista tabelas)	93
E.20	Análise da PI.2.2."Como funciona a rastreabilidade inversa de jumbos, bobines e paletes nos processos?"(vista processos)	94
E.21	Análise da PI.2.2."Como funciona a rastreabilidade inversa de jumbos, bobines e paletes nos processos?"(vista tabelas)	94
E.22	Análise da PI.2.3."Como funciona a rastreabilidade das caixas de papel tipo A?"(análise rastreabilidade direta)	95
E.23	Análise da PI.2.3."Como funciona a rastreabilidade das caixas de papel tipo A?"(análise rastreabilidade inversa)	95
E.24	Análise da PI.2.4."Como funciona a rastreabilidade das resmas de papel tipo B?"(rastreabilidade inversa)	96
E.25	Análise da PI.2.4."Como funciona a rastreabilidade das resmas de papel tipo B?"(rastreabilidade direta)	96
E.26	Mapeamento do processo <i>as-is</i> do <i>event log</i> bobine	96
E.27	Mapeamento do processo <i>as-is</i> do <i>event log</i> paleta	97
F.1	Notação utilizada no mapeamento dos processos <i>to-be</i>	98
F.2	Parte I do mapeamento do processo <i>to-be</i> de "Produzir jumbos e bobines de papel"	99
F.3	Parte II do mapeamento do processo <i>to-be</i> de "Produzir jumbos e bobines de papel"	100

F.4	Parte I do mapeamento do processo <i>to-be</i> de "Transformar bobines em produtos de papel"	101
F.5	Parte II do mapeamento do processo <i>to-be</i> de "Transformar bobines em produtos de papel"	102
F.6	Mapeamento do processo <i>to-be</i> de "Produzir e armazenar desperdício"	103
F.7	Mapeamento do processo <i>to-be</i> de "Expedir bobines e produto acabado"	104

Lista de Tabelas

2.1	Análise comparativa de ferramentas de <i>Process Mining</i> existentes	21
5.1	Resultados da identificação de constrangimentos com <i>Process Mining</i>	60

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo inicial, serão descritos o enquadramento e a motivação do projeto, bem como a definição do problema e dos objetivos do mesmo. Será ainda apresentada a metodologia seguida e estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento e motivação

O mundo dos negócios encontra-se num período de transformação e disrupção aceleradas, fruto de fatores emergentes como a globalização, as mudanças no comportamento dos consumidores, a crescente importância da responsabilidade ambiental e social e o caminho para a digitalização, potencializada pelos rápidos avanços e inovações tecnológicas nos últimos anos. Além disso, fatores específicos que têm marcado a atualidade, como são exemplos concretos a pandemia COVID-19 e o conflito armado na Ucrânia, impactam os negócios, acentuadamente, trazendo desafios operacionais e económicos, como crises de rutura nas cadeias de abastecimentos e incerteza e insegurança nos padrões da procura. Atender a estes fatores é essencial para uma organização se manter competitiva e se destacar, não só através do valor que oferece aos seus clientes, mas também através da agilidade e adaptabilidade em responder ao ambiente exterior com que interage.

Um dos aspetos que desempenha um papel fundamental para uma organização atingir esta vantagem competitiva é a gestão eficiente da sua cadeia de abastecimento (Chen, 2019). Para esta gestão eficiente, é necessária uma visibilidade transversal a toda a cadeia, com transparência de ponta a ponta da informação. A transparência na cadeia de abastecimento caracteriza-se pelo acesso rápido a dados fiáveis sobre as operações executadas pelos diferentes intervenientes. Neste âmbito, surge o tema da rastreabilidade.

A capacidade de rastreabilidade, ao longo da cadeia de abastecimento, contribui para a troca transparente de informação, através do registo, armazenamento e monitorização dos dados relativos aos produtos, em todas as etapas dos processos. Além disso, a rastreabilidade permite a redução de custos logísticos e possibilita o aumento da qualidade dos produtos e da satisfação do cliente (Mishra et al., 2018). Um caso concreto e de destaque do papel da rastreabilidade é a gestão de *recalls*, ou seja, a retirada de lotes de produtos do mercado, aquando da identificação de

defeitos que possam constituir um risco para a segurança e saúde do cliente e, consequentemente, para a reputação da empresa. Uma capacidade avançada de rastreabilidade nos processos permite identificar as fontes dos defeitos, os produtos afetados e atuar, rapidamente, seja, por exemplo, através da remoção de produtos no mercado ou bloqueio dos produtos em armazém (Appelhanz and Schumann, 2013).

Além do papel da rastreabilidade para a transparência e eficiência da cadeia de abastecimento, atualmente, as empresas enfrentam uma pressão crescente para garantir a conformidade dos seus produtos e processos com padrões de qualidade e com requisitos de sustentabilidade social e ambiental (Chen, 2019). Existe a necessidade de responder a auditorias exigidas pelos clientes, bem como a auditorias de entidades externas, no âmbito de certificações, por exemplo, como é o caso das certificações *British Retail Consortium* (BRC) no setor alimentar (BRC, 2018). Neste sentido, o exercício de rastreabilidade demonstra-se ainda mais fundamental e imperativo.

Não obstante a consensual importância da rastreabilidade ao longo da cadeia de abastecimento, alcançar esta capacidade é um desafio transversal a todas as organizações. Este desafio é agravado pelo facto de que a maioria das cadeias de abastecimento apresentam um elevado nível de complexidade, integrando múltiplos *stakeholders*, várias etapas que requerem grande coordenação, e fluxos de materiais e informação difíceis de gerir (Bai and Sarkis, 2020).

O foco da presente dissertação ¹ será analisar a capacidade de rastreabilidade do produto na cadeia de abastecimento de uma empresa, da indústria papelreira, que exhibe vários dos problemas e necessidades anteriormente expostos.

Nos últimos anos, a indústria papelreira tem enfrentado um período de grande transformação, como consequência da era da digitalização e das pressões crescentes para mudança de paradigma ambiental, nomeadamente para a redução de emissões carbónicas, utilização de recursos sustentáveis e gestão adequada de desperdícios. Além disso, apesar de ter vindo a registar, desde 2015, uma diminuição da procura do papel de impressão e escrita (Berg and Lingqvist, 2019), esta indústria continua a crescer, com a procura de outros produtos, como por exemplo, os produtos *tissue* (onde se enquadram produtos como o papel higiénico, papel de cozinha ou guardanapos) ou o papel de *packaging* (utilizado, por exemplo, em sacos de papel para uso diário ou em sacos e caixas para transporte). Inclusive, alguns destes produtos têm contacto alimentar, o que obriga à existência de regras de rastreabilidade mais rígidas que respondam a um conjunto específico de requisitos e padrões de qualidade, legalmente obrigatórios (Appelhanz and Schumann, 2013).

Assim, os competidores desta indústria veem reforçada a importância da rastreabilidade para responder aos requisitos legais e melhorar a eficiência das suas cadeias de abastecimento, como forma de conseguirem responder de forma ágil e flexível às novas necessidades do mercado. Numa outra visão, como Dumas et al. (2013) referenciam, o desenho, funcionamento e gestão eficaz e eficiente dos processos influenciam bastante a forma e a qualidade com que o valor é entregue ao cliente e, consequentemente, intensificam a vantagem competitiva de uma organização. Mediante

¹ A presente dissertação foi realizada no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Nesta, será apresentado um projeto de consultoria, em contexto empresarial, na PwC, a marca que identifica as firmas membro da *PricewaterhouseCoopers Internacional Limited*. No Anexo A está presente uma contextualização sobre a PwC.

este ponto, é evidente a importância subjacente à aplicação da disciplina de *Business Process Management* (BPM), em português, Gestão de Processos de Negócio. Esta disciplina tem sido amplamente explorada e revela-se de grande utilidade para melhorar e resolver problemas que os negócios enfrentam, como é o caso do desafio da rastreabilidade.

Simultaneamente, no contexto atual de digitalização das organizações e de evolução tecnológica, as novas técnicas de *Data Science* estão a revolucionar diversas áreas, criando novas oportunidades, através da utilização do recurso poderoso que são os dados. Nesta ótica, *Process Mining* emerge como uma disciplina inovadora na área de BPM, que estabelece a ligação entre a análise tradicional de modelação de processos e a análise de dados. O objetivo é a extração, tratamento e análise dos dados, presentes nos sistemas de informação das organizações, para gerar conhecimento sobre os seus processos e analisá-los, na forma como estes realmente são, identificando variações nos mesmos, ineficiências e oportunidades de melhoria. A adoção de *Process Mining*, em várias regiões do mundo, por parte de grandes empresas, tem experienciado um crescimento acelerado. O número de ferramentas existentes, atualmente, é já significativamente elevado e espera-se que o mercado de *Process Mining* cresça para o dobro a cada dezoito meses, nos anos que se seguem (van der Aalst and Carmona, 2022). Consequentemente, esta disciplina revela-se como uma solução pertinente para endereçar o problema do projeto presente, com o propósito de conseguir obter resultados objetivos, reais e diferenciadores.

Deste modo, é com base na importância da rastreabilidade do produto, no contexto atual do mundo dos negócios, e no potencial e relevância do estudo da aplicação de BPM e, mais especificamente, da abordagem de *Process Mining* para responder a este problema que surge o projeto a ser desenvolvido ao longo da presente dissertação.

1.2 Problema e objetivos

A presente dissertação foi desenvolvida como parte de um projeto de consultoria numa empresa portuguesa, do setor da indústria papelreira, que será denominada “Empresa Cliente”.

A Empresa Cliente é uma das empresas portuguesas líderes a nível mundial, com aproximadamente 70 anos de história. As suas unidades industriais produtivas distribuem-se por quatro locais em Portugal e produzem três produtos distintos: pasta de papel, produtos de papel e produtos *tissue*. Afirmando-se como uma das maiores exportadoras nacionais, os seus produtos são expedidos para cerca de 130 países em todos os continentes. A Empresa Cliente destaca-se competitivamente pelo seu portfólio de produtos de qualidade que alcança segmentos distintos de consumidores. A empresa combina as melhores matérias-primas e recursos naturais, com tecnologia de ponta. Assim, consegue entregar um serviço de qualidade e atuar com sucesso a nível ambiental, social e de negócio.

Dada a complexidade do modelo operativo e da cadeia de abastecimento da Empresa Cliente, e num contexto de evolução e crescimento organizacional, a empresa identificou que a sua capacidade de garantir a exata e eficiente rastreabilidade, ao longo da sua cadeia de abastecimento,

apresentava limitações. A análise e melhoria destas limitações são essenciais para garantir o cumprimento com os requisitos exigidos, para obter certificações, no contexto da indústria papelreira, bem como para alavancar a eficiência e sucesso do negócio. Deste modo, ao longo deste projeto, será apresentada uma análise aos processos atuais da Empresa Cliente, com vista a identificar como funciona a rastreabilidade do produto, quais os constrangimentos com impacto neste âmbito e que recomendações podem ser implementadas no futuro. A análise será efetuada, primeiramente, através dos métodos tradicionais de BPM e, seguidamente, através de *Process Mining*. Com isto, pretende-se garantir que o projeto consegue trazer uma análise diferenciadora, que englobe os *insights* baseados em dados reais que uma abordagem *Process Mining* permite obter.

O projeto de consultoria em que esta dissertação incide apresenta um âmbito mais alargado, cujo objetivo consiste em analisar a rastreabilidade direta e inversa, *end-to-end*, em toda a cadeia de abastecimento da Empresa Cliente, desde a receção da matéria-prima, até à expedição do produto final, nas suas quatro unidades produtivas, para os seus três tipos de produtos. No entanto, a aplicação de *Process Mining* e, conseqüentemente, o âmbito da presente dissertação, terão apenas como foco aqueles que foram identificados como os processos e o produto de maior relevância para o estudo, e com maior potencial de análise e obtenção de resultados.

Assim, o principal objetivo deste projeto e da presente dissertação consiste em analisar a rastreabilidade direta e inversa do produto de papel, nos processos de produção e expedição, e executar um desenho futuro para estes processos que, quando implementado, garanta a rastreabilidade exata do produto ao longo dos mesmos. Neste seguimento, têm-se como objetivos específicos:

- Identificar e analisar os atuais processos de produção e expedição, com foco na rastreabilidade do produto.
- Identificar como é efetuado o exercício de rastreabilidade.
- Identificar constrangimentos e recomendações de melhoria, com impacto na rastreabilidade.
- Identificar e delinear os processos futuros que garantam a correta rastreabilidade, quando implementados.

Além disto, num contexto atual em que *Process Mining* ganha cada vez mais destaque, a presente dissertação tem também como objetivo explorar qual o potencial e as limitações de *Process Mining* para o aumento da eficácia e robustez da análise de processos, no âmbito da rastreabilidade, nomeadamente em comparação com os resultados que os métodos tradicionais de BPM apresentam. Deste modo, surgem as seguintes questões de investigação:

- Quais são os principais contributos que *Process Mining* traz à análise de processos?
- Como é que *Process Mining* contribui para a rastreabilidade do produto?
- Como é que as técnicas de *Process Mining* complementam os métodos tradicionais de BPM?
- Quais as principais limitações que *Process Mining* apresenta?

1.3 Metodologia

A abordagem metodológica seguida na dissertação foi elaborada com base na Metodologia *Transform*® da PwC e na Metodologia *PM*² para projetos de *Process Mining*. A Figura 1.1 destaca

as principais fases e etapas do projeto, sendo que estas serão apresentadas com mais detalhe no Capítulo 3, mais concretamente na secção 3.2.

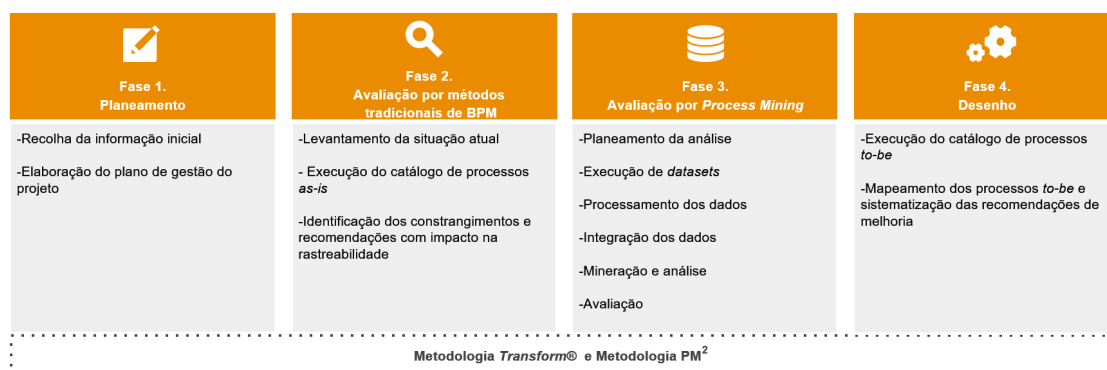


Figura 1.1: Fases do projeto e respetivas etapas principais

A primeira fase consistiu no planeamento do projeto, onde foi recolhida a informação inicial e foi elaborado um plano de gestão do projeto. A fase seguinte foi a avaliação por métodos tradicionais de BPM, que incluiu o levantamento da situação atual da Empresa Cliente, a sistematização dos entendimentos obtidos, através da execução de um catálogo de processos *as-is* e da identificação dos constrangimentos e recomendações de melhoria com impacto na rastreabilidade. A terceira fase foi a de avaliação por *Process Mining* e será o foco da presente dissertação. Com o objetivo de elaborar uma análise robusta, através desta abordagem, e que respondesse à problemática do projeto, esta fase seguiu as seguintes etapas: planeamento da análise em *Process Mining*, execução de *datasets*, processamento dos dados, integração dos dados, mineração e análise e avaliação. Por fim, a última fase, correspondente ao desenho, traduziu-se na execução do catálogo de processos *to-be*, bem como na sistematização das melhorias sugeridas, nomeadamente, através de mapeamento do processos futuros.

Deste modo, a aplicação da abordagem metodológica estabelecida irá direcionar o projeto para responder aos objetivos propostos. A partir da fase de avaliação por métodos tradicionais de BPM e da fase de avaliação por *Process Mining*, pretende-se identificar e analisar os processos com foco na rastreabilidade, bem como identificar como é efetuado o exercício de rastreabilidade. Estas fases irão possibilitar a identificação dos constrangimentos e recomendações de melhoria, com impacto na rastreabilidade. A fase quatro do projeto irá responder ao objetivo de identificar e delinear os processos futuros.

Adicionalmente, a abordagem metodológica irá possibilitar endereçar as questões de investigação estabelecidas. A fase de avaliação por *Process Mining* e os resultados e entendimentos com esta obtidos, através de uma metodologia especializada em projetos de *Process Mining*, irão permitir perceber quais os contributos e limitações que *Process Mining* apresentou, no âmbito da análise de processos e da rastreabilidade. O facto de a abordagem metodológica proposta viabilizar a avaliação dos processos, primeiramente, através dos métodos tradicionais de BPM e, seguidamente, através de *Process Mining*, evidenciará a forma como as duas se complementam. Assim,

será possível que a análise dos contributos e limitações de *Process Mining* seja estudada, não isoladamente, mas em relação a uma base de referência que são os métodos de BPM, usualmente utilizados em problemas deste âmbito.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos. O **presente capítulo** serve de introdução à dissertação, explicando o contexto em que esta foi desenvolvida, a motivação, o problema e os objetivos do estudo, a metodologia seguida e, por fim, a estrutura. O **Capítulo 2** consiste numa revisão aprofundada da literatura relevante para suportar o desenvolvimento da dissertação, com base em três temas principais: Rastreabilidade, *Business Process Management* e *Process Mining*. O **Capítulo 3** caracteriza o caso de estudo da presente dissertação, apresentando a definição do problema da mesma, e descreve a abordagem metodológica construída e utilizada. O **Capítulo 4** elabora a fase de avaliação por métodos tradicionais de BPM. Por sua vez, o **Capítulo 5** descreve a avaliação por *Process Mining* e discute os resultados e contributos obtidos, bem como principais limitações encontradas, comparativamente com a análise anteriormente efetuada. O **Capítulo 6** explica a última fase do projeto isto é, a fase de desenho. Por fim, o **Capítulo 7** sumariza as principais conclusões do estudo em questão, identificando algumas limitações e discutindo desenvolvimentos futuros e melhorias.

Capítulo 2

Revisão de literatura

O presente capítulo tem como objetivo apresentar os fundamentos teóricos para apoiar o estudo e elaboração do estado de arte para este trabalho.

Inicialmente, a secção 2.1, introduz o conceito de rastreabilidade e a sua relevância na gestão das cadeias de abastecimento, bem como os contextos industriais em que esta se destaca, e as limitações enfrentadas. Além disso, são ainda apresentados os principais componentes que constituem um sistema de rastreabilidade. Seguidamente, a secção 2.2, relativa a BPM, apresenta as características principais desta área de estudo, com ênfase no seu ciclo de vida e nas notações existentes. São ainda exploradas as áreas de aplicação de BPM, com foco no potencial para a rastreabilidade, bem como as limitações presentes e tendências futuras destes métodos. Por sua vez, a secção 2.3 estuda o tema emergente de *Process Mining*, começando por caracterizar esta disciplina e o contexto em que surgiu. Posteriormente, são identificadas as ferramentas de *Process Mining*, tal como as principais metodologias existentes. Por fim, à semelhança da secção anterior, são apresentadas as áreas de aplicação de *Process Mining*, os estudos existentes em relação à sua aplicabilidade no contexto da rastreabilidade e os principais desafios, na atualidade.

2.1 Rastreabilidade

2.1.1 Rastreabilidade e gestão da cadeia de abastecimento

A definição de rastreabilidade não é totalmente consensual, variando conforme o contexto, indústria ou área de estudo. De acordo com a International Organization for Standardization (2015) a rastreabilidade pode ser definida como “a capacidade de seguir o historial, a aplicação ou a localização de um objeto”. No contexto de empresas no setor da produção, a rastreabilidade passa por perceber as origens e os componentes utilizados, em todos os produtos acabados complexos, passando pelo seu seguimento, em todas as etapas da cadeia de abastecimento, bem como pelo seguimento do fluxo de informação existente.

Segundo Jansen-Vullers et al. (2003), a rastreabilidade pode ser referida como direta ou inversa. A rastreabilidade direta consiste na capacidade de seguir o produto, desde o início da cadeia de abastecimento, até ao seu final, ou seja, identificar todos os produtos acabados que utilizaram

uma certa matéria-prima. De forma oposta, a rastreabilidade inversa consiste em perceber qual a matéria-prima utilizada no produto final, seguindo-o do fim para o início. É ainda importante definir o conceito de *Traceable Resource Unit* (TRU), ou seja, o objeto alvo do exercício de rastreabilidade, podendo este ser uma unidade comercial, uma unidade logística, como uma paleta ou um contentor, ou uma unidade produtiva, como um lote (Olsen and Borit, 2018).

A rastreabilidade é fulcral na gestão e desempenho das cadeias de abastecimento, cada vez mais complexas, integradas e digitais, pois consegue suportar diferentes questões, desde o controlo de qualidade, à centralização de informação e total transparência. Atua, também, como ferramenta de gestão de risco e permite responder a desafios emergentes, por exemplo, no âmbito dos temas *Environmental, Social, Governance* (ESG). Adicionalmente, contribui para a integração e colaboração dos diferentes *stakeholders*, facilitando as trocas de informação (Shou et al., 2021).

Outros benefícios que o exercício da rastreabilidade apresenta para as empresas são enumerados por Mishra et al. (2018), como é exemplo o aumento do valor trazido ao cliente. Empresas bem sucedidas em rastreabilidade conseguem oferecer aos clientes produtos com níveis de qualidade e segurança elevados e conseguem ser mais eficazes na disponibilização de informação. Um ponto de relevância, ao nível do valor acrescentado para o cliente, diz respeito à gestão de *recalls*. Além disso, a rastreabilidade e centralização da informação, contribuem para o aumento da eficiência dos processos, o que se espelha numa maior capacidade de dar respostas ágeis às necessidades do mercado, num menor esforço necessário por parte das pessoas, num menor tempo de execução de atividades e numa redução dos custos para a empresa. (Mishra et al., 2018).

As características adjacentes às indústrias alimentar e agrária (níveis regulatórios e padrões de qualidade e segurança) fazem destas as indústrias onde o conceito de rastreabilidade surgiu inicialmente, no século XIII e, atualmente, se mantém predominante (Schuitemaker and Xu, 2020). Outra indústria onde o tema da rastreabilidade é significativamente explorado é a têxtil e de vestuário, devido a problemas como a produção fragmentada e a subcontratação.

No caso da indústria papelreira, a rastreabilidade é particularmente importante, uma vez que, adjacente a esta indústria, existe um conjunto de requisitos e padrões de qualidade legais. A execução de testes de qualidade com frequência é requerida, e é obrigatória a criação de lotes como unidades virtualmente ou naturalmente rastreáveis (Hall and Johnson-Hall, 2021). No entanto, em algumas partes da cadeia de abastecimento desta indústria, o processo de produção é contínuo (como é o caso da produção da pasta de papel), e requer especificidades diferentes. De acordo com Appelhanz and Schumann (2013), a literatura apresenta poucas descrições de soluções de rastreabilidade em processos contínuos, sendo o principal desafio adjacente a estas o facto de nestes processos não existirem lotes definidos, bem como o facto de existirem problemas que são erradamente desprezados, como a segregação ou atrasos.

Não obstante os benefícios que a rastreabilidade comprova trazer, a complexidade e custos operacionais, bem como os riscos de fuga de informação, são também possíveis resultados negativos que é necessário ter em consideração. Além disso, por vezes, a falta de colaboração por parte dos diferentes *stakeholders* integrantes da cadeia de abastecimento, nomeadamente, na disponibilização de informação, dificulta a capacidade de atingir os objetivos esperados (Shou et al.,

2021). Os desafios em cumprir os requisitos de rastreabilidade acentuam-se para empresas que praticam processos totalmente manuais, altamente sujeitos ao erro humano. Nestes casos, o fluxo de informação funciona sem recurso a tecnologias e, normalmente, os custos de implementação de sistemas de rastreabilidade ultrapassam os benefícios esperados (Buchwald and Anus, 2020a). Por fim, a existência de diversos e diferentes sistemas de informação, não integrados entre si, constitui uma grande barreira à transferência de informação, entre os diferentes *stakeholders*, e mesmo entre os diferentes processos, dentro de uma empresa (Sunny et al., 2020).

Com vista a enfrentar os desafios presentes e alcançar os benefícios esperados, no desempenho das empresas, a implementação e utilização sustentável de um sistema de rastreabilidade eficaz é essencial, para que uma organização consiga garantir a rastreabilidade ao longo da sua cadeia de abastecimento. Um sistema de rastreabilidade não tem uma solução única. Existem traços gerais que são fulcrais para o seu correto funcionamento, mas existem, também, métodos, técnicas e tecnologias que podem ser utilizados, sendo mesmo possível e vantajoso a adoção de sinergias entre estes (Buchwald and Anus, 2020b).

2.1.2 Componentes dos sistemas de rastreabilidade e tecnologias

Tendo por base estudos de implementação na indústria alimentar, mas relevantes e aplicáveis a qualquer indústria, Olsen and Borit (2018) identificam os seguintes componentes que um sistema de rastreabilidade deve conter e as respetivas opções de implementação, seguidamente enumerados e apresentados na Figura 2.1.

1. **Um mecanismo para identificar TRU's:** Primeiramente, é necessário escolher o código identificador. Este pode ser numérico ou alfanumérico, de diferentes tamanhos e deve ser passível de ser impresso em formato legível por máquinas. É imprescindível que este código seja único, no contexto em que está a ser utilizado, e que seja definida a sua granularidade. Por fim, deve-se encontrar um método adequado de identificação de produto, ou seja, uma forma de associar o identificador à TRU. Este método, por norma, consiste em técnicas de marcação física, complementadas por um código de barras ou um código *Quick Response* (QR). Outra solução alternativa, cada vez mais utilizada, é a tecnologia *Radio Frequency Identification* (RFID). Esta é uma tecnologia *wireless* que permite ler informação entre uma etiqueta e um leitor, por via de ondas de rádio, possibilitando, assim, transparência, eficácia e rigor na rastreabilidade (Bolic et al., 2010).
2. **Um mecanismo para identificar as relações entre TRU's, quando estas se movem ao longo da cadeia de abastecimento e sofrem transformações:** Estas transformações acontecem num momento temporal, em que um processo usa um conjunto de TRU's *inputs* para gerar novas TRU's. Estas relações podem ser registadas de forma direta, caso os *inputs* e *outputs* sejam conhecidos, ou de forma indireta, por exemplo, para casos em que há mistura de documentos ou há dados não registados, sendo necessário realizar a conexão através de um intervalo de tempo. Além disso, é também importante registar pesos e percentagens de *inputs* e *outputs* de cada transformação, bem como guardar metadados, tais como duração e condições do local.

3. **Um mecanismo para registrar toda a informação referente a cada TRU, isto é, os seus atributos:** Este é o componente chave dos sistemas de rastreabilidade, sendo que os dois componentes anteriores são apenas meios para o atingir.

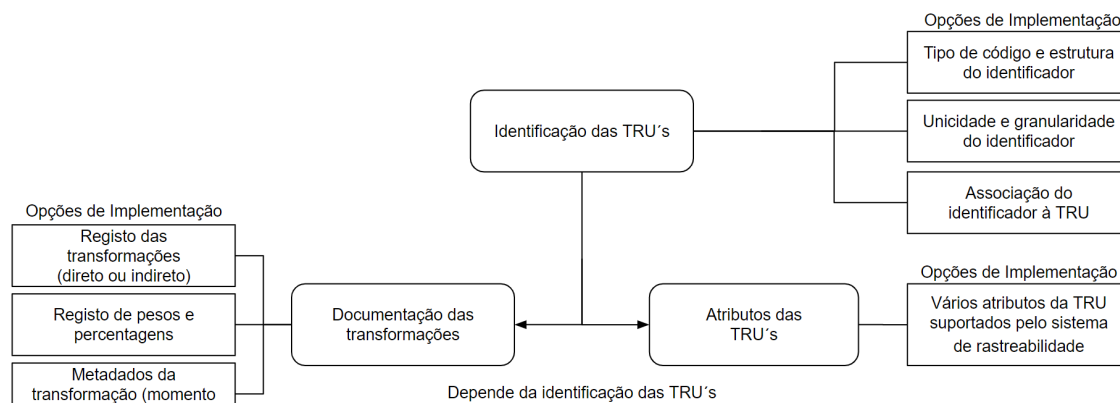


Figura 2.1: Os componentes de um sistema de rastreabilidade e as respetivas opções de implementação. (Fonte: Adaptado de Olsen and Borit (2018))

Além das técnicas mais comumente utilizadas de identificação de produtos, a era tecnológica atual tem vindo a impactar, significativamente, as soluções de rastreabilidade. Estas são cada vez mais ligadas à aplicação de informação tecnológica (IT) avançada, tornando o processo de rastreabilidade cada vez mais eficaz (Shou et al., 2021). Buchwald and Anus (2020a) estudam a possibilidade de utilizar soluções baseadas em *Internet of things* (IoT), para automatizar a rastreabilidade, através da implementação de módulos de *hardware*, capazes de obterem dados de forma automática, o que permite reduzir os custos de analisar os sistemas de informação. No estudo em questão, concluiu-se o sucesso desta solução, para fins de rastreabilidade, bem como para fins de melhoria de eficiência dos processos.

Outras tecnologias inovadoras, associadas à transformação digital, têm vindo a ser discutidas amplamente, como, por exemplo, por Khan et al. (2022). Aqui, são analisadas soluções de Tecnologias *Blockchain*, *Social Internet of Things* (SIoT) e Inteligência Artificial (IA) como tendo grande potencial para aumentar a transparência na cadeia de abastecimento. Não obstante, são também elencados alguns problemas adjacentes a estas soluções como riscos de disseminação de informação que afetam a privacidade e segurança de dados ou o consumo excessivo de energia.

Uma potencial forma de analisar se a rastreabilidade funciona eficazmente e atinge os objetivos esperados, em todas as etapas da cadeia de abastecimento, bem como de identificar e resolver constrangimentos existentes, são os métodos de BPM e *Process Mining*. Estas duas áreas de destaque na atualidade serão exploradas nos dois subcapítulos seguintes.

2.2 Gestão de Processos de Negócio

2.2.1 A emergência da Gestão de Processos de Negócio

Business Process Management é um tema de investigação dinâmico, que tem evoluído em conjunto com a evolução das organizações, cada vez mais acentuada, na atualidade.

Várias teorias são reconhecidas como tendo sido a base de origem de BPM, como a teoria da divisão de trabalho de Smith, os princípios da administração científica de Taylor e, posteriormente, a disciplina de Gestão de Qualidade Total, que visa a melhoria contínua e a qualidade dos produtos e serviços entregues ao cliente (Lizano-Mora et al., 2021). Em 1990, iniciou-se o movimento da Reengenharia de Processos de Negócio, que visa apoiar a alteração total de um processo e a reconstrução interna de novos, tendo como base o princípio de reinventar (Pergl et al., 2014).

Apesar do sucesso da Reengenharia de Processos de Negócio, nos anos que se seguiram, problemas como a sua utilização radical ou errada e a falta de suporte de ferramentas necessárias à sua implementação, originaram a dissipação do interesse nesta, no final da década de 90 (Dumas et al., 2013). Contudo, estudos empíricos continuavam a argumentar que as empresas focadas na melhoria de processos eram, de facto, melhor sucedidas. Paralelamente, nesta altura, ocorria o desenvolvimento de novos sistemas de informação, que apresentavam novas possibilidades facilitadoras da melhoria processos.

Deste modo, considera-se que a análise científica dos processos, os sistemas de informação e as pessoas, foram os três impulsionadores chave de BPM. Assim, esta disciplina surgiu como fruto de sucessos e falhas de outras áreas, e para integrar estes três temas com a ideia de processos de negócio (Lizano-Mora et al., 2021).

2.2.2 Definição e metodologias

Segundo Dumas et al. (2013), BPM corresponde ao conjunto de métodos, técnicas e ferramentas que permitem trabalhar os processos de negócio para assegurar resultados positivos e consistentes e identificar oportunidades de melhoria. Estas oportunidades de melhoria, que podem consistir em, por exemplo, reduzir custos, reduzir taxas de erro, reduzir tempos ou aumentar taxas de produtividade, são direcionadas, não para atividades isoladas, mas para processos, com o objetivo fulcral de criar o máximo de valor acrescentado para o cliente (Dumas et al., 2013). Outras definições vão ao encontro da apresentada, como a de Jeston and Nelis (2014) que define BPM como a disciplina, no ramo da gestão, com o propósito de melhorar a eficiência das organizações, através da coordenação dos processos que as compõem. Além disso, várias definições do que é um processo de negócio foram surgindo. Dumas et al. (2013) apresentam uma definição robusta de processo de negócio, como sendo um conjunto de atividades e eventos relacionados e interligados entre si, que originam resultados que, idealmente, entregam valor ao cliente.

De acordo com Rosemann and vom Brocke (2014) existem elementos-chave para o sucesso das iniciativas de BPM: o alinhamento estratégico com a visão global da empresa; a governação na perspetiva de definição de responsabilidades; os métodos e as tecnologias de informação que

suportam as atividades; as pessoas como elemento impulsionador da execução; e a cultura que direciona a organização na mentalidade orientada para processos. Uma organização orientada para processos é uma organização estrategicamente direcionada na visão *end-to-end* destes e do valor acrescido que os mesmos entregam aos clientes, em detrimento de dar ênfase às estruturas hierárquicas ou funcionais (Kohlbacher, 2010). Casos práticos demonstram que a visão orientada para processos e a implementação bem sucedida de iniciativas BPM despoletam benefícios, em termos de otimização de processos, melhoria do desempenho organizacional, reduções de tempo e desperdícios, gestão de pessoas e integração tecnológica (Lizano-Mora et al., 2021).

Em contrapartida, o insucesso na aplicação conjunta dos elementos-chave, anteriormente descritos, pode causar uma implementação falhada de BPM, na organização. Alguns fatores que contribuem para a falha de uma iniciativa BPM são enumerados por Butt (2020) e são, sobretudo, relacionados com a incorreta gestão da mudança, a ausência de envolvimento da liderança, o planeamento inadequado do projeto ou a realização de uma análise e avaliação incorretas.

A implementação de BPM pode ser detalhadamente descrita através de um ciclo de vida que especifica as atividades envolvidas em cada fase da implementação. As fases existentes no ciclo de vida, propostas por diferentes abordagens de diferentes autores, variam consoante a quantidade e nomenclatura, apesar de um padrão genérico ser comum a todas (Zuhaira and Ahmad, 2021).

A abordagem de Dumas et al. (2013) identifica as seis principais fases, argumentando que o objetivo do ciclo é que a gestão dos processos seja executada continuamente, permitindo a constante atualização e melhoria dos processos. Esta abordagem vai ao encontro do propósito de manter os negócios flexíveis e adaptáveis ao dinamismo do mercado. De acordo com Dumas et al. (2013), as seis fases do ciclo de vida, que se encontram esquematizadas na Figura 2.2 são as seguintes:

- **Fase 1. Identificação dos Processos:** nesta fase inicial, o problema de negócio é apresentado, e os processos que devem ser analisados para o resolver são identificados.
- **Fase 2. Modelação dos Processos Atuais (Processos *As-ís*):** esta fase consiste na documentação do estado atual dos processos, previamente identificados, e deve resultar em um ou mais modelos, executados com uma notação específica.
- **Fase 3. Análise dos Processos:** aqui, são identificados e documentados os constrangimentos encontrados nos processos *as-ís* modelados.
- **Fase 4. Melhoria dos Processos (Processos *To-be*):** para identificar as mudanças necessárias à resolução dos constrangimentos levantados, e para satisfazer os objetivos de desempenho definidos, nesta fase, são exploradas hipóteses de mudança e são selecionadas as melhores. Estas são expressas num redesenho da modelação, surgindo o modelo *to-be*.
- **Fase 5. Implementação dos Processos:** a fase de implementação consiste em aplicar as mudanças definidas, sendo necessário ter em consideração a gestão da mudança organizacional e a automatização de processos.
- **Fase 6. Monitorização e Controlo dos Processos:** por fim, nesta fase, recolhem-se e analisam-se os dados, para avaliar o cumprimento dos resultados, avaliar falhas existentes e implementar medidas corretivas. Assim, esta fase poderá originar a identificação de novos

constrangimentos e despoletar o reinício da terceira fase do ciclo (Dumas et al., 2013).

Conforme as fases anteriormente descritas evidenciam, a modelação de processos, quer dos processos *as-is*, quer do processos *to-be*, é fundamental na gestão de processos de negócio, na perspetiva em que permite documentar, analisar e comunicar os processos, de forma visual e compreensível. Para que esta modelação seja executada corretamente, é necessário existir uma notação que descreve e padroniza a criação dos modelos, permitindo uma análise sistemática e universalmente compreendida (Allweyer, 2016).

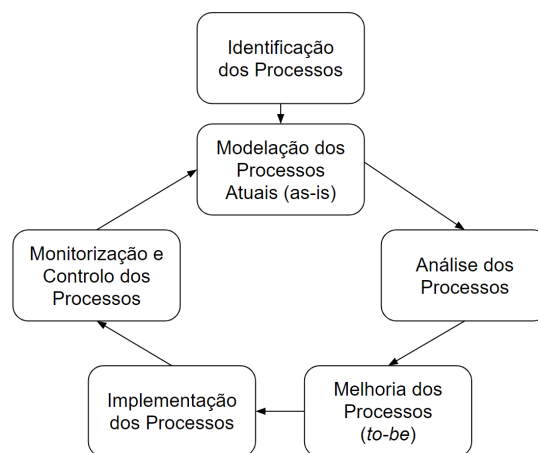


Figura 2.2: Ciclo BPM. (Fonte: Adaptado de Dumas et al. (2013))

Diferentes propostas de notações e modelos foram criadas, como a *Extensible Markup Language Process Definition Language* (XPDL) e a *Business Process Execution Language* (BPEL), que têm como limitação não serem notações gráficas e estarem associadas a ferramentas ou sistemas específicos. Existe também a notação *Event-driven Process* (EPC) que, apesar de não ser oficial, é utilizada significativamente. Desde os últimos anos, a notação oficial mais frequentemente utilizada é a *Business Process Model and Notation* (BPMN) (Allweyer, 2016). A sua versão atual é a BPMN 2.0.2, desenvolvida pela *Object Management Group* (OMG), que providencia um conjunto de elementos gráficos que identificam intuitivamente a sequência de atividades do processo e interações, com os intervenientes relacionados (OMG, 2013).

2.2.3 Áreas e objetivos de aplicação

Pela sua versatilidade e flexibilidade, BPM é uma abordagem multidisciplinar e aplicável a diversas indústrias, já que, tanto os processos de negócio, como a procura pela melhoria destes, são fatores comuns a todas. Pode-se destacar, como algumas das principais áreas ou indústrias de aplicabilidade, o setor da saúde, financeiro, governamental e as áreas de logística. O setor produtivo destaca-se como um dos setores onde BPM é frequentemente implementado, sendo que, inserida neste, a indústria papelreira demonstra uma cobertura reduzida (Pergl et al., 2014).

São diversos e transversais a todos os setores, os objetivos que as organizações esperam alcançar com a implementação de BPM, desde crescimento organizacional à identificação de melhorias

e gestão de desempenho ou à mudança centrada nas necessidades dos clientes (Pergl et al., 2014). Gayialis et al. (2022) identificam outros casos em que BPM é aplicado para atingir outros objetivos, tais como analisar sistemas antes de os implementar, reduzir a complexidade dos processos ou automatizá-los, ou assegurar o cumprimento de normas de qualidade. Além disso, a literatura apresenta, também, casos de estudo em diferentes indústrias que demonstram a implementação de BPM com o objetivo de garantir a rastreabilidade, ao longo da cadeia de abastecimento.

2.2.4 Aplicabilidade para a rastreabilidade

Primeiramente, neste âmbito da rastreabilidade Cerullo et al. (2016) explicam como, percorrendo as fases do ciclo BPM, foi possível implementar um sistema de rastreabilidade na organização. Para construir uma proposta de sistema, os diversos processos foram analisados. Esta análise permitiu obter uma visão clara do fluxo de informação e material, bem como perceber a relação necessária para construir a história completa do produto, quer ligando os produtos iniciais até ao final, quer ligando cada produto aos processos que lhe são subjacentes. Posteriormente, para guiar a implementação da solução proposta, os processos *to-be* foram modelados, com ênfase nas atividades que garantiam o registo da informação necessária para a rastreabilidade. Através de uma abordagem semelhante, Corallo et al. (2019) identificam que a enumeração das atividades onde a informação sobre os produtos é criada, o reconhecimento dos intervenientes destes procedimentos e os métodos de recolha e utilização da informação, são as principais características essenciais à rastreabilidade, que a implementação de BPM permite identificar. Além disso, CHEN and CHEN (2009) identifica aspetos de melhoria nos processos cuja implementação é fulcral, para atingir a rastreabilidade, como garantir a partilha e ligação de informação entre os processos, mas também entre indústrias, aumentar a frequência do controlo de qualidade e estabelecer pontos de controlo em momentos de transferências de produtos.

De acordo com Gayialis et al. (2022), apenas através da correta identificação, análise e implementação de processos é possível garantir o funcionamento íntegro e eficaz dos sistemas de rastreabilidade. Neste estudo, com o propósito de construir um modelo para implementar um sistema de rastreabilidade, foram modelados os processos da organização, o que permitiu identificar os pontos críticos de rastreabilidade que apresentavam maior risco, e necessitavam de maior atenção. Além disto, foi possível identificar-se que informação seria imprescindível para alcançar a rastreabilidade, entre os quais, os atores de cada processo, os passos de cada ação, o seu local e momento e o porquê da sua realização. Ainda nesta perspetiva mais focada na etapa de modelação, Cruz and da Cruz (2019) sugerem que outra abordagem pertinente consiste em perceber e generalizar os processos de uma dada indústria e, conseqüentemente, definir um modelo padrão, para rastreabilidade, nessa mesma indústria. Adicionalmente, através de um projeto que originou resultados positivos na implementação de um *software* para rastreabilidade, Zaninelli and Reyes Pace (2018) sugerem que a possibilidade do estudo padronização de processos, origina uma melhoria visível na partilha de dados e integração de informação, essenciais para garantir a rastreabilidade. A execução da modelação de processos revela-se ainda ser de utilidade para a identificação das tecnologias de rastreabilidade mais adequadas a implementar (Cruz and da Cruz, 2019).

Numa outra visão, se a implementação de BPM demonstra potencial para apoiar o exercício da rastreabilidade, verifica-se, também, uma relação oposta, ou seja, a existência de sistemas de rastreabilidade apoia e facilita a implementação de BPM, na medida em que estes permitem o armazenamento de uma grande quantidade relevante de informação que, posteriormente poderá ser consultada e analisada para perceber e otimizar processos (Gartner et al., 2021).

2.2.5 Limitações e tendências emergentes

Não obstante os benefícios que os métodos tradicionais de BPM têm demonstrado trazer, existem também desafios e limitações, que podem influenciar a eficiência da sua aplicabilidade nas organizações.

Primeiramente, identifica-se como um problema comum a diferença que existe entre os processos, na forma como estes são modelados e analisados, e na forma como estes acontecem, efetivamente, na realidade (Suša Vugec et al., 2018). Um dos fatores que contribui para este problema é o facto de a análise ser executada com base em observação, *workshops* ou entrevistas (Rantamäki et al., 2013). Outro problema identificado diz respeito ao trabalhadores, que nem sempre seguem a forma como os processos são modelados ou melhorados, por não terem acesso a informação ou por não compreenderem o porquê das melhorias implementadas (Suša Vugec et al., 2018).

Por outro lado, à medida que as empresas operam de modo cada vez mais complexo, e com um maior número de processos interdependentes entre si, existe um maior consumo de esforço, tempo e uma maior propensão a erros, aquando da implementação dos métodos tradicionais de BPM (Bazan and Estevez, 2022).

Adicionalmente, o facto de BPM implicar uma análise subjetiva e sujeita a interpretação, pode conduzir a descobertas redutoras, devido à ausência de quantificação das mesmas. Ou seja, não existe uma avaliação baseada em dados factuais, o que pode dificultar a compreensão precisa e objetiva do desempenho e dos constrangimentos dos negócios, prejudicando a identificação de áreas específicas que necessitam de melhoria (van der Aalst and Carmona, 2022).

Perante as limitações que os métodos tradicionais de BPM têm demonstrado, Lizano-Mora et al. (2021) apontam que o potencial de futuras áreas de investigação é elevado. Identificam que o crescimento será, sobretudo, em relação à capacidade de tomada de decisão, a melhorias de planeamento e à criação de abordagens padrão, para medição de resultados. Por outro lado, a necessidade de adaptação a um mercado mais dinâmico e tecnológico, tem também incentivado a emergência de novas tendências, principalmente, ao nível da transformação digital.

Conforme Suša Vugec et al. (2018) apresentam, os problemas encontrados relativamente à aplicação tradicional de BPM podem ser melhorados, quando se aplica uma nova abordagem, denominada BPM Social. BPM Social consiste numa plataforma colaborativa, que possibilita a integração de todos os *stakeholders*, no ciclo de vida BPM, o que se traduz em benefícios como a gestão de risco e a melhoria da comunicação e colaboração entre intervenientes, contribuindo para o aceleração e eficácia da tomada de decisão.

Adicionalmente, o paradigma da IoT, que está a marcar a inovação em vários campos, tem também impactado a forma como as empresas gerem os seus processos, viabilizando a melhoria

dos sistemas de produção e elevando-os a um nível total de digitalização e integração, principalmente, em casos de empresas com um nível de complexidade elevado (Bazan and Estevez, 2022).

Seguindo esta tendência de digitalização, *Process Mining* têm-se destacado como uma nova abordagem expandida, complementar e inovadora a BPM e será explorada no capítulo seguinte.

2.3 *Process Mining*

2.3.1 A disciplina de *Process Mining*

A disciplina de *Process Mining* surgiu, em 1995, com o tema de *Workflow Mining*, cuja ideia era providenciar um conjunto de técnicas para extrair dados sobre modelos de processos de sistemas de informação. Nos anos que se seguiram, foram apresentados outros estudos impulsionadores desta área. Por exemplo, uma das primeiras abordagens propostas consistiu na descoberta de processos através de métodos de IA de redes neurais e técnicas probabilísticas (dos Santos Garcia et al., 2019). Durante as décadas seguintes e até a atualidade, *Process Mining* tem sido um tema cada vez mais explorado e adotado, inicialmente em contexto académico e, nos últimos tempos, no mundo empresarial (van der Aalst and Carmona, 2022).

Identificam-se dois principais motivos que estão na base do surgimento da disciplina de *Process Mining*. Por um lado, o dinamismo atual do mundo dos negócios e a exigência cada vez maior em permanecer competitivo e adaptável, originou a crescente necessidade de melhorar continuamente e eficazmente os processos de uma organização (Nurcan and Schmidt, 2009). No entanto, os métodos tradicionais de BPM apresentavam limitações enumeradas no subcapítulo anterior, como a subjetividade e complexidade de implementação. Assim, estas limitações impulsionaram a necessidade de criar novas soluções (Van Der Aalst, 2011). Por outro lado, o desenvolvimento da era digital potencializou o aumento da quantidade e qualidade dos dados armazenados, acerca da história dos processos (Nurcan and Schmidt, 2009). Relacionado com este ponto, a disciplina de *Data Mining* irrompeu nos últimos anos. Esta consiste na descoberta de padrões de grandes quantidades de dados, por meio de métodos estatísticos e de IA (dos Santos Garcia et al., 2019).

Assim, guiada por estes dois fatores, *Process Mining* surge como a disciplina científica que visa analisar os processos na sua forma real, através da extração de informação dos dados presentes nos sistemas de informação, que suportam as atividades da organização (Van Der Aalst, 2011). Por conseguinte, o elemento diferenciador da disciplina de *Process Mining* reside no facto de esta possibilitar o entendimento e controlo da natureza dos processos, de uma forma rigorosa e objetiva (Corallo et al., 2020), através da interseção dos métodos tradicionais de BPM e da disciplina de *Data Mining*. *Process Mining* baseia-se na perspetiva da modelação, à semelhança de BPM, centrada em processos, mas são utilizadas técnicas avançadas de *Data Mining* para efetuar a análise (Nurcan and Schmidt, 2009). O objetivo não passa pela substituição destas áreas, mas sim pela criação de uma abordagem complementar e enriquecida (dos Santos Garcia et al., 2019). Por exemplo, *Process Mining* pode ser enquadrado no ciclo de vida BPM, apresentando valor em cada uma das seis fases (Van Der Aalst, 2011).

O ponto de partida para uma análise de *Process Mining* é o *event log* que representa a forma como a informação a ser analisada se encontra (Nurcan and Schmidt, 2009). Um *event log* consiste numa sequência de eventos, cada um caracterizado por três elementos obrigatórios e relacionados, seguidamente apresentados e representados na Figura 2.3 (van der Aalst and Carmona, 2022).

1. **Case ID:** um identificador único de cada instância ou ocorrência individual do processo.
2. **Activity:** uma etapa, tarefa ou ação específica do processo, associada ao Case ID.
3. **Timestamp:** o atributo que captura o momento temporal de cada atividade de cada caso, providenciando uma lógica cronológica para estes.

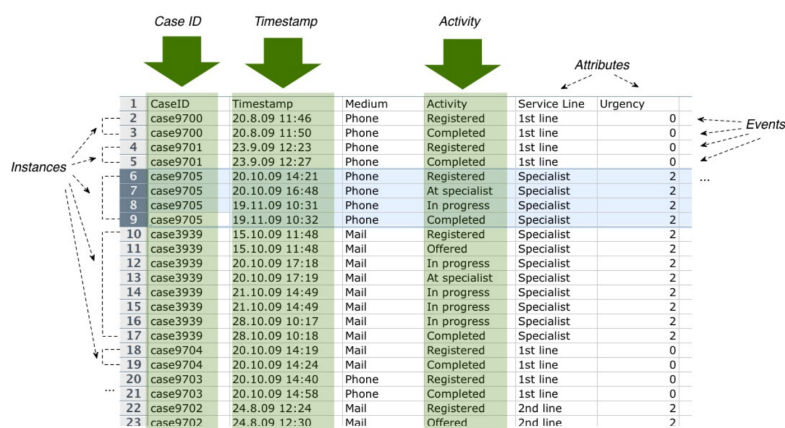


Figura 2.3: Esquema exemplificativo de um *event log*. (Fonte: AlShathry (2016))

Além disto, os *event logs* podem incluir informação adicional, isto é, diferentes atributos relevantes para a concretização das técnicas e perspetivas existentes. Um *event log* pode também ser denominado de *Activity table* (tabela de atividades), constituindo esta a tabela principal de uma análise de *Process Mining*. Contudo, por norma, informação adicional relevante para a análise encontra-se armazenada numa outra tabela que suporta a *Activity table*, a *Case table* (tabela de casos). Nesta, cada linha representa um caso do processo, e inclui atributos do mesmo, estabelecendo uma relação de 1:N com a *Activity table* (van der Aalst and Carmona, 2022).

Tal como noutros campos da ciência que englobam trabalho com dados, também em *Process Mining* uma das características fundamentais dos *event logs* é que estes apresentem qualidade, precisão e completude, já que a ausência destas poderá originar resultados não fiáveis e distantes da realidade, perdendo-se o propósito da análise (Fox et al., 2018a). É necessário aplicar uma abordagem de tratamento de dados adequada, para garantir a obtenção de *event logs* de qualidade, passíveis de serem usados para uma análise de sucesso (van der Aalst and Carmona, 2022).

Nurcan and Schmidt (2009) identificam outros fatores essenciais para o sucesso de *Process Mining*. Em primeiro lugar, a extração de *event logs* deve ser conduzida por questões, assegurando-se que os objetivos da análise se encontram bem definidos. Por outro lado, a escolha dos fatores que constituem o fluxo do processo deve ser bem suportada, nomeadamente no que diz respeito à escolha da linguagem. Além disso, uma abordagem de *Process Mining* deve ser tratada como um processo de melhoria contínua, dada a natureza dinâmica dos processos, o que implica que

haja um reajuste gradual de objetivos e refinamento da análise (Nurcan and Schmidt, 2009). Adicionalmente, a seleção dos processos a analisar deve ser adequada, ou seja, devem-se escolher processos relevantes para os objetivos definidos e que apresentem dados disponíveis para o seu estudo (van der Aalst and Carmona, 2022). Por fim, Van Eck et al. (2015) identificam que, para o sucesso de uma análise de *Process Mining*, é fundamental que haja uma colaboração multidisciplinar entre *stakeholders* especialistas em análise de dados e especialistas dos processos que detenham o conhecimento de domínio essencial para avaliar as descobertas obtidas.

A Figura 2.4 explicita a relação que as técnicas de *Process Mining* estabelecem entre os processos de uma organização, os dados armazenados em sistemas de informação, que suportam esses processos, e os modelos que representam esses processos, através dos dados extraídos em *event logs*. Estas relações evidenciam a aproximação entre o universo digital e o universo físico das organizações, aproximação essa que se revela cada vez mais acentuada devido ao desenvolvimento da era digital, para a qual *Process Mining* contribui (Van Der Aalst, 2011).

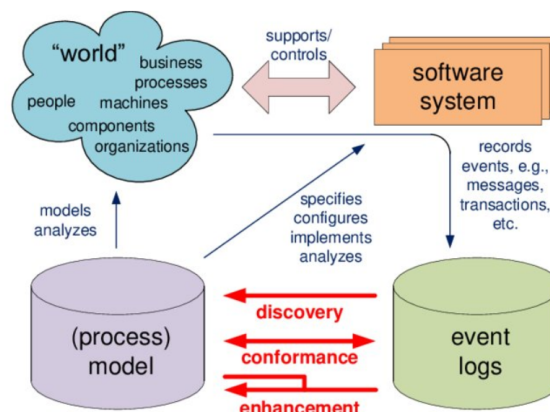


Figura 2.4: Os três tipos básicos de técnicas de *Process Mining*. (Fonte: Van Der Aalst (2012))

Como a figura 2.4 evidencia, existem três técnicas principais que uma análise de *Process Mining* pode seguir. Cada uma delas apresenta distintos propósitos (Nurcan and Schmidt, 2009). Estas três técnicas, tal como as diferentes perspectivas existentes, serão descritas na secção seguinte.

2.3.2 Técnicas e perspectivas

Primeiramente, tem-se a técnica *Discovery* (descoberta de processos), a técnica mais utilizada e estudada, que consiste na criação de um modelo para um processo real, exclusivamente através da utilização dos factos presentes nos *event logs*, e posterior exploração e análise do modelo criado (Nurcan and Schmidt, 2009).

A execução dos modelos através de técnicas de *Discovery* é realizada por algoritmos, existindo várias propostas destes: *alpha-miner*, *heuristics miner*, *genetic miner* e *fuzzy miner* (Rojas et al., 2016). Estes algoritmos apresentam características distintas, e a sua escolha depende do objetivo pretendido com a análise efetuada. Por exemplo, o algoritmo *heuristics miner* destaca-se pela robustez e capacidade de trabalhar com dados complexos, enquanto que o algoritmo *fuzzy*

miner permite a criação de diferentes modelos com diferentes níveis de detalhe. Os modelos gerados por algoritmos encontram-se expressos em notações que podem variar. Frequentemente, a notação presente é a BPMN, no entanto, a linguagem *Petri Nets* é também utilizada. Por sua vez, geralmente, as ferramentas comerciais de *Process Mining* empregam a linguagem *Directly-Follows Grap* (DFG), cujo objetivo passa por criar uma visualização simples e intuitiva, com a possibilidade de expressar múltiplas instâncias de processo e de remover atividades e transições para facilitar a análise (van der Aalst and Carmona, 2022).

A segunda técnica existente é *Conformance* (Conformidade dos processos). Esta visa a realização de um diagnóstico comparativo entre os factos presentes nos *event logs*, e os modelos de processo existentes (Nurcan and Schmidt, 2009). Por exemplo, analisando informação dos *event logs* pode-se averiguar se uma determinada regra estabelecida é cumprida ou se os papéis dos intervenientes no processo estão a ser corretamente executados. Assim, o objetivo desta técnica consiste em detetar, localizar, explicar e medir o impacto de não conformidades no processo (Van Der Aalst, 2011).

Por fim, a técnica *Enhancement* (melhoria dos processos) pretende criar um novo modelo, através da análise dos dados dos *event logs* e dos modelos existentes. Van Der Aalst (2011) identifica alguns tipos de *Enhancement* existentes, tais como reparação, isto é, alterar o modelo para que este fique mais próximo da realidade, ou extensão, adicionando uma nova perspetiva ao modelo, como recursos a métricas de desempenho. Esta técnica tem sido amplamente estudada na literatura, o que demonstra que há cada vez mais um foco direcionado para a vontade de realizar melhorias nos processos reais, sendo a mesma especialmente relevante para fins de tomada de decisão nas organizações (dos Santos Garcia et al., 2019).

Tendo presente os objetivos de cada uma destas três técnicas, é essencial perceber as diferentes perspetivas que uma análise de *Process Mining* pode seguir. Estas perspetivas não são independentes, sobrepõem-se em parte e correlacionam-se, caracterizando, quando juntas, todos os aspetos essenciais a analisar (Van Der Aalst, 2011). Primeiramente, tem-se a perspetiva de controlo de fluxo, que visa perceber os caminhos de todas as instâncias de processo existentes (Nurcan and Schmidt, 2009) e caracterizar como é que cada instância é executada, ou quais os caminhos mais frequentes (dos Santos Garcia et al., 2019).

Apesar de esta perspetiva descrita ser a mais comumente utilizada, esta pode ser enriquecida por outras como a perspetiva organizacional, isto é, a análise dos recursos humanos e da sua organização. Adicionalmente, existe a perspetiva de caso, que estuda os caminhos e recursos de cada caso do processo. Por sua vez, a perspetiva temporal diz respeito a frequências e momentos dos eventos e à identificação de outras métricas como *bottlenecks*, níveis de serviço ou construção de modelos de previsão, por exemplo, do tempo esperado até um processo terminar (Nurcan and Schmidt, 2009).

2.3.3 Ferramentas

Atualmente, existem diferentes ferramentas para a aplicação de *Process Mining*, que apresentam características e funcionalidades distintas, embora partilhem do mesmo propósito. Apesar

de a lista de ferramentas disponíveis ser extensa (Drakoulogkonas and Apostolou, 2021), seguidamente, serão apresentadas e comparadas as mais discutidas na literatura atual e que, posteriormente, serão a base para a escolha da ferramenta utilizada para desenvolver o trabalho presente.

Em primeiro lugar têm-se a ferramenta *ProM* que, de acordo com Parente and Costa (2022), se destaca como a mais universalmente utilizada. Esta é a que apresenta uma maior quantidade de funcionalidades e *plug-ins* disponíveis (Celik and Akçetin, 2018). No entanto, a sua interface não é intuitiva e não existe informação suficiente disponível sobre os seus *plug-ins* e sobre a forma adequada de escolha do algoritmo necessário. Portanto, não se revela a mais adequada para utilizadores principiantes (Parente and Costa, 2022).

Com vista a tentar resolver alguns dos problemas descritos, Berti et al. (2019) apresentaram a ferramenta *Process Mining for Python* (PM4PY). Esta utiliza a linguagem de programação Python, e destaca-se por possibilitar a customização e integração de algoritmos robustos, permitindo a execução de uma análise completa e otimizada (Parente and Costa, 2022), apesar de ter sido desenhada para utilizadores experientes no ramo de *Data Mining* (Berti et al., 2019).

Além destas duas ferramentas de fonte aberta, foram também desenvolvidas ferramentas comerciais que apresentam uma interface com o utilizador mais intuitiva como a *Disco*, a *MyIvenio* e a *Celonis* (Celik and Akçetin, 2018). As ferramentas *Disco* e *MyIvenio* apresentam funcionalidades similares. A primeira oferece grande suporte de informação e documentação (Celik and Akçetin, 2018) e destaca-se pela sua funcionalidade de mapeamento avançado, enquanto que a segunda se destaca pela capacidade de simulação de gastos (Drakoulogkonas and Apostolou, 2021), mas apresenta limitações como o limite de tamanho dos dados importados que suporta (Celik and Akçetin, 2018).

Por outro lado, a *Celonis* diferencia-se pelo seu design *user-friendly*, e por ser uma ferramenta de desenvolvimento rápido (Celik and Akçetin, 2018). Esta utiliza IA para aprendizagem e melhoria da capacidade de execução, e demonstra uma boa capacidade de identificação de falhas e do seu respetivo impacto na execução dos processos. Complementarmente, apresenta a capacidade de operar em tempo real para diversos sistemas (Drakoulogkonas and Apostolou, 2021).

A Tabela 2.1 explicita uma análise comparativa, através de alguns critérios escolhidos referentes às características descritas ou a outras características complementares. Em relação aos critérios adicionais, constata-se que as duas ferramentas de fonte aberta (*ProM* e PM4PY) e a ferramenta comercial *Disco* requerem instalação. A PM4PY e *Disco* são aquelas que suportam uma maior quantidade de diferentes tipos de ficheiros para importação de dados. Por outro lado, as cinco ferramentas suportam as três técnicas fundamentais de *Process Mining*, à exceção da PM4PY, que não suporta a técnica *Enhancement* e da *Disco*, que não suporta a técnica *Conformance* (Drakoulogkonas and Apostolou, 2021).

Tabela 2.1: Análise comparativa de ferramentas de *Process Mining* existentes

	<i>ProM</i>	<i>PM4PY</i>	<i>Disco</i>	<i>Celonis</i>	<i>MyInvenio</i>
Licença	Fonte aberta	Fonte aberta	Comercial	Comercial	Comercial
Instalação	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Tipo de ficheiros	MXML, XES	CSV, XLSX, MXML, XES	CSV, XLSX, MXML, XES, FXL	CSV, XLSX	CSV, XES
Técnicas Disponíveis	<i>Discovery</i> <i>Conformance</i> <i>Enhancement</i>	<i>Discovery</i> <i>Conformance</i>	<i>Discovery</i> <i>Enhancement</i>	<i>Discovery</i> <i>Conformance</i> <i>Enhancement</i>	<i>Discovery</i> <i>Conformance</i> <i>Enhancement</i>
Utilização intuitiva	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Funcionalidade distintiva	Diversidade de <i>plug-ins</i>	Algoritmos robustos	Mapeamento avançado	Desenvolvimento rápido	Simulação de gastos

2.3.4 Metodologias

Existem distintas propostas de metodologias para a aplicação de *Process Mining* (dos Santos Garcia et al., 2019). Compreender as diferenças entre estas é importante para escolher aquela que se adapta melhor às necessidades da organização e do projeto em questão. Diferentes metodologias foram desenvolvidas com foco numa área de aplicação específica, ou combinadas com outros métodos de outras áreas de estudo (dos Santos Garcia et al., 2019), enquanto que outras estabelecem as suas próprias fases e procedimentos. Noutros casos, são utilizadas metodologias de referência já existentes, expandidas e melhoradas (Rojas et al., 2016). Foram identificadas três metodologias base existentes que serão apresentadas e analisadas comparativamente.

Primeiramente, em 2009 surgiu a Metodologia *Process Diagnostics Method* (PDM), que tem como objetivo realizar um diagnóstico dos processos de uma organização, numa perspetiva abrangente, e num curto período de tempo. Os resultados esperados devem ir ao encontro de três perspetivas diferentes: controlo, desempenho e funções. Esta metodologia sugere o seguimento de cinco fases bem definidas: preparação dos *event logs*; inspeção dos *event logs*; análise do fluxo de controlo; análise de desempenho e análise de funções (Bozkaya et al., 2009). Apesar de a metodologia apresentada ser útil para obter uma visão abrangente dos processos e sistemas de informação existentes, de forma rápida, esta apenas utiliza alguns métodos de análise disponíveis, o que a torna redutora (Bozkaya et al., 2009). Além disso, gera resultados que são factos, perdendo-se o valor do conhecimento do domínio. Assim, esta metodologia, não é adequada a projetos maiores e mais complexos (Zdravkovic et al., 2015).

Posteriormente, introduziu-se o modelo *L* life-cycle*, que descreve o ciclo de vida padrão de um projeto de *Process Mining*, através de cinco fases: planear e justificar; extrair; criar um modelo de controlo de fluxos e conectar *event logs*; criar modelos de processos integrados; e suporte operacional. Este modelo engloba dez atividades de *Process Mining*, inclusive as três técnicas principais

(Van Der Aalst, 2011). Contrariamente à metodologia previamente apresentada, o modelo *L* life-cycle* não apresenta a limitação de abranger apenas algumas técnicas existentes, contudo, este só é aplicável, na sua íntegra, a processos estruturados (Ortmeier et al., 2021), isto é, processos simples e claros com poucas instâncias (Van Der Aalst, 2011).

Tendo em consideração as características inerentes às duas metodologias apresentadas, percebe-se que estas não são adequadas a qualquer tipo de projeto. Adicionalmente ambas apresentam espaço para melhoria relativamente a orientações mais práticas de como lidar com desafios comuns na aplicação de *Process Mining* (Zdravkovic et al., 2015).

Nesta perspetiva, Zdravkovic et al. (2015) propuseram uma metodologia mais abrangente, ao nível das técnicas incluídas, e adequada, tanto para processos estruturados, como para processos não estruturados, a Metodologia PM^2 . O objetivo fulcral da PM^2 é a melhoria do desempenho dos processos ou a garantia da conformidade destes. As fases propostas por esta metodologia são: planeamento; extração; processamento de dados; análise e mineração; e avaliação e melhoria dos processos e suporte. De acordo com esta metodologia, estas fases compreendem um conjunto de atividades interligadas entre si, e devem estar relacionadas através de *inputs* e *outputs*, que podem ser do tipo objetivos (perguntas de investigação, descobertas de desempenho, descobertas de conformidade e ideias de melhoria), dados (sistemas de informação, *event data* e *event logs*) ou modelos (de processos e analíticos). Uma das características de destaque desta metodologia reside no facto de que esta é executada através de iterações repetidas, que possibilitam uma análise contínua, e que suportam processos mais complexos em que o conhecimento do domínio é essencial. As principais limitações apontadas à PM^2 são a definição de parâmetros subjetivos e a ausência de orientação para uma correta escolha de algoritmos e ferramentas a utilizar (Van Eck et al., 2015).

2.3.5 Áreas e objetivos de aplicação

De acordo com van der Aalst and Carmona (2022), *Process Mining* apresenta como objetivo fundamental a melhoria operacional dos processos, o que pode ser alcançado, por exemplo, através da identificação de *bottlenecks* e desvios, da antecipação e diagnósticos de desempenho, da identificação de problemas de conformidade, oportunidades de automatização e remoção de trabalho repetido. Assim, são diversos e transversais a múltiplas indústrias e áreas, os objetivos que as organizações esperam alcançar com a implementação de *Process Mining*.

De acordo com dos Santos Garcia et al. (2019), as áreas onde *Process Mining* demonstra maior aplicabilidade são aquelas relacionadas com o setor da saúde, para objetivos como auxílio na tomada de decisão, redução de custos, identificação de caminhos de pacientes com certas doenças, ou avaliação da qualidade dos tratamentos. Seguidamente, destaca-se o setor das tecnologias de informação, para fins de desenvolvimento de *softwares*, serviços operacionais ou telecomunicações. Em terceiro lugar encontra-se, o setor da produção. Além destas três áreas, dos Santos Garcia et al. (2019) demonstram ainda aplicações de relevância, mediante estudos conduzidos e resultados encontrados, na educação, finanças, logística, segurança ou utilidades.

Complementarmente, van der Aalst and Carmona (2022) exploram a incidência de *Process Mining* nas etapas da cadeia de abastecimento. Por exemplo, em *procurement*, para a descoberta de

pagamentos duplicados ou desvios de termos, em logística para identificação de entregas tardias e melhoria de tempos de entrega, em sustentabilidade para descoberta de causas raiz de desperdícios e emissões poluentes, ou na gestão de compras, para melhoria da satisfação do cliente.

Relativamente ao setor produtivo, a aplicabilidade de *Process Mining* tem-se vindo a salientar, com o aumento da presença dos sistemas de informação ou sistemas de apoio à operação e logística (dos Santos Garcia et al., 2019). Os principais objetivos descritos neste setor são a descoberta de processos complexos, a deteção de não conformidades em produtos, ou melhoria e previsão. Os benefícios obtidos vão desde melhorias na gestão dos recursos e da produção, aumento do conhecimento sobre as operações, identificação de oportunidades de automatização até redução de custos operacionais (Yurtay, 2022).

Quanto à indústria papelreira, a literatura não apresenta muitos casos práticos de aplicabilidade. Nadim et al. (2023) evidenciam a utilização de *Process Mining* na criação de um modelo de análise de causalidade, em conjunto com técnicas de *Machine Learning*, através do uso da técnica de *Discovery* e, posteriormente, *Conformance*. Este caso salienta o valor que *Process Mining* apresenta para a indústria papelreira, pelo facto de esta ser uma indústria complexa, com processos extensos, e que engloba uma grande multiplicidade de variáveis. Portanto, *Process Mining* permite reduzir tempos e esforços na construção de modelos que, por sua vez, são fiáveis e permitem identificar interações entre diferentes correntes de sistemas e analisar relações sequenciais entre eventos.

Dado o âmbito da presente dissertação, é relevante explorar, com mais pormenor, a aplicação de *Process Mining* para a rastreabilidade ao longo da cadeia de abastecimento.

2.3.6 Aplicabilidade para a rastreabilidade

Kang et al. (2013) estudam a aplicação de *Process Mining* numa organização que apresenta um sistema de rastreabilidade falível, com dados incorretos que impedem o exercício de rastreabilidade sucedido em tempo real. No caso referido, a organização apresentava uma cadeia de abastecimento de extrema complexidade e, por isso, os métodos tradicionais de BPM demonstravam resultados limitados. Assim, através da utilização da ferramenta *ProM* e da extração de dados de RFID, realizou-se uma análise de conformidade em *Process Mining*, que permitiu detetar problemas como perda de produtos, ou casos em que existissem períodos anormalmente longos de transporte, bem como as respetivas causas raiz. Além disso, através de uma análise de desempenho, foi possível identificar ineficiências como *bottlenecks* ou períodos de inventário demasiado longos. Concluiu-se, neste estudo, que *Process Mining* apresentava potencial para a descoberta automática dos processos no âmbito de melhorar as capacidades dos sistemas de rastreabilidade.

Por sua vez, Schreiber and Metternich (2022) estudam de que forma é possível estabelecer uma ligação, baseada em dados, entre rastreabilidade e *Process Mining*, através de um caso prático no setor da produção. O estudo em questão demonstra o potencial dos sistemas de rastreabilidade como fontes de dados da história dos produtos e processos, que podem ser utilizados para a execução de uma análise em *Process Mining*, capaz de contribuir para a criação de *outputs*, transparência

nos processos, e obtenção de informação útil para tomada de decisão. Neste contexto, o maior desafio enfrentado foi a configuração dos sistemas que permitisse a geração dos dados necessários para uma análise de qualidade.

Em casos de organizações que não apresentem os dados dos seus processos exaustivamente armazenados, tanto a execução de um exercício de rastreabilidade completo, como a aplicação de *Process Mining* à análise dos processos é um desafio. Para estes cenários, uma solução explorada e sugerida por Ramos-Merino et al. (2021) consiste na introdução do conceito de *Fuzzy Traceability* em *Process Mining*. A proposta de *Fuzzy Traceability* passa pela utilização de conhecimento dos processos para criação de informação contextual, que permita inferir a rota mais provável seguida por um produto, fornecendo, deste modo, uma estimativa das informações e dos cenários mais prováveis para rastrear esse produto.

2.3.7 Limitações e desafios

Apesar de *Process Mining* ter revolucionado a forma como as organizações analisam e otimizam os seus processos, esta disciplina enfrenta algumas limitações e desafios que restringem a sua aplicabilidade em certos contextos.

Em primeiro lugar, a forma como as organizações geram e armazenam os seus dados condiciona a execução de *Process Mining*. Por vezes, os dados existentes são centrados nos objetivos e não nos processos, encontram-se incompletos, ou apresentam um tamanho desadequado para bons níveis de conclusões. Os modelos resultantes da análise, em casos de processos com um comportamento demasiado complexo, podem não ser diretamente compreensíveis (Dumas et al., 2013). Noutros casos, as organizações apresentam a informação dispersa por vários sistemas de informação não integrados, ou mesmo dependente de outros *stakeholders*, sendo uma tarefa difícil compilar a informação e conseguir concretizar a análise (Nurcan and Schmidt, 2009). Ainda nesta perspetiva, alguns estudos relatam desafios relacionados com a baixa eficiência de técnicas de *Discovery*, em casos em que os processos apresentam imperfeições, tais como demasiadas variantes, ruído ou atividades repetidas (dos Santos Garcia et al., 2019).

Outro desafio crescente prende-se com os temas de privacidade e segurança de dados. A necessidade de respeitar requerimentos rígidos de privacidade pode originar um decréscimo acentuado da utilidade dos mesmos para a aplicação de *Process Mining*. Portanto, é necessário caminhar no sentido de encontrar soluções, por exemplo, através da criação de métodos de transformação de dados para preservação de privacidade (Pika et al., 2020).

Por fim, apesar das tendências de digitalização demonstrarem que é necessário que as organizações se adaptem para responder a este novo paradigma, ainda existem barreiras ao nível social e cultural, que condicionam a transformação digital. Verifica-se que existe um *gap* considerável entre aquilo que são as ferramentas e técnicas de *Process Mining* disponíveis, e o potencial a estas adjacente, e o seu uso efetivo pelas organizações na atualidade (Van Der Aalst et al., 2016).

Capítulo 3

Caracterização do Caso de Estudo

No capítulo que se segue será caracterizado o caso de estudo da dissertação. A secção 3.1. apresenta uma definição do problema da Empresa Cliente, explica a necessidade de implementação deste projeto e o porquê de ser relevante a aplicação de uma abordagem de *Process Mining*. Posteriormente, a secção 3.2. descreve a abordagem metodológica proposta, que foi definida tendo por base metodologias já existentes e ajustadas às necessidades específicas do projeto.

3.1 Definição do problema

Num contexto de transformação e crescimento organizacional, decorrentes das mudanças que têm marcado a indústria papelreira, a complexidade da cadeia de abastecimento e dos processos da Empresa Cliente aumenta notoriamente. A sua cadeia de abastecimento é constituída por cinco etapas principais representadas na Figura 3.1 e que são: a criação da madeira como matéria-prima (viveiros), a receção da matéria-prima e subprodutos, a produção de pasta de papel, a produção de produtos *tissue* e de papel, e a expedição de produtos.



Figura 3.1: Esquematização alto nível da cadeia de abastecimento da Empresa Cliente

Em concreto, o processo de produção de papel é um processo exigente com múltiplas etapas e portanto, que requer uma elevada sincronização. Além disto, a produção de papel envolve a utilização de materiais distintos, desde pasta líquida, a materiais subsidiários, materiais de embalagem, ou produtos químicos, que são recebidos de diferentes fornecedores. A existência de diferentes fornecedores com características e modos de operação próprios, dificulta a tarefa de integração e gestão dos mesmos. A complexidade descrita acentua-se com a necessidade do aumento do volume de produção e consequente necessidade de aumento da capacidade produtiva, que a empresa tem vindo a verificar. Adicionalmente, a Empresa Cliente concilia a conceção de diferentes tipos de produtos de papel, o que implica diferenças nos seus processos produtivos.

Por sua vez, relativamente ao processo de expedição, a presença global da Empresa Cliente origina a necessidade de expedição para uma rede intrincada de clientes, tanto nacionais como internacionais, o que levanta dificuldades acrescidas em rastrear a expedição para o cliente final, nomeadamente em casos em que esta expedição ocorre por via marítima.

A complexidade da cadeia de abastecimento da Empresa Cliente, nomeadamente, adjacente a estes dois processos descritos, impacta a sua capacidade de efetuar um exercício de rastreabilidade exato e ágil, ao longo da mesma. A empresa reconhece que, atualmente, o exercício é moroso, se encontra sujeito a erros e, em alguns casos, reconhece que não é possível efetuá-lo na sua totalidade, sendo necessário recorrer a aproximações para a sua execução. Por exemplo, por vezes, é necessário realizar uma retirada dos produtos por excesso, para garantir que todos os que foram produzidos no mesmo horizonte temporal que um produto identificado com defeito são removidos, uma vez que não se consegue rastrear com exatidão a origem do defeito em questão.

Simultaneamente, verifica-se que a mudança da Empresa Cliente no caminho da digitalização ainda se encontra em desenvolvimento, existindo ainda atividades e informações a serem registadas manualmente. Este fator acentua ainda mais as dificuldades na realização do exercício de rastreabilidade.

Se por um lado, a Empresa Cliente identifica as falhas e os desafios com que se depara no âmbito da rastreabilidade, por outro lado, reconhece este tema como sendo essencial para garantir a eficiência do seu funcionamento, e a maximização do valor trazido aos seus clientes. Além disto, as características intrínsecas do seu produto, no contexto da indústria papelreira, exigem rigor no cumprimento dos padrões de qualidade produtiva, o que implica a existência de processos de controlo de qualidade rigorosos e frequentes. Deste modo, torna-se imperativo, para a Empresa Cliente, resolver este desafio que emerge no seu negócio, no momento.

Tendo isto em consideração, o projeto de transformação da PwC na Empresa Cliente visa endereçar as necessidades identificadas pela mesma, ou seja, analisar os seus processos atuais e identificar constrangimentos e recomendações de melhoria nos mesmos. Numa fase seguinte, desenhar os processos futuros que, quando implementados, garantam a rastreabilidade exata e ágil em todos os processos *end-to-end* ou, no âmbito abordado na dissertação, nos processos de produção e expedição do produto de papel. O exercício de rastreabilidade deve ser possível tanto de uma forma direta, como de uma forma inversa, isto é, deve ser possível detetar quais os produtos acabados que foram formados por uma dada matéria-prima/subproduto/produto intermédio, ou

qual a matéria-prima/subproduto/produto intermédio que deu origem a um produto acabado.

Esta análise proposta deverá ser efetuada, não apenas através dos métodos tradicionais de BPM, mas através de uma análise baseada em dados, recorrendo a uma abordagem de *Process Mining*, para que o projeto consiga trazer uma análise diferenciadora, que englobe os *insights* baseados em dados que *Process Mining* permite obter.

Com base no caso prático do problema da Empresa Cliente apresentado, a presente dissertação irá também estudar a problemática de quais os contributos que *Process Mining* apresenta para a análise de processos, e a forma como complementa os métodos tradicionais de BPM, bem como as limitações existentes, sempre tendo em consideração o caso específico da rastreabilidade.

3.2 Abordagem metodológica proposta

A abordagem metodológica proposta foi construída com base em duas metodologias existentes: a Metodologia *Transform*® da PwC e a Metodologia *PM*², desenvolvida para projetos de aplicação de *Process Mining*. Estas metodologias serão seguidamente descritas. Posteriormente, serão apresentadas estruturalmente as fases do projeto, que foram construídas de acordo com estas metodologias e adaptadas ao caso de estudo em questão. É ainda de mencionar que a Metodologia *Transform*®, quando aplicada a projetos no âmbito da análise e gestão de processos, apresenta uma abordagem concordante com o ciclo BPM, definido por Dumas et al. (2013), pelo que este ciclo estará também na base da metodologia desenvolvida.

3.2.1 Metodologia *Transform*®

A Metodologia *Transform*® é seguida pelo departamento de Consultoria da PwC e possibilita um trabalho rigoroso e eficiente, focado nas respostas às necessidades do cliente e na entrega de valor, na transformação organizacional. Esta metodologia holística é ajustável ao âmbito específico de cada projeto e permite a execução deste, em linha com os objetivos da Empresa Cliente. A *Transform*® é constituída por cinco fases, ilustradas na Figura 3.2 e seguidamente enumeradas:

- **Fase 1. Avaliação:** Assegurar a compreensão da situação atual da empresa, dos seus processos *as-is* e do modelo operacional, e identificar os constrangimentos e recomendações.
- **Fase 2. Desenho:** Desenvolvimento das soluções encontradas para os problemas atuais, desenhando as mudanças no modelo operacional necessárias para maximizar o seu valor acrescentado, nomeadamente através da construção dos processos *to-be*.
- **Fase 3. Construção:** Construção e teste das alterações necessárias e desenvolvimento de um plano de implementação para as mesmas.
- **Fase 4. Implementação:** Implementação e estabilização das alterações e planeamento de benefícios estimados.
- **Fase 5. Operacionalização e Monitorização:** Operação da nova realidade de forma sustentada e melhoria contínua do modelo.

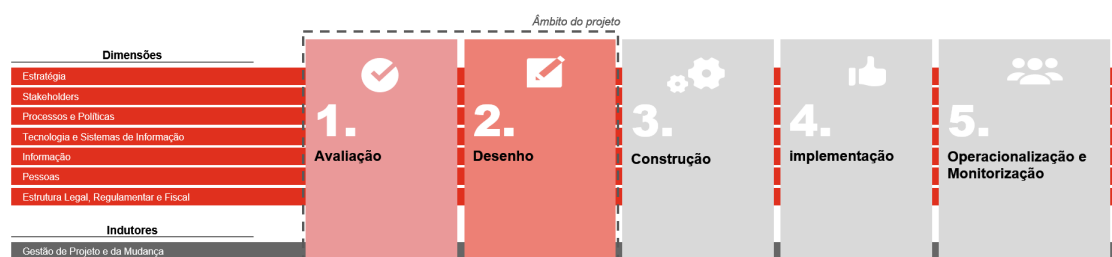


Figura 3.2: Diagrama da Metodologia *Transform*®. (Fonte: PwC)

Tendo em consideração a abordagem estruturada mas adaptável que esta metodologia providencia, a sua utilização foi imprescindível para que fosse possível endereçar os objetivos estabelecidos. O projeto apenas teve como âmbito as duas primeiras fases: avaliação e desenho.

3.2.2 Metodologia PM^2

A Metodologia PM^2 foi a selecionada, entre as metodologias de referência existentes e estudadas no Capítulo 2, para a aplicação de *Process Mining*. O objetivo fulcral da PM^2 , como referido, é a melhoria do desempenho dos processos ou a garantia da conformidade destes (Van Eck et al., 2015), o que se revela adequado para a análise do problema de rastreabilidade. Por outro lado, esta é a metodologia de *Process Mining* mais recente e que surgiu como opção evolutiva em relação a outras, criadas em fases de investigação mais primordiais de *Process Mining*. Por fim, a PM^2 diferencia-se por possibilitar o enquadramento de diferentes tipos de análises através de sucessivas iterações, conjugadas com a utilização de conhecimento específico das características e funcionamento dos processos (Van Eck et al., 2015). Esta análise iterativa será de grande utilidade para as necessidades do projeto em questão.

Como desenvolvido no Capítulo 2, a Metodologia PM^2 engloba seis fases que compreendem um conjunto de atividades relevantes e interligadas entre si, e que devem estar relacionadas através de *inputs* e *outputs*. As seis fases da Metodologia PM^2 , os seus objetivos, *inputs* e *outputs* serão seguidamente descritos e encontram-se representados na Figura 3.3.

A primeira fase diz respeito ao **planeamento** e tem como objetivo preparar o projeto e definir as perguntas de investigação e sistemas de informação a utilizar, que correspondem aos *outputs* desta fase. Esta tem como *input* os processos da empresa. Assim, as principais atividades da fase de planeamento são a seleção dos processos de negócio, dos objetivos pretendidos e das perguntas de investigação para responder a esses objetivos.

Seguidamente, surge a fase de **extração** em que, tendo como *inputs* as perguntas de investigação e os sistemas de informação, se extrai *event data* (ou seja, dados ainda por processar) e, opcionalmente, modelos de processos, sendo estes os *outputs* obtidos. Nesta fase determina-se o âmbito da extração de dados, executa-se a extração e, simultaneamente, obtém-se o conhecimento prático sobre os processos.

O **processamento dos dados** é a terceira fase e é executada para criar *event logs* num formato adequado à análise. Assim, utilizando *event data* como *input*, realiza-se o tratamento destes dados, de forma a criar como *output event logs*. Esta fase pode incluir atividades como criação de visualizações, agregação de eventos, filtração ou enriquecimento de *event logs*.

A quarta fase diz respeito à **mineração e análise** e tem como objetivo responder às perguntas de investigação. Para tal, deve-se recorrer à aplicação das técnicas de *Process Mining* consideradas relevantes para o projeto em questão, entre *Discovery*, *Conformance* ou *Enhancement*. Deste modo, tem-se como *input* os *event logs* e, opcionalmente, modelos de processos e obtém-se as descobertas que respondem às perguntas de investigação.

A fase de **avaliação** deve ser seguidamente executada, a fim de se relacionar as descobertas e análises, obter ideias de melhoria e alcançar os objetivos do projeto. Assim, com base nos modelos de processos e descobertas da fase anterior, realiza-se um diagnóstico aos resultados obtidos. Seguidamente verificam-se e validam-se os resultados, obtendo-se, como *output*, ideias de melhoria e novas questões de investigação para as próximas iterações.

A aplicação da metodologia em questão termina com a fase de **melhoria dos processos e suporte**, que visa utilizar as descobertas e conclusões obtidas para modificar os processos atuais. Esta fase tem como *inputs* as ideias de melhoria e gera modificações nos processos reais, através da implementação das atividades identificadas e suporte operacional.

É de destacar que as fases de processamento, análise e mineração e avaliação devem ser executadas através de análises iterativas, em que cada análise se foca numa pergunta de investigação. A fase da metodologia, que diz respeito à implementação das melhorias identificadas, encontra-se fora do âmbito do projeto (Van Eck et al., 2015).

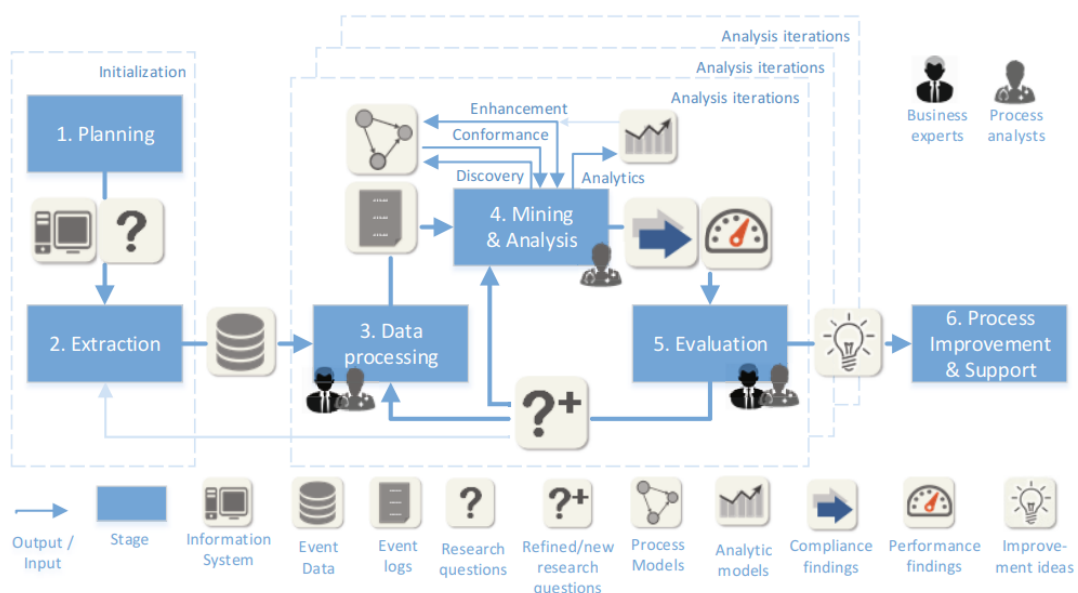


Figura 3.3: Representação global da Metodologia *PM*². (Fonte: Van Eck et al. (2015))

3.2.3 Fases do projeto

Tendo por base as duas metodologias anteriormente descritas e as características e requerimentos próprios do projeto, foi desenvolvida a seguinte abordagem metodológica constituída por quatro fases distintas, descritas seguidamente.

A primeira fase estabelecida e executada foi a **fase de planeamento**. Apesar de esta não ser proposta pela Metodologia *Transform*® da PwC, é implementada nos projetos da empresa, a fim de garantir o seu início eficiente e o alinhamento adequado das restantes fases, com os objetivos da Empresa Cliente. Assim, a sua consideração e correta execução foram definidas como essenciais para o sucesso do início do projeto, e sustentabilidade deste.

Iniciou-se esta fase com a identificação dos *stakeholders* chave e com o envio de um *Request for Information* (RFI) isto é, de um pedido de informação, à Empresa Cliente. Seguidamente, foi definido e depois discutido e aprovado, numa reunião de *kick-off*, o plano de gestão de projeto, correspondente ao entregável desta fase. Neste plano, foi estabelecido o âmbito, fases, objetivos e equipa do projeto, bem como o seu cronograma e principais *milestones*, entregáveis e responsáveis. Foi também elaborado um plano de comunicação que incluísse a definição de todas as reuniões importantes e garantisse a colaboração e troca de informação eficiente entre *stakeholders*. Foi ainda concebido um plano de gestão de riscos e fatores críticos do projeto. Por fim, foram definidas as ferramentas que seriam utilizadas. Para a modelação de processos através dos métodos tradicionais de modelação, foi utilizada a ferramenta *Visio* da *Microsoft*, e a notação BPMN 2.0. Para a análise em *Process Mining* foi definida a utilização da ferramenta líder de mercado, a *Celonis*.

Posteriormente, de acordo com a Metodologia *Transform*® o projeto ingressa na fase de avaliação. Definiu-se duas fases de avaliação distintas: avaliação por métodos tradicionais de BPM e avaliação por *Process Mining*. Estas duas fases cobriram as três primeiras fases do ciclo BPM, ou seja, a identificação de processos, a modelação dos processos atuais (*as-is*) e análise dos processos.

A **fase de avaliação por métodos tradicionais de BPM** teve como objetivo assegurar a compreensão da situação atual e dos processos *as-is* da Empresa Cliente, a fim de identificar os constrangimentos e recomendações de melhoria com impacto na rastreabilidade. Primeiramente, foi definido qual a informação que seria necessário recolher e como iria decorrer o processo das visitas. Seguidamente, foram realizadas visitas ao chão de fábrica, no sentido de compreender a realidade do modelo operativo da empresa, os seus processos e como funciona o exercício de rastreabilidade. Esta fase culminou em dois entregáveis: o catálogo de processos *as-is* e o relatório de diagnóstico dos constrangimentos identificados. Estes resultados foram validados com os *stakeholders* chave. Embora seja comum, nesta fase, realizar-se o mapeamento dos processos atuais, a Empresa Cliente decidiu realizar apenas o mapeamento dos processos *to-be*. Essa escolha foi motivada pelas restrições temporais do projeto.

Por sua vez, a **fase de avaliação por *Process Mining***, aquela que será o principal foco desta dissertação, foi realizada a fim de se analisar os processos *as-is*, com foco na rastreabilidade, com base em dados quantitativos. A abordagem metodológica para esta fase foi definida tendo por base

as fases da Metodologia *PM²*, anteriormente descrita. Como etapa preliminar, foi realizado um estudo e familiarização com a ferramenta *Celonis*, para conhecer as suas funcionalidades, o potencial destas e perceber quais aquelas que melhor dariam resposta às necessidades do projeto. Para tal, foi realizado um conjunto de formações proporcionadas pela *Celonis Academy*, a plataforma de treinos da *Celonis*, que fornece cursos e recursos educacionais para capacitar profissionais em *Process Mining*. Posteriormente, iniciou-se a primeira fase estipulada pela Metodologia *PM²*, o planeamento. Apesar de o âmbito e objetivos da análise de *Process Mining* já se encontrarem definidos na fase de planeamento do projeto, esta etapa de planeamento específico para *Process Mining* foi fundamental para traduzir os objetivos em perguntas de investigação.

O passo seguinte a estabelecer seria a extração de *event data* dos sistemas de informação da Empresa Cliente. Não obstante, já no decorrer do projeto, verificou-se que a Empresa Cliente não iria ter a possibilidade de fornecer os dados necessários para a realização da análise, no tempo útil da execução do projeto. Deste modo, para que se pudesse prosseguir com o projeto, a solução definida foi a criação de *datasets* que simulassem, da forma mais fiel possível, a realidade dos dados que seriam analisados. Primeiramente, foi definido o âmbito dos dados que seriam criados, nomeadamente a sua granularidade, período temporal de análise, os atributos necessários e relações existentes. Depois, os *datasets* foram criados recorrendo-se à ferramenta *Microsoft Excel*, nomeadamente através da funcionalidade *Microsoft Excel Visual Basic for Applications* (VBA). O conteúdo dos *datasets* foi concebido com base no conhecimento obtido acerca da informação presente nos sistemas de informação da Empresa Cliente, bem como através da definição de alguns pressupostos o mais adequados possíveis à situação real, que serão apresentados, a fim de garantir a transparente e adequada interpretação dos resultados. Assim, através desta solução, foi possível prosseguir com a análise proposta de *Process Mining*.

Uma vez que os *datasets* foram criados já em formato *event log*, e já adaptados às necessidades de uma análise em *Process Mining*, na etapa seguinte de processamento dos dados, não foi necessário realizar a transformação de *event data* nem aplicar técnicas de tratamento tais como filtragem ou agregação. Assim, esta etapa consistiu apenas na revisão e limpeza dos dados, para assegurar a qualidade dos mesmos, tendo-se recorrido à ferramenta *Alteryx Designer®* para este efeito. Foi ainda, realizado um passo intermédio entre o processamento dos dados e a fase seguinte de mineração e análise, que consistiu na integração dos dados na ferramenta *Celonis*. Para isto, foi necessário configurar todos os ficheiros de *datasets*, e criar um modelo relacional dos dados, que permitisse estabelecer, funcionalmente, as relações necessárias à análise.

Seguiram-se as etapas de mineração e análise e de avaliação, que foram realizadas de forma iterativa. Ao longo da etapa de mineração e análise, foi utilizada, principalmente, a técnica de *Discovery*, apoiada por técnicas de análise e visualização de dados, com o objetivo de responder às perguntas de investigação formuladas e aos objetivos propostos. Foi realizada, também, uma análise de *Conformance*, com o objetivo de verificar o nível de conformidade das diferentes variantes do processo com o modelo esperado. Por fim, executou-se a avaliação da análise efetuada, onde, para cada iteração, os resultados da análise foram interpretados, validados e relacionados. Esta fase ficou concluída com a entrega de dois documentos: a análise de *Process Mining* em *Celonis* e

um relatório com as recomendações de melhoria, construídas com bases nos *insights* obtidos nas duas fases de avaliação.

Concordantemente com a Metodologia *Transform*®, a última fase estipulada foi a **fase de desenho**, cujo objetivo passou por assegurar a identificação e sistematização das iniciativas necessárias para garantir a correta rastreabilidade dos produtos no futuro, quando implementadas. Assim, sistematizou-se um catálogo de processos *to-be* e realizou-se o mapeamento destes processos, enquadrando as recomendações de melhoria identificadas, tanto através dos *insights* fornecidos pelos métodos tradicionais de BPM, como através de *Process Mining*. O mapeamento foi realizado através da notação BPMN 2.0 e com a ferramenta *Visio* da *Microsoft*, ao nível quatro do processo, de acordo com a definição APQC. Esta fase cobriu a fase quatro do ciclo BPM, correspondente à melhoria dos processos, estando as fases finais deste ciclo, ou seja, a implementação dos processos e monitorização e controlo, fora do âmbito do projeto.

Nesta fase do desenho, foram ainda identificados os requisitos funcionais com foco na rastreabilidade, imprescindíveis para que os sistemas de informação conseguissem dar resposta aos processos futuros. Foi ainda proposta uma listagem de iniciativas de evolução tecnológica, em forma de desenvolvimentos e funcionalidades a explorar, que possibilitasse a mitigação dos *gaps* identificados. Estes dois últimos pontos encontram-se fora do âmbito da presente dissertação. Como entregáveis desta fase resultaram um catálogo de processos *to-be*, o mapeamento destes processos e uma listagem dos requisitos funcionais e iniciativas de evolução tecnológica.

Capítulo 4

Avaliação por métodos tradicionais de BPM

Este capítulo irá descrever o trabalho realizado na fase de avaliação por métodos tradicionais de BPM, identificada na abordagem metodológica. Será descrito como foi levantada a informação relativa ao modelo atual de operação da Empresa Cliente, no que diz respeito aos processos de produção e expedição de papel e à rastreabilidade. Será sistematizado o conteúdo desta informação, através da definição e descrição dos processos atuais, com foco na rastreabilidade. Por fim, serão descritos os constrangimentos na rastreabilidade, identificados com esta análise.

Será ainda, previamente, explicado algum trabalho resultante da fase de planeamento, relevante para introduzir as fases seguintes.¹

Apesar de a identificação e descrição das recomendações de melhoria nos processos terem sido realizadas aquando das duas fases de avaliação do projeto, estas apenas serão apresentadas e discutidas no Capítulo 6.

4.1 Planeamento

Como ponto de partida da fase de planeamento, foi executado um RFI à Empresa Cliente, a fim de solicitar informações cruciais para iniciar o projeto. Assim, recolheu-se informação relativa a traços gerais da cadeia de abastecimento e modelo de negócio, procedimentos e políticas no âmbito da rastreabilidade, fluxogramas de processos existentes e sistemas de informação em vigor.

Com esta informação, percebeu-se que, como apresentado anteriormente, a empresa opera em quatro unidades produtivas distintas. Cada unidade dispõe de várias linhas de produção a operar em paralelo. Existem três tipos de produtos entregues ao cliente: pasta de papel, produtos *tissue* e produtos de papel. Os produtos de papel podem ser do tipo A ou B. Além disso, percebeu-se que a cadeia de abastecimento da Empresa Cliente é constituída por cinco etapas principais

¹O plano de comunicação, o plano de gestão de riscos, a identificação de fatores críticos do projeto, o cronograma e *milestones* e a identificação de *stakeholders* chave e equipa do projeto, não serão descritos, pois considerou-se não serem necessários para introduzir as fases seguintes nem para o âmbito da dissertação.

e que a empresa opera com fornecedores distintos, conforme a matéria-prima e subprodutos de que necessita para a produção: fornecedores de produtos químicos, de materiais subsidiários, de materiais de embalagem e de matéria-prima como madeira, fardos de pasta seca ou pasta líquida (apesar de a maioria da madeira ser originária dos viveiros da própria empresa e da maioria da pasta ser produzida internamente). Além disso, a empresa expede os seus produtos para uma rede vasta de clientes nacionais e internacionais, por via terrestre ou marítima.

Em relação aos sistemas de informação, a Empresa Cliente utiliza oito sistemas distintos, nas diferentes etapas da sua cadeia de abastecimento, inclusive utiliza sistemas diferentes para suportar uma mesma etapa ou processo. Alguns exemplos de sistemas utilizados são o SAP e um sistema de gestão de produção (SGP) próprio. Percebeu-se ainda que, ao momento, o exercício de rastreabilidade é moroso, demorando um a dois dias a ser completado, com a necessidade de consulta de diferentes sistemas e documentos manuais, e com falhas que, em alguns casos, impedem a realização da rastreabilidade total.

Desta forma, esta informação foi crucial para a definição do âmbito e objetivos do projeto, bem como para a definição das suas fases e entregáveis, descritos no Capítulo 3. Primeiramente, definiu-se como âmbito do projeto a rastreabilidade *end-to-end*, para todos os produtos e unidades produtivas da Empresa Cliente. No entanto, dado as restrições do projeto e a disponibilidade de dados, percebeu-se que não seria possível a aplicação da abordagem de *Process Mining* a este âmbito tão alargado. Assim, definiu-se que a avaliação por *Process Mining* seria aplicada apenas aos processos de produção e expedição do produto papel, numa das quatro unidades produtivas.

Os processos de produção e expedição do produto de papel foram os escolhidos, por se encontrarem num estado de maturidade digital mais desenvolvido, apresentando registos em sistemas, que iriam possibilitar esta análise. Simultaneamente, estes são processos com um grau considerável de complexidade que englobam diversas variáveis, como descrito no Capítulo 3, e que apresentam falhas existentes ao nível da rastreabilidade, que necessitam de ser resolvidas. Assim considerou-se serem os melhores processos para a aplicação de *Process Mining* e, consequentemente, para o âmbito da presente dissertação.

Ainda nesta fase, definiu-se a ferramenta *Celonis* para ser utilizada para a execução da análise de *Process Mining*. Esta ferramenta foi a selecionada pois, como referido no capítulo da revisão de literatura, permite a execução das três técnicas de *Process Mining* (*Discovery*, *Conformance* e *Enhancement*) e apresenta funcionalidades essenciais, como a análise de desempenho através de *Key Performance Indicators* (KPI) e filtragem. Além disso, o seu fator distintivo é que esta é uma ferramenta de desenvolvimento rápido, com uma interface *user-friendly*, de visualização intuitiva e clara. Esta característica foi considerada essencial para permitir que a equipa da Empresa Cliente, constituída por utilizadores não especialistas em *Process Mining*, conseguisse compreender os resultados obtidos e colaborar na análise. Por fim, esta ferramenta, líder no mercado de *Process Mining*, oferece um nível de serviço elevado e garante a segurança na gestão de dados e confiança para a utilização, o que também se revelou uma característica fundamental para a sua escolha (Celonis, 2023).

A fase de planeamento garantiu que as equipas do lado da Empresa Cliente e da PwC se

encontravam alinhadas sobre o âmbito e objetivos do projeto, e se familiarizaram com o plano deste. A informação inicialmente recolhida e analisada foi essencial para obter uma visão geral do negócio da Empresa Cliente. Assim, com as bases necessárias para a organização e sucesso do projeto bem definidas, iniciou-se a fase de avaliação por métodos tradicionais de BPM.

4.2 Levantamento da informação

Partindo da visão geral acerca do modelo operativo da empresa, obtida através do RFI e das reuniões de planeamento do projeto, iniciou-se o levantamento aprofundado de toda a informação necessária para a avaliação por métodos tradicionais de BPM. A informação foi recolhida através de observações em chão de fábrica na unidade industrial de produção do papel.

Para que este procedimento fosse o mais eficiente possível e não prejudicasse o decorrer usual da atividade da empresa, executou-se uma preparação prévia. Para tal, foram realizadas reuniões de contextualização e preparação com os colaboradores chave nos processos de produção e expedição, a fim de introduzir o objetivo do projeto e da observação em chão de fábrica. Além disso, preparou-se um guião para servir como base à observação em chão de fábrica. Este guião foi constituído por perguntas gerais e específicas acerca dos processos, do funcionamento destes, do exercício de rastreabilidade e das limitações e dificuldades sentidas no quotidiano das operações. Um exemplo de guião pode ser encontrado na Figura B.1 do Anexo B, incluindo alguns exemplos de perguntas que foram utilizadas.

A observação em chão de fábrica traduziu-se, assim, num conjunto de entrevistas e sessões de demonstração das atividades diárias e dificuldades sentidas, com os colaboradores chave nos processos de produção e expedição e atividades respetivas. No final, foram realizadas algumas reuniões adicionais de esclarecimento, para levantar dúvidas ainda existentes, bem como uma reunião de *wrap-up* para sumarizar todos os entendimentos levantados e assegurar a sua fiabilidade e correspondência à realidade.

Assim, foi possível entender o modo de funcionamento da Empresa Cliente nestes processos, a forma como é realizado o exercício de rastreabilidade e os principais constrangimentos existentes na sua execução. Percebeu-se que a execução do exercício de rastreabilidade apresenta três origens: um problema sério que obriga a perceber a causa da contaminação do papel; frequência anual, conforme o procedimento estabelecido; ou uma auditoria realizada ou exigida por um cliente.

Os resultados detalhados dos processos com foco na rastreabilidade e os constrangimentos levantados serão explicados seguidamente.

4.3 Processos *as-is*

Tendo-se compreendido o estado dos processos de produção e expedição, procedeu-se à elaboração do catálogo de processos *as-is*, com o objetivo de sistematizar o conhecimento levantado. É

de reforçar que o levantamento e sistematização apenas teve como foco as atividades com impacto na rastreabilidade.

O racional do catálogo foi construído de acordo com um referencial que tem como objetivo padronizar a classificação dos processos e facilitar a sua compreensão: a *Process Classification Framework*® (PCF), da *American Productivity and Quality Center* (APQC). Assim, o método apresentado classifica os processos, dividindo-os em cinco níveis hierárquicos: nível um ou categoria, que representa o nível mais alto dos processos; nível dois ou grupo de processos ou macroprocesso, que representa o segundo nível mais alto de processos, relacionados entre si; nível três ou processo, ou seja, um conjunto de atividades estruturadas, realizadas segundo uma sequência definida e que se executam com uma regularidade definida; nível quatro ou atividades, que indica os eventos-chave para executar o processo; e nível cinco ou tarefa, o nível com mais detalhe de todos, que varia entre indústrias (APQC, 2023). Os cinco níveis encontram-se esquematizados na Figura C.1 do Anexo C.

No catálogo de processos *as-is*, serão especificados o nível dois (macroprocessos) e três (processos), sendo que o nível quatro (atividades) será, posteriormente, refletido no mapeamento de processos *to-be*. Além disso, o catálogo de processos *as-is* apresenta indicações dos sistemas de informação utilizados para cada processo.

É de mencionar que o catálogo foi realizado para todo o âmbito do projeto incluindo um total de quatro macroprocessos e treze processos. No âmbito da dissertação, o catálogo inclui dois macroprocessos denominados de “Produzir e transformar bobines” e “Expedir produto acabado”. O primeiro macroprocesso inclui: o processo de “Produzir jumbos e bobines de papel”, cujos sistemas associados são o *Distributed Control System* (DCS), o *Uniformance* e o sistema de gestão de produção própria da Empresa Cliente; o processo “Transformar bobines em resmas de papel”, realizado no sistema de gestão de produção próprio e o processo “Produzir e armazenar desperdício”, gerido em DCS e *Uniformance*. O segundo macroprocesso é constituído pelo processo “Expedir bobines e produto acabado”, gerido no sistema de produção próprio da empresa. Seguidamente, na Figura 4.1, encontra-se representado o catálogo de processos *as-is* descrito.²

ID Macroprocesso	Macroprocesso	ID Processo	Processo	Sistemas de informação
01	Produzir e transformar bobines	01.01	Produzir jumbos e bobines de papel	Sistema de gestão de produção, DCS, Uniformance
01	Produzir e transformar bobines	01.02	Transformar bobines em resmas de papel	Sistema de gestão de produção,
01	Produzir e transformar bobines	01.03	Produzir e armazenar desperdício	DCS, Uniformance
02	Expedir produto acabado	02.01	Expedir bobines e produto acabado	Sistema de gestão de produção

Figura 4.1: Catálogo de processos *as-is*

Cada um dos quatro processos serão seguidamente descritos, com foco nas atividades com impacto na rastreabilidade. Posteriormente, será descrito o modo como o exercício de rastreabilidade

²Por uma questão de simplificação de linguagem, ao longo da presente dissertação, os macroprocessos "Produzir e transformar bobines" e "Expedir produto acabado" são referidos como os processos de produção e expedição, respetivamente.

é executado.

Produzir jumbos e bobines de papel

O processo de produção de papel começa com a produção de jumbos, de acordo com uma ordem de produção. Para a formação dos jumbos é necessário um conjunto de materiais de *input*, como a matéria-prima inicial, que pode ser pasta líquida, fardos de pasta seca, ou material originário de desperdício. Estes dois últimos são desintegrados e transformados em pasta líquida. São ainda necessários produtos químicos e materiais subsidiários e de embalagem. A pasta líquida é preparada e, através de um conjunto de tratamentos técnicos, forma o papel. Periodicamente, acontece uma avaliação de materiais de *input* necessários. Caso ainda existam materiais presentes na linha de produção, derivados de ordens de produção anteriores, estes são utilizados, caso não existam, estes são requisitados ao armazém. Simultaneamente, existe um controlo das variáveis de produção e um controlo de qualidade (processo fora do âmbito de análise), de acordo com um plano de inspeção e ensaio.

Os jumbos consistem em rolos de papel gigantes, formados através do recolher do papel, num enrolador. O enrolamento e produção do jumbo origina, inevitavelmente, pedaços de desperdício de papel denominados quebras, que são enviadas para desperdício, pelo que se inicia, em paralelo, o processo de “Produzir e armazenar desperdício”, que será posteriormente descrito.

Após a produção do jumbo, é retirada uma amostra deste para que seja efetuado o controlo de qualidade. Seguidamente, o jumbo é consumido ou seja, é cortado em rolos mais pequenos, denominados bobines. Cada jumbo origina por norma dez bobines. Após a bobine ser formada, esta é submetida ao processo de controlo de qualidade, podendo ser rejeitada e enviada para desperdício, se o resultado da avaliação de qualidade for que esta não se encontra conforme. Se a bobine se encontrar conforme, é armazenada.

Transformar bobines em resmas de papel

Com o início de uma ordem de fabrico de transformação (também designada de *mill order*) e de acordo com o plano de produção, este processo inicia-se, através da requisição de bobines ao armazém. Após a requisição das bobines, dá-se a criação de um número de *load*. Um número de *load* consiste num número agregador de seis bobines que serão consumidas em conjunto. A requisição de materiais subsidiários e de embalagem dá-se apenas quando se constata, após a revisão periódica, que estes são necessários, de modo semelhante ao que acontece no processo anterior.

Tendo todos os materiais necessários, inicia-se o consumo das bobines e a produção de paletes de papel, isto é, produto acabado. De acordo com um plano de inspeção e ensaio, realiza-se, periodicamente, um controlo imediato na linha, que pode originar o envio de bobines em consumo para desperdício.

De seguida, tendo em conta que existe a produção de papel do tipo A ou B, o processo segue duas variantes diferentes. Caso o papel seja do tipo A, formam-se caixas constituídas por resmas

de papel e a paleta é filmada. Caso o papel seja do tipo B, o papel presente em paletes “Mãe” é cortado e forma paletes “Filha”, sendo depois enresmado. Por fim, as paletes são sujeitas ao controlo de qualidade e são rejeitadas em sistema e enviadas para desperdício, caso estejam não conformes, ou armazenadas, caso estejam conformes. Neste processo, podem ainda ocorrer situações de reproprocessamento, caso ocorra um problema esporádico, como por exemplo, a queda de uma caixa da paleta e esta necessite de ser substituída.

Quando uma *mil order* é dada como concluída, avalia-se se os materiais subsidiários, materiais de embalagem ou os produtos químicos utilizados serão utilizados na próxima *mil order* ou ordem de produção. Em caso afirmativo, estes permanecem na linha de produção, caso contrário, são devolvidos ao armazém.

Produzir e armazenar desperdício

O processo de produzir e armazenar desperdício inicia-se, ou com a receção de quebras de jumbos, que são armazenados em torres de quebras, ou com a receção de bobines ou paletes não conformes, que são armazenados no armazém de desperdício. Em ambos os casos, posteriormente, estes são incorporados na produção de preparação da pasta para nova produção de papel.

Expedir bobines e produto acabado

Este processo inicia-se com a receção de uma encomenda do cliente e análise deste pedido e, seguidamente, realiza-se a preparação da carga e dá-se baixa de *stock* do material a enviar. O camião é carregado e os documentos de transporte são preparados. Estes documentos consistem numa declaração de carga e numa *packing list*. Por fim, são expedidos os produtos que podem ser bobines ou paletes, por via terrestre ou marítima.

Rastreabilidade nos processos descritos

Em relação à forma como a rastreabilidade funciona, ao longo destes processos, identifica-se a existência de várias TRU's. Uma TRU, como descrito no Capítulo 2, consiste num objeto que é alvo do exercício de rastreabilidade (Olsen and Borit, 2018). Assim, no caso dos processos analisados, existem várias TRU's distintas que se movem ao longo dos processos e sofrem transformações. As TRU's que serão seguidamente identificadas e as relações entre estas, e destas com outros elementos existentes, encontram-se esquematizadas na Figura 4.2

Primeiramente têm-se como TRU os jumbos de papel. Quando o jumbo inicia a sua formação, é-lhe atribuído um lote, no sistema de gestão de produção. O lote de cada jumbo é único e a este encontram-se associados alguns atributos importantes, como o seu estado e peso. Quando um jumbo é enviado para desperdício, o seu estado é alterado, verificando-se que este foi rejeitado.

Quando um jumbo dá origem a uma bobine, a cada bobine é atribuído um lote, no sistema de gestão de produção. Esse lote encontra-se associado ao lote do jumbo que lhe deu origem, sendo possível realizar a ligação entre estas duas TRU's. O lote da bobine está associado a dados desta, como o seu estado e peso. Além disso, as bobines são identificadas fisicamente de duas formas:

através de um código de barras e através de um papel com alguma informação facilmente legível. Quando as bobines são requisitadas e consumidas, é-lhes atribuído um número de *load*, como referido anteriormente. Este número de *load* encontra-se associado à *mill order* em que a bobine foi usada, bem como à sua *finishing order* (agregação de *mill orders* por questões de gestão).

Quando uma paleta é formada, é-lhe atribuído um lote, no sistema de gestão de produção, e esta é marcada fisicamente, como acontece com a bobine. O lote da paleta tem associado o número de *load* que lhe deu origem, pelo que a paleta fica associada às bobines que a formaram. Caso o papel seja do tipo A, as caixas de papel de cada paleta possuem também um lote registado na sua embalagem, juntamente com a identificação da paleta, da *mill order* e do número de *load* a que estão associadas. Caso o papel seja do tipo B, o lote da resma apenas tem associado a *mill order* e o número de *load*.

Deste modo, conclui-se que, em geral, a rastreabilidade direta e inversa nos processos de produção e expedição é possível de se realizar, ao nível dos jumbos, bobines, paletes e caixas de resmas de papel tipo A. Tendo um jumbo, é possível saber a que bobines este dá origem, e tendo uma bobine, é possível saber que paletes e caixas de resmas de papel tipo A esta origina. Inversamente, tendo uma bobine vendida a um cliente, é possível saber que jumbo a originou, e tendo uma caixa de resmas de papel tipo A vendida a um cliente é possível identificar que paleta lhe deu origem, a bobine associada a essa paleta e o jumbo associado a essa bobine.

Apesar disto, na execução do exercício de rastreabilidade entre jumbos, bobines, paletes e caixas, existem constrangimentos que, em alguns casos, impedem a rastreabilidade exata e ágil entre estas TRU's. Estes constrangimentos serão apresentados na secção seguinte. Simultaneamente, será também explicado porque não é possível realizar o exercício de rastreabilidade exato referente à matéria-prima, produtos químicos, materiais subsidiários e de embalagem e resmas de papel tipo B, nos processos de produção e de expedição.

4.4 Identificação dos constrangimentos

Antes de serem descritos os constrangimentos específicos identificados, serão expostos alguns problemas que foram levantados numa perspetiva transversal ao exercício de rastreabilidade.

Primeiramente, constatou-se que os procedimentos de como efetuar o exercício de rastreabilidade se encontram documentados. Esta documentação foi criada recentemente e existe periodicidade de revisão da mesma. No entanto, pelo facto de este procedimento ser recente, ainda não se encontra totalmente inserido na cultura da empresa e nem sempre é cumprido.

Além disso, para a execução do exercício de rastreabilidade, é necessário consultar informação em diferentes sistemas de informação não integrados. Parte dos dados encontra-se registada manualmente, o que conduz à necessidade de consulta de documentos em papel para obtenção de dados e, conseqüentemente, torna o processo mais suscetível ao erro humano. Mesmo para informação que é registada digitalmente, este registo não é efetuado de forma inteiramente automática, sendo, por vezes, necessário realizar a inserção manual da informação no sistema, propensa a erros. Não existem procedimentos em vigor que assegurem a qualidade dos dados registados nos sistemas.

Existem ainda erros associados à falta de inserção de informação, devido à falta de cumprimento, por parte dos intervenientes, com essa responsabilidade. Por outro lado, principalmente a pesquisa manual, mas a própria pesquisa da informação nos sistemas é morosa e não é intuitiva, sendo necessário consultar vários intervenientes envolvidos, o que implica um tempo de resposta ainda mais longo. Por conseguinte, constata-se que não é possível extrair um relatório de rastreabilidade de um único sistema nem as informações necessárias estão centralizadas.

Como referido no Capítulo 2, um dos três componentes essenciais a um sistema de rastreabilidade é um mecanismo para registar toda a informação, referente a cada TRU, sendo este o componente mais importante (Olsen and Borit, 2018). Assim, percebe-se que, a forma como a Empresa Cliente efetua o exercício de rastreabilidade não cumpre este aspeto. Simultaneamente, apesar de ao nível dos jumbos, bobines, paletes e caixas de resmas de papel tipo A se verificar que existe um mecanismo para identificar cada TRU, bem como um mecanismo para identificar as relações entre TRU's, aquando das suas transformações, estes dois componentes, também essenciais a um sistema de rastreabilidade, não são transversais a todos produtos existentes. Além disso, mesmo ao nível dos jumbos, bobines, paletes e caixas de resmas de papel tipo A, existem lacunas que prejudicam a capacidade de efetuar o exercício de rastreabilidade de modo exato. Deste modo, seguidamente serão enumerados e descritos os constrangimentos específicos identificados, com impacto na rastreabilidade.³

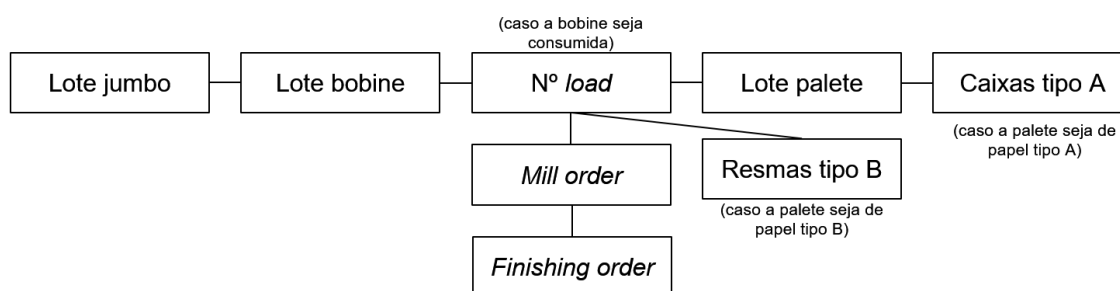


Figura 4.2: Esquematização das relações entre TRU's e elementos existentes

- **C.01. Ausência de gestão por lote de matéria-prima e subprodutos.** A matéria-prima e alguns subprodutos utilizados como *inputs* na produção do papel, quando são consumidos, não são registados ao lote. Por conseguinte, não é possível rastreá-los ou fazê-lo com exatidão, sendo necessário recorrer à consulta de documentos como faturas e a aproximações com base no horizonte temporal de receção dos materiais e da produção em que estes foram utilizados. No caso dos produtos químicos, no momento da receção, alguns apresentam o lote de fornecedor. Contudo, este lote registado na sua receção não é registado aquando do seu consumo no momento da produção. O mesmo acontece com os fardos de pasta seca, uma vez que, quando estes são desintegrados para a produção do jumbo, não é registado o lote que está a ser desintegrado. Em relação à pasta líquida, não existe, de todo, gestão por

³Identificados com “C” e respetivo número atribuído, de forma incremental

lote, nem aquando da receção nem aquando do consumo. Este constrangimento é inerente ao processo de “Produzir jumbos e bobines de papel”.

- **C.02. Inexistência de registo de consumo de materiais subsidiários e de embalagem, na ordem de produção ou na *mill order*:** A requisição realizada pela produção ou transformação ao armazém de materiais subsidiários e materiais de embalagem, fica apenas associada à máquina, e não à ordem de produção ou *mill order*, dificultando a rastreabilidade exata entre o material e o lote de produto acabado. Este constrangimento é inerente aos processos de “Produzir jumbos e bobines de papel” e de “Transformar bobines em produtos de papel”.
- **C.03. Ausência do registo do consumo de bobine quando esta é utilizada em mais do que uma *mill order*:** Quando uma bobine não é consumida na sua totalidade, numa dada *mill order*, esta é colocada junto à máquina para que seja consumida na *mill order* seguinte. Quando se dá o início de uma nova *mill order*, o seu consumo já não é registado. Desta forma, não é possível rastrear todas as *mill orders* em que uma bobine foi incorporada. Este constrangimento é inerente ao processo de “Transformar bobines em produtos de papel”.
- **C.04. Perda de rastreabilidade de bobines substituídas após o início da transformação:** Quando é identificado um problema no consumo de uma bobine, esta é removida da máquina e dissociada do número de *load* em sistema. Toda a produção realizada até àquele momento tem apenas associadas as bobines que foram consumidas do início ao fim. Este constrangimento é inerente ao processo de “Transformar bobines em produtos de papel”.
- **C.05. Perda de rastreabilidade de produto acabado, substituído numa paleta:** Existem situações em que, por diversos motivos, uma ou várias caixas de produto acabado, numa paleta de papel tipo A, têm de ser substituídas. Nestes casos, é necessário reprocessar as caixas, ou seja, retirar caixas que estejam em produção e juntá-las a essa paleta. Contudo, caso as novas caixas sejam referentes a outra *mill order*, o seu número de *load* não corresponde ao número de *load* das restantes caixas presentes na paleta. Quando for necessário rastrear todas as caixas desta paleta, a caixa que foi introduzida à *posteriori* não estará identificada como sendo de um número de *load* diferente. Este constrangimento é inerente ao processo de “Transformar bobines em produtos de papel”.
- **C.06. Perda de rastreabilidade da resma de papel do tipo B:** Cada resma de papel do tipo B é identificada por uma etiqueta que contém a informação do tipo de produto e da respetiva *mill order* e número de *load*. Esta informação não é suficiente, uma vez que não é possível identificar, concretamente, quais as paletes “Mãe” que deram origem a essa resma na *mill order*. Consequentemente, perde-se a rastreabilidade deste produto. Este constrangimento é inerente ao processo de “Transformar bobines em produtos de papel”.
- **C.07. Alteração da ordem das etiquetas, aquando da sua recolocação no processo de enresmagem, na produção de papel do tipo B:** A enresmagem obriga à remoção e recolocação manual da etiqueta da paleta, conduzindo à possibilidade de erros na identificação das

paletes. Este procedimento manual despoleta a possibilidade de ocorrerem trocas indevidas. Apesar de, à partida, o produto ser o mesmo e vir da mesma *mill order*, no caso de existir um defeito num dos produtos dessa *mill order*, não se consegue identificar qual das paletes é que saiu com o defeito. Este constrangimento é inerente ao processo de “Transformar bobines em produtos de papel”.

- **C.08. Impossibilidade de identificar o lote de materiais, aquando da respetiva devolução ao armazém:** Nos casos em que os materiais requisitados às linhas não são utilizados na totalidade, a sua devolução é realizada sempre de acordo com o último lote que foi fornecido à linha. Ainda que não seja esse o lote que está a ser devolvido, o sistema não permite escolher qual o lote, o que pode originar a perda da rastreabilidade desse material. Este constrangimento é inerente ao processo de “Transformar bobines em produtos de papel”.
- **C.09. Perda de rastreabilidade das quebras de um jumbo que são reintroduzidas no processo via desperdícios:** Da produção de um jumbo resulta uma percentagem de quebras que são armazenadas em torres de diferentes máquinas. Quando as quebras armazenadas na torre de uma máquina são transportadas para a torre de outra e, posteriormente, reintroduzidas no processo produtivo, é necessário garantir a rastreabilidade das quebras, visto que as mesmas saem fora do circuito de produção interna da máquina. Contudo, dado que a quantidade e destino das quebras não é registado, não há forma de garantir a sua rastreabilidade. Este constrangimento é inerente ao processo de “Produzir e armazenar desperdício”.
- **C.10. Impossibilidade de registo de material na desintegração:** No momento da desintegração, o sistema apenas possibilita o preenchimento da identificação do material para bobines não conformes. Contudo, o campo não é de preenchimento obrigatório e não possibilita o registo do lote das bobines. Para o caso de paletes não conformes, o sistema não permite o registo do código de material do mesmo. Desta forma, não é possível garantir a rastreabilidade, uma vez que não é possível consultar qual o material consumido na desintegração. Este constrangimento é inerente ao processo de “Produzir e armazenar desperdício”.
- **C11: Perda da rastreabilidade sobre o produto acabado expedido via navio:** Quando as bobines ou paletes são expedidas por via marítima, perde-se o controlo dos lotes originais destes, assim que os produtos entram na plataforma marítima. Isto acontece porque são gerados novos lotes comerciais na plataforma, que podem englobar diferentes lotes de diferentes tipos de produtos. No entanto, não é estabelecida a ligação entre o novo lote comercial e os lotes originais. Assim, para cada cliente que recebe bobines ou paletes, apenas é possível perceber quais os lotes comerciais que esse cliente recebeu, mas não é possível estabelecer a ligação com os lotes originais destes produtos. Esta situação leva à perda da visibilidade sobre o destino do produto acabado enviado a cada cliente. Este constrangimento é inerente ao processo de “Expedir bobines e produto acabado”.

Capítulo 5

Avaliação por *Process Mining*

Na fase anteriormente realizada, foi possível obter um entendimento profundo dos processos analisados, bem como identificar os principais constrangimentos para a rastreabilidade, através dos métodos tradicionais de BPM. No entanto, como referido por Van Eck et al. (2015), uma abordagem de *Process Mining* apresenta potencial para uma análise baseada em dados factuais que permita obter um diagnóstico eficiente aos processos reais e melhorá-los com base nisso.

Tendo em conta o potencial desta abordagem e com o objetivo de conseguir obter uma análise diferenciadora, *Process Mining* foi aplicada ao problema em estudo. Assim, neste capítulo, será descrita esta aplicação, através da descrição das etapas de planeamento, execução de *datasets*, processamento dos dados, integração dos dados, mineração e análise e avaliação. Serão apresentados os resultados obtidos, nomeadamente, os novos resultados e contributos, os resultados que trouxeram validação e robustez aos entendimentos anteriores, e os entendimentos que não foram possíveis de detetar com *Process Mining*. Com base nestes resultados obtidos, acerca do caso de estudo da Empresa Cliente, serão discutidos os contributos que a abordagem de *Process Mining* trouxe, em relação aos métodos tradicionais de BPM, bem como as limitações da mesma, sempre com foco na rastreabilidade.

5.1 Planeamento

Tendo a avaliação por *Process Mining* sido realidade com base na Metodologia *PM*², como descrito no Capítulo 3, a primeira etapa executada foi a de planeamento. Como referido anteriormente, o âmbito da análise e a ferramenta a utilizar foram definidos, aquando da fase de planeamento do projeto, no seu início. No entanto, esta etapa de planeamento específica de *Process Mining* revelou-se essencial para a construção das perguntas de investigação para a análise.

Uma boa prática adjacente à definição destas perguntas consiste em optar por perguntas mais abstratas e gerais, numa fase inicial, para que estas possam ser refinadas, ao longo da mineração e análise dos processos, originando descobertas mais concretas (Van Eck et al., 2015). Tendo esta

ideia por base e tendo como o objetivo final analisar a rastreabilidade nos processos de produção e expedição, definiram-se as seguintes duas perguntas de investigação iniciais:¹

- PI.1. "Como são os processos de produção e expedição?"
- PI.2. "Como funciona a rastreabilidade do produto nestes processos?"

Como definido anteriormente, a ferramenta utilizada foi a *Celonis*. Esta tem como base um ambiente *cloud*, dividido em diferentes funções (Celonis, 2023). Para a análise efetuada no projeto, foram utilizadas as secções *Data Integration* e *Studio*. A primeira secção conecta a ferramenta aos dados que serão utilizados e permite a construção de *Data Models*, que são a base para a análise. Por sua vez, a secção *Studio* é utilizada para a realização da análise em si, disponibilizando, entre inúmeras funcionalidades, a representação visual dos processos, a construção de *dashboards* e relatórios de avaliação. A linguagem utilizada pela ferramenta *Celonis* para representação dos processos é a DFG, que se destaca pela criação de uma visualização intuitiva e de múltiplas instâncias do processo (van der Aalst and Carmona, 2022).

Antes de se iniciar a realização da análise de *Process Mining* em *Celonis*, foi necessário preparar os dados, importá-los e configurá-los. Esta etapa de preparação dos dados será descrita na secção seguinte, incluindo a definição destes, a sua execução, processamento e integração.

5.2 Preparação dos dados

5.2.1 Definição do âmbito dos dados

O primeiro passo para a preparação dos dados foi a definição do seu âmbito, importante para assegurar a obtenção de um conjunto de dados alargado o suficiente para uma análise com descobertas fundamentadas e com representatividade de padrões e comportamentos. No entanto, simultaneamente, deve-se garantir que os dados apresentam um tamanho adequado que não dificulte a eficiência e desempenho da análise, quer por serem demasiado complexos, quer por apresentarem um tamanho excessivo que gere sobrecarga computacional.

Deste modo, começou-se por estabelecer a granularidade dos dados, definindo-se a inclusão de todos os eventos relacionados com jumbos, bobines e paletes e excluindo-se os eventos relacionados com matéria-prima (pasta líquida, fardos de pasta e material originário de desperdício), produtos químicos e materiais subsidiários e de embalagem. Esta escolha deveu-se ao facto de os jumbos, as bobines e as paletes serem considerados os produtos que apresentavam a qualidade de dados necessária para a análise.

Uma característica essencial numa abordagem de *Process Mining* é conseguir identificar uma chave distintiva, que identifique o *case ID*, neste caso o produto, à medida que este se desloca ao longo dos processos (Van Der Aalst, 2011). Tendo em consideração que o consumo de pasta líquida, de fardos de pasta, de material originário de desperdício e de produtos químicos não é gerido ao lote, nem registado digitalmente, constatou-se que estes não poderiam ser incluídos na análise devido à ausência destes dados. Por outro lado, em relação aos materiais subsidiários e de

¹Para facilitar a compreensão da análise iterativa efetuada, as perguntas de investigação foram numeradas e identificadas como PI e encontram-se listadas na Figura E.1 do Anexo E.

embalagem, apesar de estes serem geridos ao lote, o seu consumo é registado com associação às máquinas de produção, e não com associação aos restantes materiais. Assim, a sua análise não seria diretamente compatível com a análise aos jumbos, bobines e paletes, sendo necessária uma abordagem diferente e de acrescida complexidade.

Por conseguinte, escolheu-se a realização da análise para jumbos, bobines e paletes, considerando que estes dados teriam granularidade suficiente para a obtenção de conclusões relevantes e generalizáveis e que, posteriormente, a análise efetuada poderia ser reproduzida para os restantes materiais, num cenário em que a empresa apresentasse maior maturidade digital e registo adequado desses dados em sistema. Relativamente às caixas e resmas de papel, apesar de não existirem dados granulares o suficiente em relação aos seus eventos, estas apresentam um lote único, pelo que será possível inclui-las na análise, complementarmente.

Cada um dos três produtos definidos para o âmbito (jumbo, bobine e paleta) irá constituir um *event log*, ou seja, uma perspetiva de visualização e análise dos processos. A fim de ser possível analisar os três *event log* em simultâneo, bem como as dependências entre estes, será utilizada a funcionalidade *multi-event Log* da *Celonis* (Celonis, 2022).

Tendo a granularidade dos dados estipulada, definiu-se o horizonte temporal de análise como sendo de um mês, com 31 dias úteis produção, cada um com 24 horas. Além disso, definiu-se que a análise seria executada para uma das várias linhas de produção de papel.

Seguidamente, definiu-se os atributos que cada um dos *event logs* deveria apresentar, começando-se pela definição dos três atributos essenciais para uma análise de *Process Mining*: o *case ID*, sendo este o lote do jumbo, da bobine ou da paleta, as atividades (*activities*) porque cada um dos *case ID* fluiu e os tempos (*timestamps*) associados a cada *activity*. Depois, selecionou-se, para cada *event log*, os atributos complementares de cada *case ID*, existentes nos sistemas de informação da Empresa Cliente, e que seriam relevantes ou mesmo essenciais para a análise. Para o jumbos, os atributos definidos foram o seu peso final, o seu estado e a sua ordem de produção. No caso das bobines, estas têm como atributos o seu estado, o seu peso inicial, o seu peso final (após serem consumidas), bem como o número de *load*, a *mill order* e a *finishing order*, a elas associadas. Por sua vez, os atributos de uma paleta são o seu estado, o número de *load* e o tipo de papel. Definiu-se ainda atributos dos lotes de caixas e resmas de papel. Para paletes de papel tipo A, as resmas encontram-se organizadas em caixas, pelo que o atributo será o lote da caixa e não da resma.

Por fim, definiu-se qual seria a correlação entre os dados existentes. A cada lote de uma bobine, está associado o lote de um jumbo. Por sua vez, cada bobine tem um número de *load* e, a cada número de *load*, corresponde o lote de uma paleta. A cada paleta de papel tipo A estão associadas os lotes das caixas que esta origina. Os lotes das resmas de papel tipo B estão associados a *mill orders*. Além desta correlação, os três *event logs* encontram-se ligados pelas atividades comuns. Assim, o *event log* jumbo está correlacionado com o *event log* bobine pela atividade “Formar Bobine” e, por sua vez, o *event log* bobine está correlacionado com o *event log* paleta pela atividade “Iniciar Formação de Paletes”.

A definição detalhada do âmbito dos dados a analisar apenas foi possível pelo facto de existir um conhecimento profundo dos processos e sistemas da Empresa Cliente, obtido na fase anterior

do projeto. Assim, todos os atributos e correlações definidos descrevem a realidade do que está presente nos sistemas de informação da Empresa Cliente.

5.2.2 Execução dos *datasets*

Como descrito no Capítulo 3, dada a impossibilidade de extração dos dados dos sistemas da Empresa Cliente, no tempo útil de execução do projeto e da presente dissertação, procedeu-se à execução de *datasets*, com base no conhecimento adquirido sobre os registos de dados e com base em pressupostos definidos.

Reconheceu-se que ser necessário recorrer à criação de *datasets* condicionaria a realidade dos resultados obtidos e das conclusões a estes adjacentes. No entanto, dado o avanço do projeto e da preparação da avaliação de *Process Mining* e mantendo-se a perspetiva de que esta iria trazer contributos diferenciadores, avançou-se com a análise com base nestes dados, assumindo que os mesmos simulariam um cenário real. Assim, seria possível demonstrar o potencial desta análise à Empresa Cliente, mantendo-se a investigação teórica pretendida. Esta análise, posteriormente, poderia ser extrapolada para os dados reais da empresa. Assumindo este ponto de vista de simulação, iniciou-se a fase de criação dos *datasets* e continuou-se com as restantes etapas da análise, que serão continuamente descritas, sempre tendo por base esta perspetiva de simulação.

Para a execução dos *datasets*, recorreu-se à ferramenta *Microsoft Excel*, por apresentar as funcionalidades necessárias e por permitir a criação de um tipo de ficheiro fácil de integrar na ferramenta *Celonis*. Primeiramente, partindo-se do conhecimento do processo de que em 24 horas de produção, numa linha, se produzem dois jumbos, definiu-se a execução de dados relativos a 61 jumbos. Sabendo-se o número de bobines que cada jumbo forma, o número de paletes produzidas numa linha, por um conjunto de bobines, e o número de caixas e resmas em cada palete, foi possível dimensionar estas tabelas, de acordo com a realidade do processo.

Para a definição das atividades e respetivos *timestamps* de cada *event log*, considerou-se todos aqueles que se sabiam ser registados em sistema. Seguidamente, estudou-se a sequência lógica das diferentes atividades desde precedências, a caminhos mutuamente exclusivos ou atividades paralelas. A cada atividade atribuiu-se um *timestamp* que refletisse esta sequência lógica, bem como a sua duração média. A duração média de cada atividade era conhecida e a esta adicionou-se alguma variabilidade, em cada instância do processo, através de funções “*RAND*” do *Microsoft Excel*, para simular a realidade de atrasos ou adiantamentos nas diferentes atividades do processo. Esta variabilidade foi executada com base num pressuposto estabelecido de que o máximo atraso ou adiantamento de uma atividade seria de uma hora. Foi ainda introduzida variabilidade nas instâncias dos processos, de acordo com casos que se sabia existirem, como, por exemplo, erros na produção de bobines que originam a sua rejeição. Esta variabilidade foi conseguida, principalmente, recorrendo à funcionalidade VBA. Na Figura D.1 do Anexo D encontra-se um exemplo desta execução. Assim, assegurou-se a execução das *activity tables* para jumbos, bobines e paletes, que refletissem o fluxo expectável dos padrões existentes.

Para os atributos complementares dos *event logs*, procedeu-se à criação das *case tables*. Atributos como pesos foram baseados em dados reais conhecidos, introduzindo-se algum ruído e variabilidade. Por exemplo, sabia-se que o peso de um jumbo era cerca de 80000 kg, por isso, atribuiu-se, a cada jumbo, pesos variantes entre 70500 kg e 80500 kg. Os estados de cada produto (expedido, consumido, rejeitado, disponível ou em processo) foram atribuídos conforme a nomenclatura utilizada pela Empresa Cliente e de acordo com o fluxo das *activity tables*. Em relação às *mill orders* e *finishing orders*, não era conhecido, em concreto, o número de paletes ou bobines associadas a cada uma, pelo facto de este ser variável. Assim, considerando-se que tal não prejudicaria o propósito da análise, assumiu-se como pressuposto que cada *mill order* continha um a três números de *load* e cada *finishing order* continha dez a vinte mil *mill orders*.

Foi ainda necessário criar uma tabela adicional, para estabelecer a ligação entre as bobines e as paletes, pelo facto de estas apresentarem uma relação de muitos para muitos (N:M). Esta ligação foi estabelecida através do *número de load*.

Finalizado esta etapa, obtiveram-se nove tabelas, sendo três delas *activity tables* e cinco *case tables*. Um exemplo destas tabelas encontra-se presente na Figura D.3 do Anexo D.

5.2.3 Processamento dos dados

Atendendo a que os *datasets* foram executados no formato adequado de *event log* e com as características pretendidas para a análise, não foi necessário, na etapa de processamento dos mesmos, executar um trabalho neste sentido, nomeadamente, realizar atividades usuais como enriquecimento, filtragem ou agregação de *event logs*. Pelos mesmos motivos, a etapa de processamento não fez parte das iterações, tendo estas apenas começado aquando da mineração e análise.

Não obstante, tal como noutros campos da ciência que implicam trabalho com dados, também em *Process Mining* uma das características mais importantes dos *event logs* é que estes apresentem qualidade e completude, já que a ausência destas poderá originar resultados não fiáveis, perdendo-se o propósito da análise (Fox et al., 2018b). Deste modo, foi fundamental realizar uma revisão e limpeza dos dados, para garantir que não existam erros que pudessem comprometer a análise.

Para automatizar esta tarefa que seria mais demorada e propensa a erros em *Microsoft Excel*, recorreu-se à ferramenta *Alteryx Designer*®, especializada para este efeito. A limpeza de dados em *Alteryx Designer*® consistiu na utilização sequencial das seguintes funcionalidades disponibilizadas pela ferramenta: *Input Tool* para importar os dados de *Microsoft Excel*; *Select Tool* para selecionar as colunas relevantes, eliminando as que foram criadas para suporte à elaboração das outras, bem como para renomeá-las e uniformizá-las neste sentido; *Data Cleansing Tool* que permitiu colocar em branco todas as células com valores nulos ou não definidos, como por exemplo, bobines que ainda não tinham sido consumidas e, portanto, não tinham número de *load* definido. A *Data Cleansing* foi ainda utilizada para remover caracteres indevidos, como espaços duplicados ou letras maiúsculas ou minúsculas intencionais. Esta funcionalidade revelou-se especialmente importante, por exemplo, na limpeza das colunas das atividades, onde se detetou a existência deste tipo de erros que iriam levar a *Celonis* a ler duas atividades iguais, como sendo distintas, devido ao erro de digitação, comprometendo toda a análise. Por fim, foram utilizadas a *Formula*

Tool para garantir que todos os *timestamps* se encontravam no mesmo formato de data lido pela *Celonis* (dd/MM/yyyy HH:mm:ss) e a *Output Tool* para colocar os dados de novo em formato *Microsoft Excel*. Na Figura D.2 do Anexo D encontra-se representada uma esquematização do modelo criado em *Alteryx Designer®*, para o processamento dos dados descrito.

Tendo os dados processados, iniciou-se a interação com a *Celonis* para executar a integração destes. Para tal, como anteriormente referido, recorreu-se à secção de *Data Integration*.

5.2.4 Integração dos dados

Nesta etapa, uma vez que a *Celonis* possibilita a leitura direta de ficheiros do tipo “*xlsx*”, foi apenas necessário realizar o carregamento do ficheiro com as nove tabelas já processadas e definir os cabeçalhos de cada coluna, bem como o tipo de cada atributo. Um exemplo desta configuração pode ser consultado na Figura D.4 do Anexo D.

Seguidamente, foi necessário estabelecer um modelo relacional entre as tabelas importadas, através da representação e criação das ligações entre estas, que garantissem um formato adequado para a análise. O modelo relacional foi criado na funcionalidade *Data Model* da secção de *Data Integration*. Primeiro, foi necessário indicar as chaves estrangeiras de conexão entre as tabelas. As ligações estabelecidas foram entre as *activity tables* e respetivas *case tables*, bem como entre as *case tables* dos diferentes *event logs*, de acordo com as correlações entre estes existentes. Todas as tabelas apresentavam uma ligação de um para muitos (1:N), à exceção das tabelas “*Bobine Case*” e “*Paleta Case*” que apresentavam uma ligação de muitos para muitos (N:M). Assim, no caso destas, foi necessário utilizar uma tabela intermediária de junção “*JOINBP*”. Por fim, foi necessário indicar quais das tabelas eram *activity tables*, definindo-se, para cada uma, a coluna correspondente ao seu *case ID*, *activity* e *timestamp*.

O modelo relacional das nove tabelas encontra-se representado na Figura 5.1. Na Figura D.5 do Anexo D é possível consultar um exemplo da configuração de uma *activity table* e na Figura D.6 do Anexo D é possível consultar um exemplo de uma configuração de chave estrangeira.



Figura 5.1: Esquematização do modelo relacional com as respetivas chaves estrangeiras de cada tabela

Terminada esta configuração e, conseqüentemente, as etapas de preparação dos dados, iniciou-se a etapa de mineração e análise, seguida da avaliação, executadas iterativamente.

5.3 Mineração, análise e avaliação

As etapas de mineração, análise e avaliação serão exploradas na presente seção, na sequência lógica das iterações através das quais foram realizadas, partindo das perguntas de investigação inicialmente definidas, que foram sendo refinadas. Para cada iteração, ou seja, para cada pergunta de investigação que será descrita, a Figura E.2 até à Figura E.27 do Anexo E apresentam a visualização base da análise.

O ponto de partida foi a PI.1."Como são os processos de produção e expedição?". Ao criar uma visualização dos processos, na sua totalidade, para iniciar o estudo desta pergunta, percebeu-se a complexidade a ela inerente. Por conseguinte, entendeu-se que seria vantajoso, numa fase inicial, dividir a análise por *event logs* e quando se tivesse um maior conhecimento de cada perspectiva em separado, analisá-las em conjunto. Deste modo, surgiram as seguintes três perguntas de investigação:

- PI.1.1."Como é o processo de produção de jumbos?"
- PI.1.2."Como são os processos de produção e expedição de bobines?"
- PI.1.3."Como são os processos de produção e expedição de paletes?"

Cada uma destas três perguntas dizem respeito ao *event log* jumbo, bobine e paleta, respectivamente, pelo que a sua análise será detalhadamente descrita nas seções que se seguem.

5.3.1 *Event log jumbo*

A mineração e análise do *event log* jumbo iniciou-se através da criação e análise do *Variant Explorer*. O *Variant Explorer* é um componente inovador da *Celonis* que possibilita uma das características fundamentais de *Process Mining*, a representação visual do mapeamento do processo e respetivas variantes, com base em *Data Mining*. Desta forma, representa os diferentes caminhos que o processo segue, permitindo descobrir e analisar o fluxo do mesmo.

Como é possível observar na Figura 5.2, o processo em relação ao jumbo, apresentava um total de seis atividades e duas variantes, que incluíam um total de 61 casos, ou seja, 61 jumbos, e 32 ordens de produção, no horizonte temporal definido. Além disso, constatou-se que na variante mais comum do processo, que representava 59 jumbos e, portanto, 97% dos casos, o processo seguia a seguinte sequência de atividades: "Formar Jumbo"; "Enrolar Jumbo"; "Produzir e Armazenar Desperdício"; "Controlar Qualidade"; "Consumir Jumbo" e Formar Bobine".

Estando os dados em questão concordantes com o esperado do processo do jumbo, procedeu-se a uma nova iteração de análise com o objetivo de estudar a variante dois identificada, criando-se a pergunta de investigação PI.1.1.1."O que acontece na variante dois do processo de produção do jumbo e porquê?". Para realizar esta análise, utilizou-se a funcionalidade de filtragem disponibilizada pela *Celonis*, para filtrar os casos adjacentes a esta variante. Constatou-se que a mesma dizia

respeito a dois jumbos que não tinham sido submetidos ao controlo de qualidade. Avaliando-se a situação, uma vez que não acontece um jumbo não ser sujeito ao controlo de qualidade, percebeu-se que esta variante estava associada a uma falha de digitação ou registo da atividade em sistema.

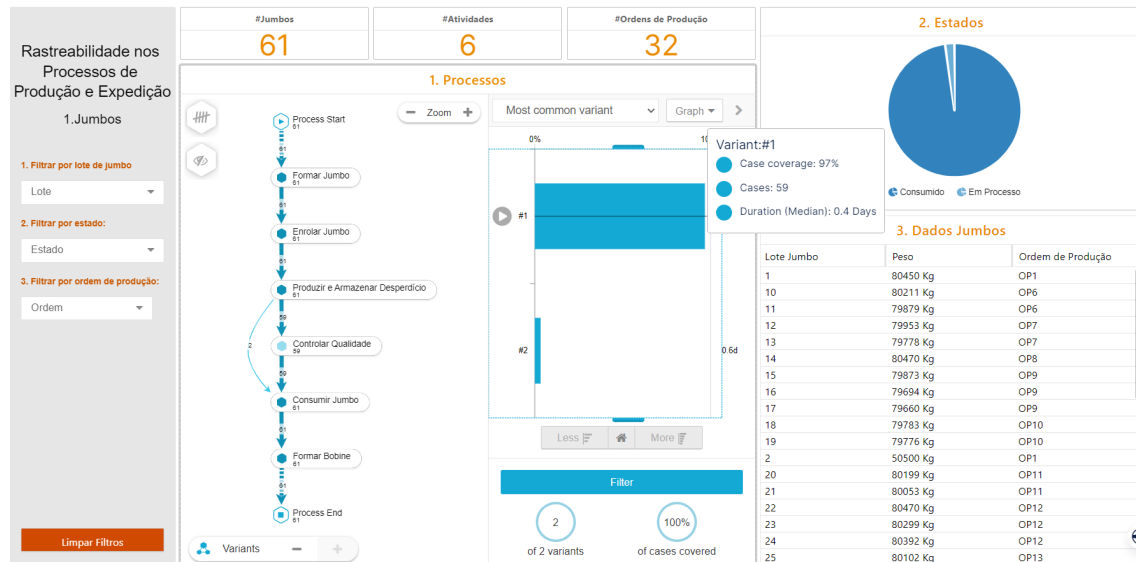


Figura 5.2: Dashboard do processo de produção do event log jumbo

5.3.2 Event log bobine

Seguidamente, iniciou-se a análise do *event log* bobine, para responder à questão PI.1.2. "Como são os processos de produção e expedição de bobines?".

Utilizando, novamente, o *Variant Explorer*, como ponto de partida, constatou-se a existência de 16 variantes de processo que totalizavam 11 atividades diferentes e 610 bobines, 57 números de *load*, 41 *mill orders* e 4 *finishing orders*. Tendo em conta que os dados em análise se encontravam restritos ao horizontal temporal de um mês, os mesmos incluíam casos de bobines que se encontravam a meio do seu processo de produção, mais concretamente 13 bobines. Este fator iria condicionar os resultados obtidos, uma vez que iria criar variantes apenas existentes como consequência da restrição temporal, que deixariam de existir, quando o respetivo *case ID* tivesse o seu processo finalizado. Assim, estas 13 bobines foram excluídas da análise o que reduziu o número de variantes para 14, obtendo-se o processo presente na Figura 5.3.

Tendo-se ainda um número de variantes elevado e complexo de analisar em conjunto e sabendo-se que os processos inerentes a uma bobine diferiam consoante esta tivesse sido consumida, expedida, rejeitada ou se encontrasse disponível em armazém, decidiu-se refinar a pergunta de investigação em estudo para as seguintes novas perguntas:

- PI.1.2.1. "Como é o processo de produção de bobines disponíveis em armazém?"
- PI.1.2.2. "Como são os processos de produção e expedição de bobines expedidas?"
- PI.1.2.3. "Como é o processo de produção de bobines consumidas?"
- PI.1.2.4. "Como é o processo de produção de bobines rejeitadas?"

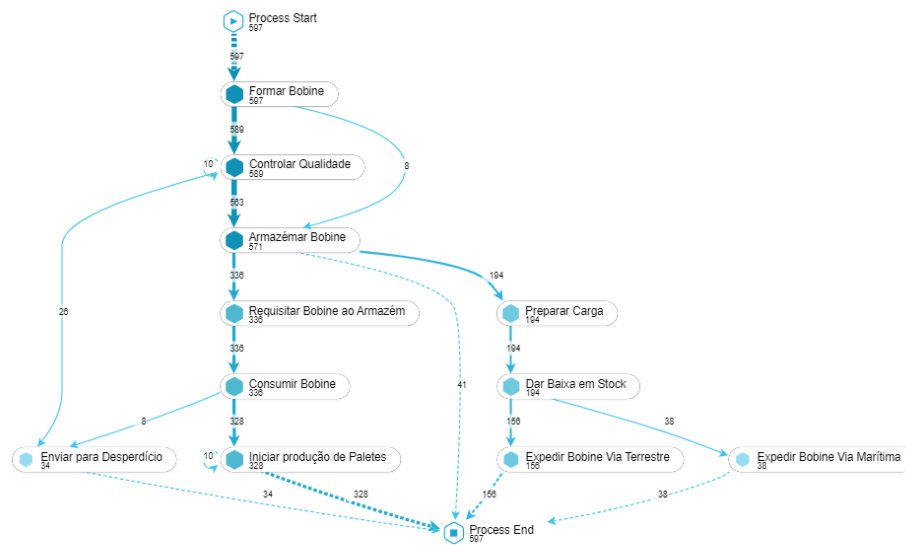


Figura 5.3: Processos de produção e expedição do *event log* bobines excluindo as bobines cujo estado é "em processo"

Assim, em primeira instância, aplicando-se a filtragem apenas a bobines disponíveis em armazém, para estudar a PI.1.2.1., obteve-se um processo apenas com uma variante, com 41 bobines e com as atividades expectáveis, seguindo as bobines o seguinte fluxo: “Formar Bobine”; “Controlar Qualidade”; “Armazenar Bobine”.

Avançou-se para a análise das bobines que foram expedidas (PI.1.2.2), onde se constatou existirem cinco variantes de processo. A primeira e segunda variante mais comuns consistiam, respetivamente, em 150 bobines que foram expedidas por via terrestre e 37 bobines que foram expedidas por via marítima, tendo estas seguido um processo sem outras variantes. Por sua vez, as variantes três e cinco englobavam quatro bobines que não foram sujeitas ao controlo de qualidade o que, tal como no caso dos jumbos, representava um erro de digitação em sistema. Por fim, a variante quatro denotava três bobines nas quais o controlo de qualidade ocorreu duplicadamente. Esta situação representava uma ineficiência no processo, no entanto, não demonstrava impacto a nível da rastreabilidade. Como tal, considerou-se que este problema estaria relacionado com questões de eficiência de processo e, consequentemente, fora do âmbito de análise, pelo que não foi estudado.

Por outro lado, observando-se o fluxo do processo de uma bobine expedida, percebeu-se que o último evento registado dizia respeito à sua expedição via terrestre ou marítima. No caso da expedição via marítima, constatou-se que este evento era registado associado ao lote original da bobine. Sabendo-se, pelo conhecimento do processo que, aquando da expedição via marítima, são gerados novos lotes comerciais para as bobines, comprovou-se, pela visualização dos processos, que estes lotes não se encontravam registados em sistema nem associados aos lotes originais ou a qualquer atividade ou momento temporal. Após confirmação de que este procedimento também não acontecia de modo manual, corroborou-se o C.11.

Com base nesta descoberta, considerou-se relevante enfatizar a análise desses casos e, portanto, criar a pergunta de investigação PI.1.2.2.1. "Qual o rácio de bobines expedidas que são expedidas via marítima e quais são?". Para calcular este rácio, criou-se um KPI. Apesar de a ferramenta *Celonis* permitir a criação automática de alguns KPI's mais simples, para KPI's mais complexos é necessário recorrer-se à sua programação através da linguagem *Profile Query Language* (PQL). Através da análise deste KPI, constatou-se que 19,59% das bobines expedidas eram expedidas via marítima. Filtrando o processo por bobines que fluíam na atividade "Expedir bobine por via marítima", foi possível identificar os lotes das bobines que se encontravam nesta condição e, consequentemente perceber quais as bobines cuja rastreabilidade do lote era perdida, quando estas integravam o lote comercial do navio.

Procedeu-se, à análise dos processos para bobines que eram consumidas para formar paletes (PI.1.2.3). Obteve-se um total de quatro variantes de processo, sendo a variante mais comum inerente a 309 bobines que seguiam as seguintes atividades: "Formar Bobine"; "Controlar Qualidade"; "Armazenar Bobine"; "Requisitar Bobine ao Armazém"; "Consumir Bobine"; "Iniciar a Formação de Pallet". A variante seguinte consistia em dez bobines em que ocorria a duplicação da atividade "Início da Formação das Paletes". Avaliando-se este problema, constatou-se que, de acordo com o entendimento do processo, isto se verificava quando um defeito do papel das bobines que estavam a formar a pallet obrigava à sua retirada da linha de transformação e, portanto, obrigava a recomençar esta etapa. Verificou-se que este fator apenas teria impacto ao nível de eficiência do processo, não afetando a rastreabilidade. As restantes duas variantes representavam bobines que apresentavam ausência ou duplicação da atividade de controlo de qualidade, problema que já tinha sido endereçado.

Por fim, analisaram-se as bobines rejeitadas, obtendo-se quatro variantes distintas referentes a 34 bobines. Em três destas variantes, constatou-se que a bobine era rejeitada após o controlo de qualidade o que, apesar de demonstrar uma ineficiência no processo, representava o esperado, uma vez que, por vezes, são produzidas bobines não conformes detetadas nesta etapa de controlo de qualidade. No entanto, na variante dois, constatou-se que as bobines eram enviadas para desperdício após o seu consumo. Assim, surgiu a necessidade de explorar esta variante com mais pormenor, a fim de entender a sua causa raiz, abrindo-se a questão PI.1.2.4.1 "O que acontece às bobines que são enviadas para desperdício após o seu consumo?". Filtrando-se por essa variante, analisou-se que existiam oito bobines nessa condição, percebendo-se quais eram os seus IDs. Além disso, percebeu-se que estas não se encontravam registadas como associadas a um número de *load*, nem a uma *mill order* ou *finishing order*. Ao atentar nos pesos destas bobines, verificou-se que o seu peso final não era nulo, mas também não era igual ao seu peso inicial. Constatou-se, portanto, que estas bobines tinham sido consumidas, mas não na sua totalidade.

Para corroborar esta ideia, decidiu-se analisar a questão de investigação em estudo através de uma perspetiva temporal, selecionando-se, para este efeito, a opção de análise temporal no *Variant Explorer*. Detetou-se que, para estas bobines, o tempo da atividade "Consumir Bobine", até ao seu envio para desperdício era, em média, de três horas, enquanto que, nas restantes variantes de processo, o tempo médio de consumo das bobines era de cinco horas. Esta análise temporal executada

reforçou a ideia de que as bobines, nesta situação, não foram consumidas na sua totalidade.

Deste modo, avaliando-se as descobertas encontradas, percebeu-se que esta variante representava o caso referido no C.04, em que, quando há um problema aquando do consumo de uma bobine, esta é removida da produção e dissociada do número de *load*. Verificou-se que, não é possível saber a qual *número de load* essas bobines pertenceram, perdendo-se a rastreabilidade das mesmas.

No final da análise das variantes e da aplicação das técnicas de *Discovery* ao *event log* bobines, constatou-se que, em nenhum caso, a atividade "Consumir Bobine" existia em duplicado. Apesar de, por norma, atividades duplicadas serem sinónimo de ineficiências no processo, neste caso específico, indicaria que a bobine estaria a ser consumida em dois momentos temporais distintos e, portanto, em duas *mill orders*, como era sabido acontecer. Para analisar este possível problema, estabeleceu-se uma nova iteração através da pergunta PI.1.2.5. "Uma bobine é consumida em mais do que uma *mill order*". Para esta análise, realizou-se uma contagem do número de *mill orders* associados a cada lote de bobine, constatando-se que este era sempre um ou nulo. Além disso, para corroborar que a análise das variantes tinha sido efetuada corretamente, filtrou-se o processo pelos casos que fluíam duas vezes na atividade "Consumir Bobine", constatando-se que o valor era nulo. Por fim, atentou-se no peso final destas bobines. Para tal, realizou-se uma filtragem para bobines registadas como consumidas e cujo peso final não era nulo. Concluiu-se que existiam 62 bobines nessas condições. Deste modo, corroborou-se o constrangimento C.03, quantificando-se o número de vezes que este acontecia, bem como se identificou quais as bobines que apresentam esta falha da rastreabilidade.

Dada a complexidade da análise adjacente aos processos e diferentes variantes estudadas do *event log* bobine, considerou-se pertinente complementar as técnicas de *Discovery* com a técnica de *Conformance*. O intuito da aplicação desta técnica passou por, de uma forma automatizada e visualmente explícita, identificar os casos concordantes com as variantes esperadas no processo, bem como detetar, localizar e medir as não conformidades. Assim, surgiu a pergunta de investigação PI.1.2.6. "Qual o nível de conformidade nos processos de produção e expedição de bobines?".

Para esta análise de conformidade, recorreu-se à funcionalidade que a *Celonis*, disponibiliza para esta técnica, e obteve-se um relatório de conformidade. É importante mencionar que a *Celonis* permite a escolha daquelas que são as variantes esperadas do processo e permite ainda mapear as variantes escolhida em notação BPMN.2.0, procedimento que foi também realizado. Assim, definiu-se como as variantes esperadas aquelas em que a bobine é expedida por via marítima, expedida por via terrestre, consumida ou armazenada.

Os resultados obtidos evidenciaram a existência de 90% de casos conformes, ou seja, 90% das bobines seguiam o caminho esperado e, consequentemente, 10% de não conformidades (60 casos). Esta funcionalidade permitiu ainda identificar, automaticamente, a quantidade e o tipo de violações nos processos. Por exemplo, o envio para desperdício foi identificado como sendo uma atividade indesejável e como ocorrendo 34 vezes, correspondendo a 6% dos casos. Identificaram-se quatro violações e validou-se o seu sentido no contexto dos processos conhecidos. Verificando-se que as violações encontradas corroboravam e suportavam o entendimento dos processos descobertos até

ao momento, iniciou-se uma nova iteração, desta vez para o *event log* paletes com a PI.1.3."Como são os processos de produção e expedição de paletes?".

5.3.3 Event log paletes

A análise da pergunta de investigação PI.1.3."Como são os processos de produção e expedição de paletes?"seguiu um procedimento semelhante ao utilizado nos dois *event logs* anteriores, começando-se pela descoberta do processo através do *Variant Explorer*. Numa primeira visualização, verificou-se a existência de 19 variantes de processo. No entanto, assim como realizado na análise do *event log* bobines, foram retiradas da análise todas as paletes que estavam a meio do processo, e que poderiam comprometer os resultados. Com esta filtragem, obteve-se um total de doze variantes correspondentes a 1303 paletes e cujo processo se encontra representado na Figura 5.4.

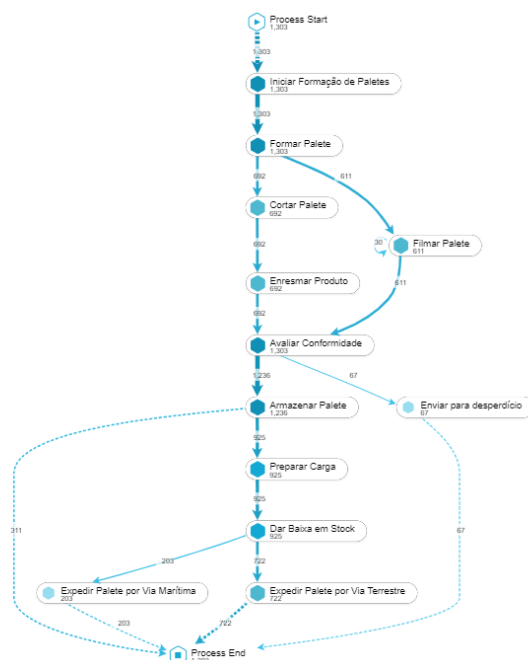


Figura 5.4: Processos de produção e expedição do *event log* paletes excluindo as paletes cujo estado é "em processo"

Tendo em consideração que o processo produtivo das paletes difere, dependendo se se trata de uma paletes com papel do tipo A ou do tipo B, foi necessário refinar a pergunta de investigação, para realizar esta análise separadamente. Assim, foram criadas duas novas perguntas de investigação:

- PI.1.3.1."Como são os processos de produção e expedição de paletes de papel tipo A?"
- PI.1.3.2."Como são os processos de produção e expedição de paletes de papel tipo B?"

Analisando, em primeiro lugar, as paletes de papel tipo A, descobriu-se a existência de oito variantes de processo distintas. Na variante mais comum, a paletes seguia o processo correspondente às seguintes atividades: "Iniciar Formação da Paletes", "Formar Paletes", "Filar Paletes", "Avaliar Conformidade", "Armazenar Paletes", "Preparar Carga", "Dar Baixa em Stock" e "Expedir Paletes

por Via Terrestre". A segunda variante dizia respeito às paletes que ainda não tinha sido expedidas e que, portanto, terminavam o seu processo na atividade "Armazenar Pallet". Por sua vez, a variante três correspondia às paletes expedidas por via marítima. A análise relativa a paletes expedidas por via marítima, à semelhança das bobines, é relevante, devido ao problema identificado no C.11. No entanto, esta análise foi realizada, posteriormente, para paletes dos dois tipos de papel, tendo-se avançado para a análise da quarta variante. A quarta variante dizia respeito às paletes que eram enviadas para desperdício. Constatou-se a existência de 29 paletes do tipo A nessa situação. Por fim, verificou-se que as quatro variantes restantes diziam respeito a casos em que a atividade "Filmar Pallet" ocorria em duplicado, quer para casos de paletes armazenadas, enviadas para desperdício, expedidas por via terrestre ou expedidas por via marítima.

O facto de uma pallet precisar de ser filmada duas vezes foi discutido com a Empresa Cliente. Percebeu-se que esta situação ocorre em casos em que há reproprocessamento de uma pallet, conforme descrito no constrangimento C.05. Devido às implicações dessa situação na rastreabilidade, criou-se uma nova pergunta de investigação para analisar este caso, a PI.1.3.1.1. "O que acontece com as paletes que são filmadas duas vezes?". Ao filtrar por estas variantes, percebeu-se que existiam 30 paletes nesta situação, incluindo um total de 1620 caixas. De seguida, criou-se um KPI para verificar quantos números de *load* cada pallet que foi reproprocessada tinha atribuídos. Constatou-se que todas as paletes possuíam apenas um número de *load* atribuído, comprovando-se o constrangimento C.05 de que, em casos de reproprocessamento de caixas, não são associadas a elas caixas provenientes de outros números de *load*.

Prosseguiu-se para a análise da pergunta PI.1.3.2. "Como funciona o processo das paletes de papel tipo B?", filtrando-se as paletes por esse atributo e obtendo-se um total de 692 paletes e quatro variantes de processo. As três primeiras variantes correspondiam à expedição por via terrestre, a paletes em armazenamento e à expedição por via marítima, respetivamente. Por sua vez, a quarta variante dizia respeito a 35 paletes enviadas para desperdício após a avaliação de conformidade.

Tendo a análise das paletes do tipo B concluída, voltou-se ao estudo do problema da expedição via marítima, criando-se a questão PI.1.3.3. "Qual o rácio de paletes expedidas que são expedidas via marítima e quais são?". Ao filtrar para ambos os tipos de paletes que fluíam por esta atividade, verificou-se a existência de 203 paletes nesta situação, sendo 98 desta do tipo A e 105 do tipo B. Concluiu-se que 21,95% das paletes eram expedidas por via marítima. Assim, foi possível quantificar e identificar quais as paletes cuja rastreabilidade era perdida devido à expedição marítima.

Como última iteração relativa ao *event log* paletes, realizou-se uma análise de conformidade, de modo semelhante ao que foi efetuado com as bobines, através de pergunta de investigação PI.1.3.4. "Qual o nível de conformidade nos processos de produção e expedição de bobines?". Analisando o relatório obtido constatou-se a existência de 93% de casos conformes e, consequentemente 7% de não conformidades, expressas através de dois tipos de violações (o envio para desperdício e a duplicação da atividade "Filmar Pallet").

Finalizada a análise relativa ao processo do *event log* paletes, conseguiu-se perceber com detalhe como funcionam os processos de produção e expedição, para cada *event log* e, consequen-

temente, para os *event logs* como um todo. Assim, através de sucessivas iterações e perguntas refinadas conseguiu-se dar resposta à pergunta inicial PI.1. "Como são os processos de produção e expedição?". Concluída esta etapa, prosseguiu-se para a análise da PI.2. "Como funciona a rastreabilidade do produto nestes processos?", que será descrita na secção seguinte.

5.3.4 Rastreabilidade nos processos

Nesta etapa que visava abordar a PI.2, existindo já um conhecimento profundo de cada *event log*, escolheu-se realizar a análise da rastreabilidade dos processos através de uma perspetiva comum aos três *event logs*. Assim, através de uma análise *multi-event log*, criou-se uma visualização do processo total e respetivos KPI's importantes, bem como uma visualização de tabelas extensivas com a indicação de todos os lotes de produtos, *mill orders*, *finishing orders* e de números de *load* existentes, no horizonte temporal em estudo. Para facilitar a análise, refinou-se a PI.2 nas seguintes quatro questões:

- PI.2.1. "Como funciona a rastreabilidade direta de jumbos, bobines e paletes nos processos?"
- PI.2.2. "Como funciona a rastreabilidade inversa de jumbos, bobines e paletes nos processos?"
- PI.2.3. "Como funciona a rastreabilidade das caixas de papel tipo A?"
- PI.2.4. "Como funciona a rastreabilidade das resmas de papel tipo B?"

Iniciando a descoberta da PI.2.1., relativa à rastreabilidade direta, primeiramente, filtrou-se o processo através de um lote de um jumbo. É de destacar que a análise que será descrita foi executada para uma amostra aleatoriamente escolhida de casos de jumbos, bobines e paletes, que pudesse ser generalizada para todos os casos. A título exemplificativo, na presente dissertação, será descrita a análise apenas para um caso.

Deste modo, filtrou-se o processo, por exemplo, pelo lote do jumbo 1. Em primeiro lugar, analisando os KPI's escolhidos, percebeu-se que este jumbo originou dez bobines, cem paletes, quatro números de *load* distintos, três *mill orders* e uma *finishing order*. Seguidamente, foi possível perceber, com detalhe, os processos que este jumbo seguiu, bem como os processos que as dez bobines e as cem paletes, a ele associadas, seguiram. Neste caso, o jumbo em estudo seguiu a variante mais comum e nove bobines foram utilizadas para produzir paletes, não tendo nenhuma sido expedida. No entanto, uma das bobines foi enviada para desperdício. Em relação às 100 paletes, constatou-se que 50 paletes formaram caixas do tipo A e outras 50 formaram resmas do tipo B. 7 destas paletes foram enviadas para desperdícios e 97 foram expedidas, 77 por via terrestre e 16 por via marítima. Além disso, duas destas paletes sofreram reprocessamento.

Adicionalmente, conseguiu-se perceber, com exatidão, os lotes de bobines e paletes que este jumbo formou, bem como os números de *load*, as *mill orders* e as *finishing orders* associadas.

Seguindo para a PI.2.2., relativa à rastreabilidade inversa, foi executada a filtragem pelo lote da paleta 1. Percebeu-se que esta paleta estava associada a uma *mill order*, a uma *finishing order*, a um jumbo e a seis bobines, correspondentes a um número de *load*. Analisou-se, de igual modo, que esta paleta seguia a variante mais comum do processo, sendo expedida por via terrestre. Também as seis bobines e o jumbo que a originaram seguiam a variante mais comum. À semelhança do que

foi observado na rastreabilidade direta, foi possível visualizar os lotes das bobines que originaram essa paleta e o lote do jumbo que, por sua vez, deu origem a essas bobines.

Estas duas questões de investigação, seguidamente avaliadas e validadas com a Empresa Cliente, corroboraram que é possível garantir a rastreabilidade direta e inversa entre jumbos, bobines e paletes, através dos dados registados em sistema, salvo constrangimentos existentes, identificados e já explorados, como é o caso do reprocessamento das paletes. Por exemplo, neste caso específico em análise, não foi possível perceber se a paleta em questão, aquando do seu reprocessamento, passou a conter papel originário de outras bobines ou de outro jumbo.

Em relação à PI.2.3. "Como funciona a rastreabilidade das caixas de papel tipo A?", uma vez que estas se encontravam associadas ao lote da paleta que lhes deu origem, constatou-se que, tanto a rastreabilidade direta, como a rastreabilidade inversa, eram possíveis de efetuar, de forma semelhante ao que foi executado na iteração anterior. Filtrando-se, por exemplo, pelo lote do jumbo 10, percebeu-se que este originou dez bobines, 125 paletes e 3000 caixas de papel do tipo A, tendo sido possível identificar ao certo quais os lotes de cada produto. O mesmo se verificou para a rastreabilidade inversa das caixas de papel tipo A. Filtrando-se, por exemplo, pela caixa com o lote 1, percebeu-se que esta teve origem na paleta com o lote 81, na *mill order* 1001, na *finishing order* FOA e em seis bobines e três jumbos distintos.

Para se analisar a PI.2.4., filtrou-se por uma resma de papel tipo B, por exemplo, a 1. Percebeu-se que, ao realizar esta filtragem, era possível rastrear qual o número de *load*, a *mill order* e a *finishing order* que deram origem a essa resma. No entanto, a esta resma encontrava-se atribuído um total de 25 paletes, não sendo possível rastrear com exatidão quais as paletes, as bobines e os jumbos que originaram esta resma. Foi apenas possível obter esta informação, por excesso, identificando-se quais os 25 lotes de paletes que poderiam estar na origem da resma. Da mesma forma, avaliando-se na perspetiva da rastreabilidade direta, filtrando pelo lote de um jumbo apenas se conseguiu obter, por excesso, todas as resmas de todas as *mill orders* a que esse jumbo deu origem, sendo, por exemplo, no caso do jumbo 1, 4500 resmas. Avaliando esta descoberta, verificou-se que a mesma corrobora o C.06, que evidencia a perda de rastreabilidade da resma de papel do tipo B.

Terminou-se a avaliação por *Process Mining* com a entrega da análise e validação final dos resultados e entendimentos obtidos em conjunto com a Empresa Cliente. Com base nos entendimentos e constrangimentos identificados, ao longo das duas fases de avaliação, foram identificadas e exploradas as recomendações de melhoria necessárias para dar resposta aos problemas levantados. Estas recomendações foram sistematizadas num relatório entregue à Empresa Cliente e serão descritas no capítulo seguinte. Procedeu-se, ao início da fase de desenho, que será descrita no capítulo seguinte. Antes de se iniciar este capítulo, será discutido, na secção seguinte, os contributos e limitações que a abordagem de *Process Mining* trouxe para o problema em estudo, nomeadamente numa perspetiva comparativa em relação aos métodos tradicionais de BPM.

5.4 Discussão

Finalizada a abordagem de *Process Mining*, percebeu-se que os resultados obtidos apresentavam tanto semelhanças, como aspetos distintos, em relação aos resultados da fase de avaliação por métodos tradicionais de BPM. Deste modo, nesta secção, serão apresentadas e discutidas essas semelhanças e diferenças, bem como os contributos e limitações que foram possíveis verificar, que uma abordagem de *Process Mining* apresenta para a análise de processos e rastreabilidade, através da aplicabilidade a este caso de estudo prático.

É importante destacar que o facto de a análise ter sido efetuada com base na execução de *datasets* representativos da realidade constituiu uma limitação à mesma e aos seus resultados. Apesar de os *datasets* terem sido construídos com conhecimento existente sobre os processos e a informação presente nos sistemas de informação, os mesmos não possuem uma relação e representatividade exata das variantes dos processos nem os resultados quantitativos apresentados correspondem aos reais. Assim, os resultados obtidos devem ser considerados de um ponto de vista de simulação, no entanto, as principais conclusões são extrapoláveis para o que aconteceria numa situação real. Por outro lado, o trabalho foi realizado de forma a que seja possível, no futuro, reproduzir a sua execução aplicada aos dados reais, na medida em que as etapas e procedimentos serão os mesmos, sendo apenas necessário investir no tratamento dos dados extraídos, de modo a transformá-los no formato adequado à análise.

Como primeira consideração, no que diz respeito ao levantamento dos processos *as-is* com foco na rastreabilidade, verificou-se que, seguindo os métodos tradicionais de BPM, foi necessário realizar um processo de observação ao chão de fábrica, extensivo e demorado que cobrisse todas as etapas dos processos. Estes processos revelaram-se complexos, nomeadamente, pela especificidade técnicas inerentes à indústria papeleira. Foi, de igual modo, necessário analisar documentos e fluxogramas e executar entrevistas e sessões de esclarecimento com diferentes *stakeholders*. Além disso, por vezes, a informação comunicada e percebida de um modo subjetivo apresentava lacunas. Assim, foi necessário, iterativamente, construir este conhecimento de um processo complexo, nunca sendo possível, de um modo objetivo, validar que todos os entendimentos se encontravam precisamente correspondentes à realidade da Empresa Cliente.

Por sua vez, a abordagem de *Process Mining* com recurso à ferramenta *Celonis* permitiu obter uma visualização intuitiva e precisa dos processos existentes na empresa, principalmente através da perspetiva de controlo de fluxo. Além disso, permitiu a deteção de algumas ineficiências nos processos como por exemplo, a duplicação de certas atividades, mesmo quando não se estava a atentar ou a conduzir a análise neste caminho, por se encontrar fora do âmbito da rastreabilidade. Por outro lado, mesmo tendo-se verificado que as etapas relacionadas com o tratamento dos dados foram morosas, quando estas foram concluídas, a capacidade de execução da ferramenta *Celonis* e a facilidade de análise dos processos na mesma permitiram conhecer os processos num tempo de análise reduzido, em comparação com o que foi necessário na fase anterior.

Adicionalmente, a funcionalidade de *Conformance* permitiu extrair, automaticamente, uma modelação dos processos *as-is* na notação BPMN 2.0. Esta modelação demonstrou-se flexível,

sendo possível escolher quais as variantes do processo identificadas que se pretendia incluir bem como realizar alterações manuais, se necessário. A modelação ao nível quatro dos processos *as-is* tinha sido excluída do âmbito do projeto, devido a restrições temporais, e por esta ser reconhecida como uma tarefa morosa, quando realizada na ferramenta *Microsoft Visio*. Assim, acabou por ser possível realizar esta modelação num curto período de tempo, e com menos esforço alocado à mesma, o que possibilitou concentrar os esforços na compreensão dos processos e mesmo assim, obter a modelação nesta notação padronizada e universal. É de mencionar que as atividades presentes nesta modelação apenas correspondem àquelas que apresentam um registo em sistema, não sendo assim, efetuado, um mapeamento extensivo de todo o processo em estudo. Esta modelação encontra-se presente na Figura E.26 e na Figura E.27 do Anexo E.

Não obstante as vantagens inerentes à abordagem de *Process Mining* para a análise dos processos apresentadas, é necessário ter em consideração que esta abordagem não permitiu a descoberta, análise e modelação dos processos produtivos e de expedição na sua totalidade. Pelo facto de a informação da Empresa Cliente ainda não se encontrar totalmente digitalizada e integrada, percebeu-se a ausência de dados em sistema relativos aos produtos pasta líquida, pasta seca, produtos químicos e materiais de desperdício. Assim, apenas foi possível analisar os processos a partir do momento temporal em que o jumbo começa a ser formado, por este ser o primeiro produto cujos dados asseguram os três atributos essenciais a uma análise de *Process Mining*. Deste modo, percebe-se que, para processos ou etapas que ainda apresentem uma maturidade digital reduzida e ausência ou limitação de registos digitais, *Process Mining* não é capaz de capturar a informação dos processos, e os métodos tradicionais de BPM necessitam de ser utilizados.

Relativamente aos resultados obtidos sobre constrangimentos com impacto na rastreabilidade, a Tabela 5.1, seguidamente apresentada, resume a contribuição da abordagem de *Process Mining* para o levantamento dos mesmos. Note-se que dois constrangimentos foram excluídos do âmbito da análise, por serem inerentes a dados excluídos, como explicado na etapa de definição dos dados.

Primeiramente, verificou-se que cinco constrangimentos identificados na avaliação por métodos tradicionais de BPM, foram também identificados através da avaliação por *Process Mining*. Para estes constrangimentos, a abordagem de *Process Mining* provou trazer robustez e validação ao que foi percebido na fase anterior do projeto. Nestes casos, esta abordagem permitiu ainda a obtenção de contributos diferenciadores para análise, pois permitiu medir o impacto quantitativo destes constrangimentos. Por exemplo, em relação aos constrangimentos C.04, não só foi possível perceber que há uma perda de rastreabilidade de bobines substituídas após o início da transformação, mas, sobretudo, foi possível quantificar quantas vezes é que o constrangimento em questão aconteceu no horizonte temporal definido. O mesmo se verificou para os restantes quatro constrangimentos identificados, corroborados e quantificados. Assim, esta análise quantitativa que a abordagem de *Process Mining* apresentou de diferente, permitiu identificar os constrangimentos com a objetividade e exatidão e obter uma base sólida para a tomada de decisão mais informada e eficaz, comparativamente aos resultados mais subjetivos de uma avaliação por métodos tradicionais de BPM.

Tabela 5.1: Resultados da identificação de constrangimentos com *Process Mining*

Constrangimentos corroborados e quantificados	
C.03. Ausência do registo do consumo de bobine quando esta é utilizada em mais do que uma <i>mill order</i>	
C.04. Perda de rastreabilidade de bobines substituídas após o início da transformação.	
C.05. Perda de rastreabilidade de produto acabado, substituído numa paleta.	
C.06. Perda de rastreabilidade da resma de papel do tipo B.	
C.11. Perda da rastreabilidade sobre o produto acabado expedido via navio.	
Total	5
Constrangimentos não analisados por ausência de dados	
C.01. Ausência de gestão por lote de matéria-prima e subprodutos.	
C.07. Alteração da ordem das etiquetas, aquando da sua recolocação no processo de enresmagem, na produção de papel do tipo B.	
C.09. Perda de rastreabilidade das quebras de um jumbo que são reintroduzidas no processo via desperdícios.	
C.10. Impossibilidade de registo de material na desintegração.	
Total	4
Constrangimentos excluídos da âmbito da análise	
C.02. Inexistência de registo de consumo de materiais subsidiários e de embalagem, na ordem de produção ou na <i>mill order</i> .	
C.08. Impossibilidade de identificar o lote de materiais, aquando da respetiva devolução ao armazém.	
Total	2
Novos constrangimentos identificados	
Total	0

No entanto, constatou-se a impossibilidade de, através da abordagem de *Process Mining*, analisar quatro constrangimentos identificados na fase dois. Relativamente a três deles, o C.01, C.09 e C.10, percebeu-se, aquando da etapa de definição do âmbito dos dados, que não iria ser possível incluí-los na análise o que, como explicado anteriormente, não chegou a permitir sequer a modelação dos processos relativos a estes.

Em relação ao C.07, que diz respeito à alteração da ordem das etiquetas, no processo de enresmagem, verificou-se que, por este ser um procedimento totalmente manual, não existia qualquer atividade registada em sistema que indicasse a remoção e recolocação de etiquetas das paletes. Assim, para casos como este, percebeu-se que a análise em *Process Mining* não possibilita capturar estas atividades manuais, podendo ser mais difícil, ou mesmo impossível analisar e quantificar falhas. Neste caso em concreto, se não tivesse sido feito um levantamento apurado dos processos, na fase anterior, este constrangimento não teria sido identificado.

Ainda relativamente aos constrangimentos, verificou-se que não foi possível detetar nenhum novo constrangimento que não tivesse sido identificado na fase anterior, não obstante ser algo, por norma, esperado de uma abordagem de *Process Mining*, como explorado ao longo da revisão bibliográfica. Esta ocorrência, apesar de estar condicionada pela limitação inerente à utilização da simulação dos dados reais, poderá indicar que a Empresa Cliente e os principais intervenientes

nos processos apresentam um conhecimento sólido do funcionamento e limitações dos processos da empresa, ou que a informação sobre os mesmos apresenta detalhe e qualidade suficiente para que se consiga, através de uma análise com métodos tradicionais de BPM identificá-los.

É importante destacar que a definição do âmbito dos dados e a mineração, análise e avaliação, tal como a identificação dos constrangimentos, apenas foi possível por existir um entendimento prévio dos processos. Por exemplo, apenas foi possível concluir que a duplicação da atividade “Filmar Paleta” constituía um constrangimento na rastreabilidade, relacionado com o reproprocessamento de caixas nas paletes, por existir conhecimento profundo deste processo, que foi gradualmente obtido na fase anterior de avaliação por métodos tradicionais de BPM. Assim, quando se realiza uma abordagem de *Process Mining* é inevitável que exista *à priori* um conhecimento sólido dos processos, ou que se envolva na análise algum *stakeholder* que detenha este conhecimento. Deste modo, a eficiência e velocidade adjacentes às técnicas de *Process Mining* não são, de todo, independentes da necessidade do conhecimento real do processo.

Por fim, em relação ao exercício de rastreabilidade, a abordagem de *Process Mining* demonstrou que, ao ter sido possível integrar na *Celonis* os dados das diferentes TRU's (no contexto da análise em *Process Mining* designadas de *event logs*) que se pretende rastrear, o exercício de rastreabilidade pode ser executado. Como foi explorado ao longo das etapas de mineração e análise e avaliação, analisando os processos através de uma perspetiva de caso isto é, atendo por exemplo, ao ID do lote de uma bobine e através da funcionalidade de filtragem, é possível perceber, automaticamente, o processo que este lote seguiu, bem como os constrangimentos falhas ou ineficiências do processo para esse lote em específico. Além disto, através da abordagem *multi-event log* revelou-se ser possível, de modo automático, associar o lote dessa bobine aos lotes dos restantes produtos, e realizar o exercício de rastreabilidade direta e inversa, para os produtos em questão, salvo constrangimentos existentes e identificados.

Assim, nestes casos, em que os processos possuem a informação necessária, mas esta se encontra dispersa por vários sistemas, não existindo um sistema específico para a execução do exercício de rastreabilidade, *Process Mining* revela-se uma alternativa para reduzir o esforço e tempo necessários para perceber a rastreabilidade dos produtos de modo manual, como a Empresa Cliente atualmente executa. Apesar de tudo, deve-se considerar que, para produtos em que os registos são apenas manuais, como era o caso da matéria-prima e subprodutos, esta funcionalidade deixa de ser possível. Adicionalmente, o tratamento dos dados necessários para transpor esta análise para a ferramenta em questão não é direta nem eficiente o suficiente para que esta seja a melhor ferramenta para realizar um exercício de rastreabilidade o mais ágil possível e em tempo real.

A avaliação da situação atual da Empresa Cliente através da conjugação da avaliação por métodos tradicionais de BPM com a abordagem de *Process Mining*, permitiu alavancar e conjugar os pontos fortes de cada uma delas, possibilitou uma compreensão abrangente dos processos no âmbito da rastreabilidade e resultou na identificação robusta, corroborada e quantificada dos constrangimentos e oportunidades de melhoria nos processos avaliados. Tendo a análise à situação atual terminada, iniciou-se a fase de desenho do projeto.

Capítulo 6

Melhorias e desenho dos processos futuros

Concluídas as fases de avaliação do estado atual da Empresa Cliente, quer através dos métodos tradicionais de BPM, quer a partir de *Process Mining*, e com base nos resultados e na identificação de estrangulamentos e recomendações de melhoria, iniciou-se a fase de desenho, através da construção dos processos futuros. Assim, primeiramente, executou-se o catálogo de processos *to-be* e, seguidamente, procedeu-se ao mapeamento destes processos.

Apesar de, como referido anteriormente, as recomendações de melhorias aos processos terem sido levantadas aquando das fases de avaliação, estas serão apresentadas e descritas com detalhe neste capítulo, já integradas nos processos futuros desenhados, de modo a facilitar a sua compreensão e a compreensão da proposta dos processos futuros na totalidade.

Tal como nas fases anteriores do projeto, o resultado final do catálogo de processos *to-be* e do mapeamento foi fruto de sucessivas iterações em conjunto com a Empresa Cliente. Estas iterações foram realizadas através de diferentes sessões de esclarecimento, cada uma direcionada a um processo. Assim, obteve-se um resultado para esta fase que desse resposta aos estrangulamentos existentes e melhorasse os processos analisados mas, simultaneamente, garantiu-se que as melhorias propostas estavam alinhadas com o que a Empresa Cliente seria, realmente, capaz de implementar e que estas eram viáveis em termos de recursos, tecnologia e cultura organizacional.

6.1 Catálogo de processos *to-be*

A execução do catálogo de processos *to-be* teve como objetivo identificar os processos a adotar no modelo operacional futuro da empresa. Assim, este consistiu numa evolução do catálogo de processos *as-is* e deve ser visto como um eixo condutor para a operacionalização de uma realidade futura, que assegure a rastreabilidade total do produto nos processos de produção e expedição.

O racional para a construção do catálogo de processos *to-be* foi semelhante ao utilizado no catálogo de processos *as-is*. Assim, este foi construído de acordo com o referencial da APQC e engloba informação relativa ao macrop processo e respetivo ID, processo e respetivo ID e ao sistema

de informação utilizado na execução do processo em questão. É também importante destacar os princípios orientadores considerados para a execução desta sistematização. Em primeiro lugar, a padronização dos processos, isto é, a uniformização de fluxos semelhantes, de modo a simplificar a sua compreensão, execução e monitorização e, portanto, garantir a sua eficiência. Seguidamente, a incorporação das recomendações de melhoria resultantes das fases de avaliação, que serão seguidamente apresentadas. Por fim, a utilização de boas práticas do mercado.

O catálogo de processos *to-be* do produto de papel, no âmbito total do projeto, resultou num total de quatro macroprocessos e oito processos, face aos quatro macroprocessos e treze processos existentes no *as-is*. No entanto, analisando apenas a produção e expedição, o catálogo de processos *to-be*, que pode ser consultado na Figura 6.1, continua a englobar dois macroprocessos e quatro processos, não tendo havido, portanto, alterações em relação ao *as-is*, neste âmbito. As alterações existentes estão refletidas ao nível das atividades presentes no mapeamento e sistemas utilizados nestas. Além disso, alterou-se o nome do processo "Transformar bobines em resmas de papel" para "Transformar bobines em produtos de papel", para que ficasse mais adequado à realidade.

ID Macroprocesso	Macroprocesso	ID Processo	Processo	Sistemas de informação
01	Produzir e transformar bobines	01.01	Produzir jumbos e bobines de papel	Sistema de gestão de produção, DCS, Uniformance
01	Produzir e transformar bobines	01.02	Transformar bobines em produtos de papel	Sistema de gestão de produção
01	Produzir e transformar bobines	01.03	Produzir e armazenar desperdício	DCS, Uniformance
02	Expedir produto acabado	02.01	Expedir bobines e produto acabado	Sistema de gestão de produção

Figura 6.1: Catálogo de processos *to-be*

6.2 Mapeamento dos processos e melhorias

O mapeamento dos processos *to-be* teve como finalidade representar, visualmente e de um modo claro, a execução dos processos de produção e expedição da Empresa Cliente. A melhoria e transformação destes processos teve como foco traduzir uma realidade em que fosse possível garantir que as atividades, quando realizadas da forma como são descritas, iriam permitir atingir a rastreabilidade direta e inversa, ágil e exata, do produto ao longo dos processos. Por outro lado, os processos deveriam assegurar que as atividades essenciais à rastreabilidade não comprometeriam a eficácia e eficiência da operação da empresa, mas sim, que contribuiriam para a melhoria destas.

Nesta etapa de mapeamento, foi fundamental assegurar que ficava claro em que sistemas se deveria registar a informação, em cada atividade, a fim de reduzir, ou mesmo eliminar, os registos manuais e as falhas dos registos digitais, automatizando os mesmos e assegurando a qualidade dos dados inseridos. Por outro lado, foi de igual modo importante definir os responsáveis por cada atividade, a fim de assegurar que seriam evitadas falhas de registos de informação ou de realização de certas atividades, pela ausência de responsabilidade ou de conhecimento sobre o que é necessário executar. É relevante mencionar que melhorias relativas ao funcionamento dos

sistemas em si e à integração destes, estão englobadas na identificação de requisitos funcionais de sistemas e na listagem de iniciativas de evolução tecnológicas, que não estão incluídos no âmbito da dissertação.

Desde modo, o mapeamento dos processos *to-be*, que pode ser consultado nas Figuras F.2 a F.7 do Anexo F, engloba todas as atividades nos processos de produção e expedição de papel que tenham impacto na rastreabilidade, ou algumas atividades sem impacto, que foram incluídas para que houvesse uma lógica processual, bem como pontos-chave anteriormente descritos (sistemas e responsáveis) e todas as melhorias sugeridas. Os processos foram modelados na notação BPMN 2.0, conforme o que foi previamente definido com a Empresa Cliente. Uma explicação detalhada desta linguagem utilizada está presente na Figura F.1 do Anexo F. Como referido na revisão bibliográfica, esta notação descreve, com pormenor, e padroniza a criação dos modelos, permitindo uma análise sistemática e universalmente compreendida (Allweyer, 2016).

De seguida, será apresentada uma descrição pormenorizada dos processos futuros, com foco nas melhorias sugeridas, que se encontram refletidas em atividades inerentes a estes processos. Assim, estas recomendações de melhoria encontram-se, de igual modo, identificadas no mapeamento dos processos no Anexo B.

Produzir jumbos e bobines de papel

No processo de produzir jumbos e bobines de papel, é necessário que, aquando da desintegração de fardos de pasta, o operador de produção registre o lote que está a ser consumido e que associe esta informação à ordem de produção em curso. Esta informação deve ser registada no sistema de gestão da produção. O mesmo procedimento deve ser executado pelo operador de produção, no momento de consumo de pasta líquida. Os lotes de pasta líquida devem ser geridos a partir da medição de caudais no sistema DCS. O consumo de produtos químicos deverá, de igual modo, seguir este procedimento. É necessário ter em consideração que, para que estes procedimentos sejam exequíveis, a gestão e registo por lotes de matéria-prima e de produtos químicos deve iniciar-se, aquando da sua receção, e manter-se, aquando do armazenamento (análise e recomendação referentes a processos fora do âmbito). Esta recomendação (R.01) dá resposta ao C.01.

Em relação ao momento de consumo de materiais subsidiários e de embalagem, uma vez que estes já possuem um lote associado, apenas é necessário associá-lo a cada ordem de produção ou *mill order* em que estão a ser utilizados, no sistema de gestão de produção. Esta recomendação é transversal ao processo seguinte (“Transformar bobines em produtos de papel”), uma vez que os materiais subsidiários e de embalagem também são utilizados neste processo. Esta recomendação (R.02) dá resposta ao C.02 e é da responsabilidade do operador de produção ou do operador de transformação, consoante o processo em questão.

Transformar bobines em produtos de papel

No processo de transformar bobines em produtos de papel, deve-se realizar o registo da bobine em todas as *mill orders* em que esta é utilizada e, consequentemente, associá-las a todos os números de *load* de que faz parte. Assim, este registo deve ser efetuado no sistema de gestão de produção e no início de cada *mill order*, quer a bobine esteja a ser consumida pela primeira vez, quer já esteja parcialmente consumida. É essencial que os operadores de transformação, responsáveis por esta atividade, estejam consciencializados da importância de realizar este procedimento e que recebam a formação necessária para saberem como o realizar corretamente. Esta recomendação (R.03) dá resposta ao C.03.

Adicionalmente a este procedimento, no caso em que é detetado um problema durante o consumo de uma bobine e esta necessita de ser substituída, é essencial garantir que se realizam ajustes no registo das bobines, associadas a um número de *load*. Assim, deve-se associar, no sistema de gestão de produção, o número de *load* às bobines usadas no momento inicial da transformação e às bobines que são inseridas a meio da transformação, como substitutas. Posteriormente, deve-se identificar as bobines que foram consumidas apenas parcialmente, bem como o respetivo motivo e deve-se alterar o estado dessa bobine. Desta forma, garante-se a rastreabilidade de bobines apenas parcialmente consumidas. Este procedimento, correspondente à R.04, é também da responsabilidade do técnico de transformação e dá resposta ao C.04.

Para as atividades do processo de transformação relativas às paletes, é necessário melhorar o processo no que diz respeito à execução dos reprocessamentos. Assim, o operador de transformação deve registar, no sistema de gestão de produção, o lote da paleta que vai reprocessar. De seguida, o operador da transformação deve associar à paleta em reprocessamento o número de *load* das novas caixas introduzidas, bem como os lotes destas caixas e respetiva quantidade de unidades reprocessadas. Esta recomendação (R.05) dá resposta ao C.05.

Em relação ao processo para o papel do tipo B, quando ocorre o corte deste, o operador de transformação deve realizar a picagem do lote da paleta “Mãe” que está a utilizar e, seguidamente, registar no sistema de gestão da produção, quais as paletes “Filha” que estão a ser formadas, atribuindo-lhes um lote e associando-o ao lote da paleta “Mãe”. Posteriormente, o operador deve, em sistema, registar as paletes “Filha” que vai consumir para dar origem à resma em questão. Esta recomendação (R.06) dá resposta ao C.06. Por outro lado, aquando da enresmagem, os operadores de transformação devem consultar, previamente, a sequência de entrada das paletes no processo e devem colocar as etiquetas nas mesmas, de acordo com esta ordem, para garantir a correta recolocação nas paletes da marcação física que contém o seu lote. Assim, através desta recomendação (R.07) dá-se resposta ao C.07.

Por fim, no que diz respeito à devolução de materiais ao armazém, quando estes não são utilizados na sua totalidade, é necessário que o técnico de transformação selecione, no sistema de gestão de produção, o lote do material a ser devolvido, dentro dos materiais que foram requisitados e que estão, no momento, na linha de produção. Esta recomendação (R.08) dá resposta ao C.08.

Produzir e armazenar desperdício

Relativamente ao processo de produzir e armazenar desperdício, é necessário monitorizar a incorporação das quebras de jumbos. Para tal, será necessário instalar caudalímetros nas saídas das torres e configurá-los, de modo a que estes estejam ligados ao sistema DCS e a informação fique automaticamente registada nesse sistema, em tempo real. Seguidamente, deverá ser definida uma percentagem máxima mensal de quebras, provenientes de torres de outras máquinas, que é permitido incorporar. Até esse limite estabelecido, a rastreabilidade das mesmas pode ser considerada desprezável. Deste modo, tendo esta funcionalidade implementada, a atividade "Monitorizar quebras nas torres" deverá ser incorporada no processo sob a responsabilidade do técnico do armazém, que deve garantir que a reincorporação de quebras provenientes de outras máquina só acontece até à percentagem máxima ser atingida. Esta recomendação (R.09) dá resposta ao C.09.

Além disto, aquando da reincorporação na produção de desperdício originário de bobines ou paletes não conformes, é necessário registar o desperdício que está a ser desintegrado e reincorporado, para preparar a pasta que irá formar o papel. Para tal, deve ser registado, no sistema de gestão de produção, o lote do material que está a ser usado, garantido que é possível identificar o material originário de desperdício que foi consumido. Este procedimento é da responsabilidade do operador de produção e a respetiva recomendação (R.10) dá resposta ao C.10.

Expedir bobines e produto acabado

No processo de expedição de bobines e produto acabado, deve ser garantida a correta expedição do produto, mesmo quando esta é efetuada por via marítima. Para tal, deve ser efetuada uma ligação entre o lote comercial do navio e lote interno da Empresa Cliente, sempre que ocorra uma expedição via marítima. Será necessário implementar um sistema integrado de colaboração entre a Empresa Cliente e os seus distribuidores, que permita a gestão dos lotes comerciais enviados por navio, através da ligação entre estes e os lotes internos, possibilitando a rastreabilidade dos produtos até ao cliente final. Esta recomendação (R.11) dá resposta ao C.11. A responsabilidade de garantir a correta expedição do produto é do técnico de expedição que deve, de igual modo, garantir que a preparação de toda a documentação necessária ao transporte é registada no sistema de gestão de produção da empresa, e não manualmente, para que esta se encontre em formato digital e possa ser integrada com o novo sistema de colaboração a implementar.

Assim, finalizado o mapeamento dos processos e, conseqüentemente, a fase de desenho e o projeto de transformação proposto, foi possível entregar à Empresa Cliente um modelo operativo futuro dos seus processos de produção e expedição que, quando implementado, possibilitasse a resolução dos problemas identificados ao nível da rastreabilidade.

Capítulo 7

Conclusão

7.1 Principais conclusões

O projeto discutido na presente dissertação teve como objetivo analisar a rastreabilidade direta e inversa do produto de papel, nos processos de produção e expedição de uma empresa, da indústria papelreira, e executar um desenho futuro para estes processos que, quando implementado, garantisse a rastreabilidade exata ao longo dos mesmos. Além disso, o trabalho apresentava também como objetivo explorar os contributos e as limitações de *Process Mining* na análise de processos, no âmbito da rastreabilidade, nomeadamente em comparação com os métodos tradicionais de BPM. O projeto e os objetivos estabelecidos tiveram como motivação a importância de alcançar a rastreabilidade total do produto na cadeia de abastecimento, bem como a relevância e o potencial da aplicabilidade dos métodos tradicionais de BPM e, mais especificamente, de *Process Mining* para responder a este problema.

A Empresa Cliente apresentava limitações que impediam a execução de um exercício de rastreabilidade ágil e exato, nomeadamente, a complexidade dos seus processos e o facto de estes ainda não se encontrarem totalmente digitalizados, com sistemas não integrados e automatizados e com informação a ser gerida manualmente.

Deste modo, para endereçar estas problemáticas, o projeto foi dividido em quatro fases e guiado por uma abordagem metodológica, construída com base na Metodologia *Transform*® da PwC e na Metodologia *PM*².

A primeira fase, correspondente ao planeamento, consistiu na recolha de informação inicial e na elaboração de um plano de gestão. Esta fase foi essencial pois garantiu um início de projeto adequado, a sustentabilidade do mesmo, e o seu alinhamento com a visão estratégica da empresa.

Seguidamente, através da segunda fase do projeto, ou seja, da avaliação por métodos tradicionais de BPM, foi possível construir uma visão integral dos processos atuais de produção e expedição da Empresa Cliente, perceber como funciona o exercício de rastreabilidade, ao longo destes, e identificar os constrangimentos que necessitavam de ser solucionados, neste âmbito. Não obstante ter sido possível atingir os objetivos esperados para esta fase, constatou-se que a execução da mesma foi extensiva e envolveu um grande investimento de esforço e tempo, inclusive, não se

executou a modelação dos processos *as-is* devido a restrições temporais do projeto. Além disso, os entendimentos e constrangimentos obtidos resultaram de uma análise subjetiva, não sendo possível comprovar, com objetividade e certeza, ou medir quantitativamente, o impacto dos mesmos. Caso a análise efetuada se viesse a comprovar incorreta ou ineficiente, aquando da implementação das melhorias definidas, a aplicação de BPM perderia o seu propósito, sendo este um dos fatores apontados na literatura para o insucesso da aplicação de BPM numa organização.

Seguiu-se a aplicação de uma abordagem de *Process Mining*, ao caso prático em questão. Através de seis etapas estruturadas, foi possível executar uma análise menos morosa do que a anterior, apesar de se ter constatado que as etapas iniciais de tratamento de dados, necessárias ao início da análise, requeriam, também, um esforço considerável.

A utilização da metodologia *PM²*, para guiar a fase de avaliação por *Process Mining*, possibilitou uma estrutura de execução delineada a partir de etapas e atividades bem definidas. O processo iterativo proposto por esta metodologia permitiu concretizar uma análise gradual e construtiva, começando-se por descobertas mais simples e terminando-se em perguntas que permitissem o cumprimento dos objetivos propostos. As principais limitações sentidas na aplicação da mesma foram inerentes à falta de diretrizes mais concretas para definição das perguntas de investigação e das perspetivas para análise dos processos. Além disso, a metodologia não fornece sugestões sobre a escolha da ferramenta indicada ou sobre como conduzir a análise em diferentes ferramentas. No entanto, constatou-se que a escolha da ferramenta *Celonis* foi adequada pois, após um período de estudo e familiarização, esta permitiu executar uma análise eficaz e intuitiva, que também possibilitou a participação dos *stakeholders* da Empresa Cliente. Adicionalmente, a funcionalidade disponibilizada de *multi-event log* permitiu a análise conjunta dos diferentes *event logs* do processo, o que se revelou especialmente essencial para a análise do funcionamento do exercício de rastreabilidade, transversal a todos os produtos.

Verificou-se que foi possível corroborar, de uma forma objetiva, a maioria dos constrangimentos identificados na fase anterior e foi possível quantificá-los, a fim de perceber o impacto dos mesmos. Esta análise quantitativa traduziu-se num dos principais contributos que a abordagem de *Process Mining* possibilitou, juntamente com o facto de ter possibilitado o desenvolvimento rápido e eficaz do mapeamento, visualização e descoberta dos processos, através de técnicas de *Discovery* e *Conformance*.

Em relação aos contributos de *Process Mining* para o exercício da rastreabilidade, concluiu-se que, para informação digitalmente registada, as técnicas aplicadas e a ferramenta utilizada permitiram realizar o exercício de rastreabilidade direta e inversa dos produtos. Não obstante, a concretização deste exercício em *Process Mining* não se revela a melhor solução, a longo prazo, devido ao esforço que é necessário colocar para recolher e transformar os dados no formato necessário à análise da rastreabilidade. Deste modo, para a execução do exercício de rastreabilidade, a Empresa Cliente, deve apostar num sistema integrado e transversal a todos os processos, que seja especificamente projetado para rastrear os produtos individualmente em tempo real e que possa ser conjugado com tecnologias inovadoras como a tecnologia RFID. O estudo das soluções existentes para este efeito foi executado no projeto, aquando da definição da listagem de requisitos de

sistema e iniciativas de evolução tecnológica, encontrando-se fora do âmbito da dissertação.

A principal limitação que surgiu inerente à abordagem de *Process Mining* foi a impossibilidade de extrair conhecimento dos processos cuja informação não se encontrava digitalizada, demonstrando-se que esta abordagem não é eficiente nem aplicável a processos cujo grau de maturidade digital é pouco elevado, ou na descoberta de constrangimentos em tarefas exclusivamente manuais. Além disso, constatou-se que a integração do conhecimento existente dos processo, obtido através dos métodos tradicionais de BPM, foi essencial para possibilitar a avaliação correta dos entendimentos obtidos com *Process Mining*. Assim, compreende-se que a aplicação de *Process Mining* não é, de todo, independente do conhecimento específico das características e funcionamento dos processos, mas sim uma abordagem que deve ser conciliada e integrada com BPM, para que seja possível que os pontos fortes de cada uma se complementem e, assim, se atinja a maximização da compreensão, estudo e melhoria dos processos de uma empresa.

É ainda de destacar que o trabalho desenvolvido apresenta como limitação o facto de ter sido conduzido com base numa simulação dos dados reais da Empresa Cliente que, apesar de construídos através do conhecimento existente dos dados reais, não apresentavam a capacidade de reproduzir a realidade dos processos e padrões com exatidão completa. Mesmo assim, estes mostram constituir uma base robusta para simular o que seriam os entendimentos com dados reais e conseguir responder aos objetivos definidos para o projeto. Simultaneamente, verificou-se que o facto de a análise só ter sido efetuada para dois macroprocessos, três materiais, para um horizonte temporal restrito de um mês e para uma linha de produção foi também uma limitação inerente à mesma.

Com o finalizar da fase de desenho e, consequentemente, finalizando o projeto proposto, foi possível entregar à Empresa Cliente um modelo operativo para os seus processos de produção e expedição, que englobava as recomendações de melhoria estabelecidas para garantir a rastreabilidade exata do produto, quando implementado. Nesta fase, constatou-se também a importância das pessoas como elemento impulsionador da mudança nos processos, sendo essencial a definição das responsabilidades dos intervenientes para evitar constrangimentos cuja causa a indefinição ou falta de clareza sobre estas responsabilidades. Por outro lado, o desenho dos processos futuros foi seguido tendo por base recomendações construídas com os *insights* da avaliação robusta de *Process Mining*, complementarmente à avaliação mais subjetiva por métodos tradicionais de BPM. Isto possibilitou uma maior segurança e uma base sólida para a tomada de decisões acerca das melhorias que seriam necessárias implementar.

Em conclusão, o principal contributo do trabalho presente, para a literatura, foi a aplicação de uma abordagem de *Process Mining* a um caso prático de uma empresa, da indústria papeleira, no âmbito da rastreabilidade. Apesar de a literatura apresentar conteúdos e evidências acerca do potencial de *Process Mining* em diferentes áreas e para diferentes objetivos, constatou-se que o estudo da aplicabilidade no contexto da análise e melhoria dos processos, no âmbito da rastreabilidade, e da indústria papeleira, era ainda reduzida. Assim, o presente trabalho permitiu perceber como efetuar uma análise de *Process Mining* neste contexto, bem como possibilitou estudar os contributos e limitações que a mesma apresenta. Sendo a rastreabilidade do produto nos processos

um tópico transversal à maioria das organizações, pelos ganhos de eficiência e vantagem competitiva que potencializa, é importante realçar a aplicabilidade transversal do estudo e das conclusões obtidas a diferentes contextos. Além disto, a partir do presente trabalho, foi possível realizar uma análise comparativa do que uma abordagem de *Process Mining* apresenta de novo, ou de complementar, em relação aos métodos tradicionais de BPM. Percebeu-se o valor, para as organizações, da adaptação à transformação digital e da implementação *Process Mining*, na ótica do caminho para a excelência operacional e destaque competitivo. Mas, simultaneamente, percebeu-se a necessidade de não se descuidar a importância dos traços inerentes aos métodos tradicionais de BPM, e do direcionamento da organização na mentalidade orientada para os processos.

7.2 Perspetivas de desenvolvimento futuro

Numa perspetiva de trabalhos futuros, a abordagem utilizada de *Process Mining* demonstra potencial para incluir outras perspetivas ou técnicas que não foram utilizadas na análise conduzida.

Será relevante aprofundar a descoberta dos processos, analisando os mesmos inteiramente a partir de uma perspetiva temporal. Deste modo, poderá ser possível identificar *bottlenecks*, tempos de espera ou atrasos, e, consequentemente, detetar falhas na rastreabilidade ainda não identificadas. Por outro lado, através da perspetiva organizacional, ou seja, dos recursos humanos intervenientes em cada atividade, poderá ser possível identificar novos constrangimentos que tenham como causa raiz a falta de comunicação efetiva, a sobrecarga de trabalho em determinadas funções ou a falta de capacidades ou responsabilidades específicas para a realização de atividades.

A incorporação da técnica de *Enhancement* constituiu também uma possibilidade de trabalho futuro. Apesar de as recomendações de melhoria terem sido construídas com base nos *insights* obtidos com as técnicas de *Discovery* e *Conformance*, poderá ser vantajoso, através da aplicação da técnica de *Enhancement*, automatizar e melhorar este procedimento. A ferramenta *Celonis* disponibiliza a funcionalidade *Action Flow* que, através da utilização de algoritmos de *Machine Learning*, permite, automaticamente, transformar os *insights* da análise obtidos em recomendações de melhoria específicas, por exemplo, criando alertas de problemas em tempo real e despoletado indicações de ações que devem ser tomadas. Complementarmente, é ainda possível realizar análises de sensibilidade, criando diferentes cenários que reproduzam o impacto das recomendações e assegurando que as mudanças irão despoletar as melhorias pretendidas. Para tal, é necessário a integração direta com os sistemas da Empresa Cliente para que os dados possam ser monitorizados em tempo real.

Uma oportunidade de melhoria, para colmatar as limitações identificadas em relação ao facto da análise ter sido conduzida com base numa simulação dos dados reais e de estes dados apresentarem um âmbito restringido, consistiria em recolher os dados reais da Empresa Cliente, idealmente, através da integração direta da *Celonis* com os sistemas de informação existentes. Deste modo, a integração direta possibilitaria a extração e monitorização dos dados em tempo real, bem como a aplicação da abordagem de *Process Mining* a um âmbito mais alargado, devido ao aumento substancial da capacidade de extração de um maior volume de dados, impulsionando a melhoria

continua nesta abordagem. No entanto, esta aplicabilidade de *Process Mining* seria mais adequada para níveis de maturidade digitais mais elevados, já que a extração de dados de sistemas não integrados iria requerer um esforço acrescido no tratamento e processamento destes.

Adicionalmente, será essencial, no futuro, concretizar as fases apontadas pela Metodologia *Transform®* e pelo ciclo BPM, relativas à construção e implementação do modelo proposto, bem como à operacionalização e monitorização do mesmo. Uma etapa relevante na fase de construção do modelo proposto consistirá na elaboração de um *roadmap* para a implementação das recomendações de melhoria, em que se priorizem as recomendações a implementar, de acordo com o impacto quantitativo dos constrangimentos, avaliado em *Process Mining*. Aquando das fases de implementação e de operacionalização e monitorização, a gestão da mudança será um fator importante para o sucesso do novo modelo dos processos. Uma correta gestão da mudança será fundamental para a adaptação adequada dos recursos, das estruturas organizacionais e, principalmente, das pessoas, permitindo envolvê-las, comunicar de forma eficaz e garantir que estas compreendem, aceitam e colaboram com as transformações propostas.

Apenas com o decorrer destas fases, será possível verificar que o modelo construído é capaz de resolver os constrangimentos levantados, averiguar se as soluções propostas irão permitir, à Empresa Cliente, garantir a rastreabilidade direta e inversa e alcançar a eficiência da sua cadeia de abastecimento e os benefícios a esta inerentes, como a redução de custos, centralização e transparência de informação, o aumento do valor e segurança trazidos ao cliente e, em última instância, o destaque e sucesso competitivo do negócio.

Bibliografia

- Allweyer, T. (2016). *BPMN 2.0: introduction to the standard for business process modeling*. BoD–Books on Demand.
- AlShathry, O. (2016). Process mining as a business process discovery technique. *Computer Engineering & Information Technology*.
- Appelhanz, S. and Schumann, M. (2013). Improvement of traceability in continuous processes. In *First International Conference on Resource Efficiency in Interorganizational Networks-ResEff 2013*, page 192.
- APQC (2023). Apqc process classification framework (pcf) – cross-industry - pdf version 6.1.1. <https://www.apqc.org/resource-library/resource-listing/apqc-process-classification-framework-pcf-cross-industry-pdf-5>. Accessed: 2023-02-23.
- Bai, C. and Sarkis, J. (2020). A supply chain transparency and sustainability technology appraisal model for blockchain technology. *International Journal of Production Research*, 58:2142–2162.
- Bazan, P. and Estevez, E. (2022). Industry 4.0 and business process management: state of the art and new challenges. *Business Process Management Journal*, 28(1):62–80.
- Berg, P. and Lingqvist, O. (2019). Pulp, paper, and packaging in the next decade: Transformational change. <https://www.mckinsey.com/industries/paper-forest-products-and-packaging/our-insights/pulp-paper-and-packaging-in-the-next-decade-transformational-change>. Accessed: 2023-04-07.
- Berti, A., van Zelst, S. J., and van der Aalst, W. (2019). Process mining for python (pm4py): Bridging the gap between process- and data science.
- Bolic, M., Simplot-Ryl, D., and Stojmenovic, I. (2010). Rfid systems: research trends and challenges.
- Bozkaya, M., Gabriels, J., and Werf, J. M. V. D. (2009). Process diagnostics: A method based on process mining. pages 22–27.
- BRC (2018). Global standard food safety. https://cdn.scsglobalservices.com/files/program_documents/brc_food_standard_8_0.pdf. Accessed: 2023-04-09.
- Buchwald, P. and Anus, A. (2020a). Industrial internet of things systems for tracking and traceability of production business processes. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 3(1):464–476.

- Buchwald, P. and Anus, A. (2020b). Industrial internet of things systems for tracking and traceability of production business processes. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 3:464–476.
- Butt, J. (2020). A conceptual framework to support digital transformation in manufacturing using an integrated business process management approach. *Designs*, 4(3):17.
- Celik, U. and Akçetin, E. (2018). Process mining tools comparison. *AJIT-e*, 9(34):97.
- Celonis (2022). Multi-event log. <https://docs.celonis.com/en/multi-event-log.html#UUID-223f32dd-26ed-de81-da0f-90b2ccd982c2>. Accessed: 2023-03-04.
- Celonis (2023). Celonis. <https://www.celonis.com/>. Accessed: 2023-03-04.
- Cerullo, G., Guizzi, G., Massei, C., and Sgaglione, L. (2016). Efficient supply chain management: Traceability and transparency. In *2016 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)*, pages 750–757. IEEE.
- Chen, C. J. (2019). Developing a model for supply chain agility and innovativeness to enhance firms' competitive advantage. *Management Decision*, 57:1511–1534.
- CHEN, H.-H. and CHEN, S.-C. (2009). Constructing the process models for the traceability of rice production and distribution.
- Corallo, A., Latino, M. E., and Menegoli, M. (2019). A business process modelling approach for supporting traceability in food industry. In *2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)*, pages 265–269. IEEE.
- Corallo, A., Latino, M. E., Menegoli, M., and Pontrandolfo, P. (2020). A systematic literature review to explore traceability and lifecycle relationship.
- Cruz, E. F. and da Cruz, A. M. R. (2019). A food value chain integrated business process and domain models for product traceability and quality monitoring. In *21st International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS)*. INSTICC, Heraklion.
- dos Santos Garcia, C., Meincheim, A., Junior, E. R. F., Dallagassa, M. R., Sato, D. M. V., Carvalho, D. R., Santos, E. A. P., and Scalabrin, E. E. (2019). Process mining techniques and applications – a systematic mapping study.
- Drakoulogkonas, P. and Apostolou, D. (2021). On the selection of process mining tools. *Electronics (Switzerland)*, 10:1–24.
- Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., and A Reijers, H. (2013). *Fundamentals of business process management*. Springer.
- Fox, F., Aggarwal, V. R., Whelton, H., and Johnson, O. (2018a). A data quality framework for process mining of electronic health record data. In *2018 IEEE international conference on healthcare informatics (ICHI)*, pages 12–21. IEEE.
- Fox, F., Aggarwal, V. R., Whelton, H., and Johnson, O. (2018b). A data quality framework for process mining of electronic health record data. pages 12–21. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Gartner, P., Benfer, M., Kuhnle, A., and Lanza, G. (2021). Potentials of traceability systems-a cross-industry perspective. *Procedia CIRP*, 104:987–992.

- Gayialis, S. P., Kechagias, E. P., Papadopoulos, G. A., and Panayiotou, N. A. (2022). A business process reference model for the development of a wine traceability system. *Sustainability*, 14(18):11687.
- Hall, D. and Johnson-Hall, T. (2021). The value of downstream traceability in food safety management systems: an empirical examination of product recalls. *oper manag res* 14: 61–77.
- International Organization for Standardization (2015). Quality management systems — fundamentals and vocabulary. ISO 9000:2015 3.6.13.
- Jansen-Vullers, M. H., van Dorp, C. A., and Beulens, A. J. (2003). Managing traceability information in manufacture. *International journal of information management*, 23(5):395–413.
- Jeston, J. and Nelis, J. (2014). *Business process management*. Routledge.
- Kang, Y.-S., Lee, K., Lee, Y.-H., and Chung, K.-Y. (2013). Rfid-based supply chain process mining for imported beef. *Food Science of Animal Resources*, 33(4):463–473.
- Khan, M., Parvaiz, G. S., Dedahanov, A. T., Abdurazzakov, O. S., and Rakhmonov, D. A. (2022). The impact of technologies of traceability and transparency in supply chains. *Sustainability (Switzerland)*, 14.
- Kohlbacher, M. (2010). The effects of process orientation: a literature review. *Business process management journal*.
- Lizano-Mora, H., Palos-Sanchez, P. R., and Aguayo-Camacho, M. (2021). The evolution of business process management: A bibliometric analysis. *IEEE Access*, 9:51088–51105.
- Mishra, D. K., Henry, S., Sekhari, A., and Ouzrout, Y. (2018). Traceability as an integral part of supply chain logistics management: an analytical review. *arXiv preprint arXiv:1811.06358*.
- Nadim, K., Ragab, A., and Ouali, M. S. (2023). Data-driven dynamic causality analysis of industrial systems using interpretable machine learning and process mining. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34:57–83.
- Nurcan, S. and Schmidt, R. (2009). Introduction to the first international workshop on business process management and social software (bpms2 2008). In *Business Process Management Workshops: BPM 2008 International Workshops, Milano, Italy, September 1-4, 2008. Revised Papers* 6, pages 647–648. Springer.
- Olsen, P. and Borit, M. (2018). The components of a food traceability system.
- OMG (2013). Business Process Model and Notation (BPMN). OMG. URL: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/PDF>.
- Ortmeier, C., Henningsen, N., Langer, A., Reisch, A., Karl, A., and Herrmann, C. (2021). Framework for the integration of process mining into life cycle assessment. *Procedia CIRP*, 98:163–168.
- Parente, C. and Costa, C. J. (2022). Comparing process mining tools and algorithms. volume 2022-June. IEEE Computer Society.
- Pergl, R., Babkin, E., Lock, R., Malyzhenkov, P., Merunka, V., and Bobkowska, A. (2014). *Enterprise and organizational modeling and simulation*. Springer.

- Pika, A., Wynn, M. T., Budiono, S., Ter Hofstede, A. H., van der Aalst, W. M., and Reijers, H. A. (2020). Privacy-preserving process mining in healthcare. *International journal of environmental research and public health*, 17(5):1612.
- PwC (2023). Pwc. <https://www.pwc.com/>. Accessed: 2023-02-05.
- Ramos-Merino, M., Santos-Gago, J. M., and Álvarez-Sabucedo, L. M. (2021). Fuzzy traceability: using domain knowledge information to estimate the followed route of process instances in non-exhaustive monitoring environments. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32:2235–2255.
- Rantamäki, J., Tiainen, E.-L., and Kässi, T. (2013). A case of implementing spc in a pulp mill. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(3):321–337.
- Rojas, E., Munoz-Gama, J., Sepúlveda, M., and Capurro, D. (2016). Process mining in healthcare: A literature review.
- Rosemann, M. and vom Brocke, J. (2014). The six core elements of business process management. In *Handbook on business process management 1: introduction, methods, and information systems*, pages 105–122. Springer.
- Schreiber, M. and Metternich, J. (2022). Data value chains in manufacturing: Data-based process transparency through traceability and process mining. *Procedia CIRP*, 107:629–634.
- Schuitmaker, R. and Xu, X. (2020). Product traceability in manufacturing: A technical review. volume 93, pages 700–705. Elsevier B.V.
- Shou, Y., Zhao, X., Dai, J., and Xu, D. (2021). Matching traceability and supply chain coordination: Achieving operational innovation for superior performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 145:102181.
- Sunny, J., Undralla, N., and Pillai, V. M. (2020). Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration. *Computers & Industrial Engineering*, 150:106895.
- Suša Vugec, D., Tomičić-Pupek, K., and Vukšić, V. B. (2018). Social business process management in practice: Overcoming the limitations of the traditional business process management. *International Journal of Engineering Business Management*, 10:1847979017750927.
- Van Der Aalst, W. (2011). *Process mining: discovery, conformance and enhancement of business processes*, volume 2. Springer.
- Van Der Aalst, W. (2012). Process mining: Overview and opportunities. *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, 3(2):1–17.
- van der Aalst, W. M. and Carmona, J. (2022). *Process mining handbook*. Springer Nature.
- Van Der Aalst, W. M., La Rosa, M., and Santoro, F. M. (2016). Business process management: Don't forget to improve the process!
- Van Eck, M. L., Lu, X., Leemans, S. J., and Van Der Aalst, W. M. (2015). Pm: a process mining project methodology. In *Advanced Information Systems Engineering: 27th International Conference, CAiSE 2015, Stockholm, Sweden, June 8-12, 2015, Proceedings*, pages 297–313. Springer.

- Yurtay, Y. (2022). Process mining in manufacturing: A literature review. *SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF COMPUTER AND INFORMATION SCIENCES*, 5.
- Zaninelli, M. and Reyes Pace, M. (2018). The o3-farm project: First evaluation of a business process management (bpm) approach through the development of an experimental farm management system for milk traceability. *Agriculture*, 8(9):139.
- Zdravkovic, J., Kirikova, M., and Johannesson, P. (2015). Advanced information systems engineering.
- Zuhaira, B. and Ahmad, N. (2021). Business process modeling, implementation, analysis, and management: the case of business process management tools. *Business Process Management Journal*, 27(1):145–183.

Anexo A

Sobre a PwC

Com o propósito de “construir confiança na sociedade e resolver problemas importantes” (PwC, 2023) a PwC é uma rede de firmas independentes entre si que prestam serviços de qualidade em consultoria, auditoria e fiscalidade. A rede está presente em 158 países e conta com cerca de 328.000 colaboradores. Inserida nesta rede, encontra-se a PwC Portugal, estabelecida no país há mais de 60 anos e da qual fazem parte, atualmente, mais de 2.000 colaboradores distribuídos pelos escritórios do Porto, Lisboa, Coimbra, Funchal, Luanda e Cidade da Praia.

A PwC encontra-se entre as principais redes de serviços profissionais do mundo e atua com serviços orientados para diversas indústrias.

O projeto da presente dissertação foi realizado na *Line of Service de Advisory* (Assessoria de Gestão), cujo principal objetivo é apoiar os clientes na resolução de desafios nos seus negócios impulsionando o aumento do seu desempenho. Esta *Line of Service* encontra-se dividida em distintas *Business Units* (BUs), estando o projeto inserido na BU de *Management Consulting* (Consultoria de Gestão) e na equipa de *Business Transformation* (Transformação do negócio).

Anexo B

Guião para levantamento de informação

<i>Empresa Cliente</i>	Empresa Cliente	
	Projeto de Rastreabilidade	
		Página 1 de 1
Guião para a observação em chão de fábrica		

Perguntas Gerais:

1. Como é realizada a rastreabilidade atualmente? São realizados testes?
2. São realizados exercícios de rastreabilidade quando são detetados defeitos ou não conformidades?
3. Existem procedimentos escritos para definir como executar o exercício de rastreabilidade? Se sim estes são utilizados?
4. Quais os dados registados manualmente e quais os dados registados em sistema? Estes são fidedignos? Que controle existe para assegurar a qualidade destes dados?
5. Quais as principais falhas de comunicação no exercício de rastreabilidade?
6. Como funciona o processo x?
7. Que sistemas de informação são utilizados?

Perguntas Específicas:

1. Que atividades estão envolvidas neste processo?
2. Que atividades estão envolvidas neste processo, no âmbito da rastreabilidade, e que motivos levam a que estas sejam realizadas?
3. Que recursos/materiais são usados e de que forma é realizado o consumo de materiais?
4. Como é monitorizada a produção?
5. Quais as limitações e oportunidades de melhoria identificadas nesta etapa?

Figura B.1: Guião para a observação em chão de fábrica com exemplos de perguntas

Anexo C

Hierarquia da *Process Classification Framework*®

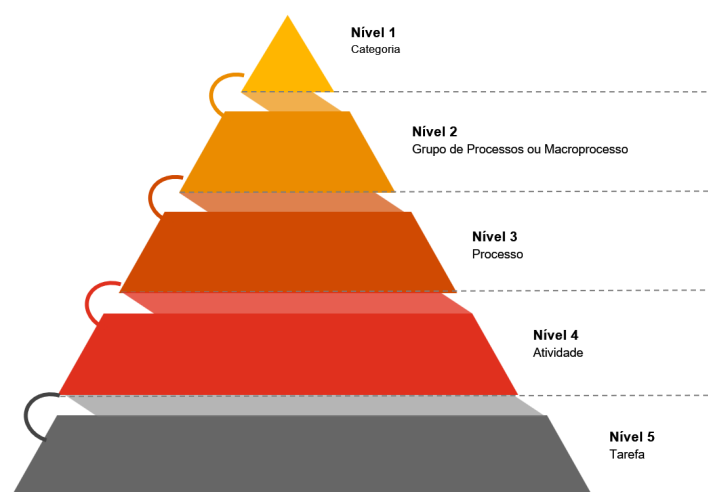
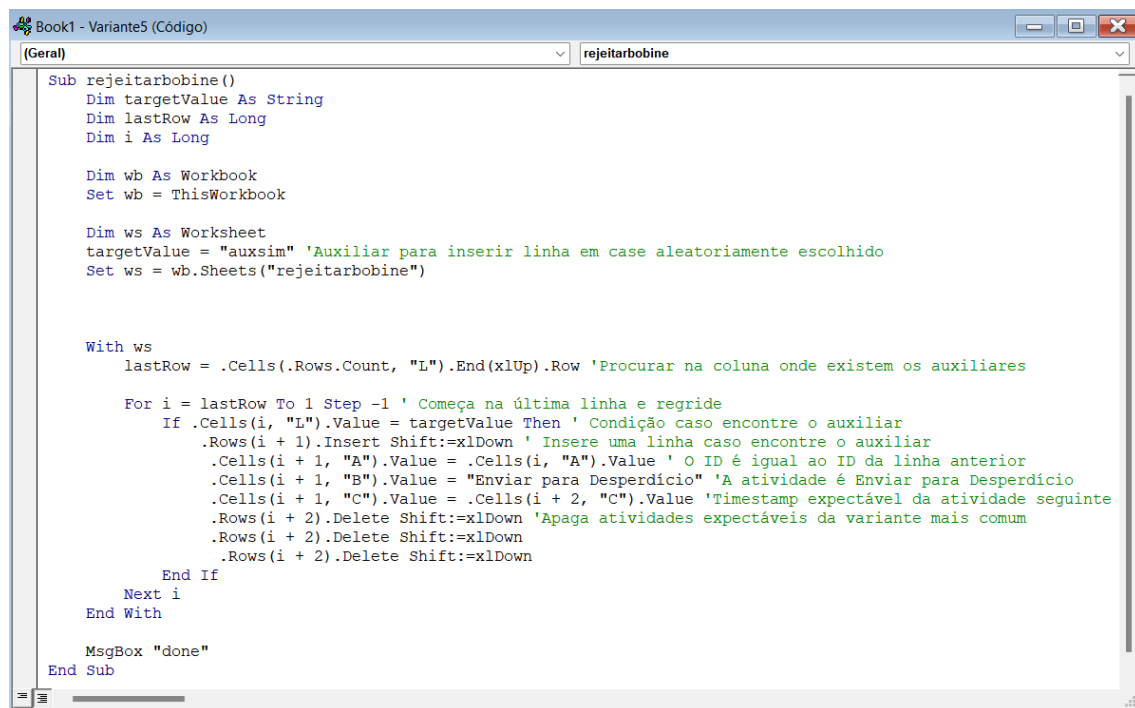


Figura C.1: Hierarquia da *Process Classification Framework*®. (Fonte: Adaptado de APQC (2023))

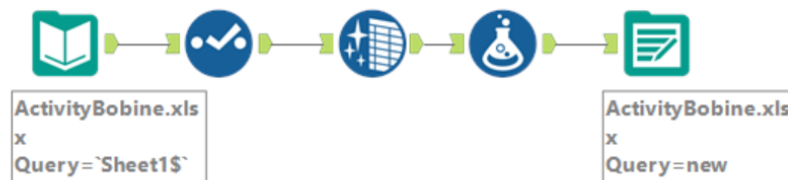
Anexo D

Configurações para *Process Mining*



```
Sub rejeitarbobine()  
    Dim targetValue As String  
    Dim lastRow As Long  
    Dim i As Long  
  
    Dim wb As Workbook  
    Set wb = ThisWorkbook  
  
    Dim ws As Worksheet  
    targetValue = "auxsim" 'Auxiliar para inserir linha em case aleatoriamente escolhido  
    Set ws = wb.Sheets("rejeitarbobine")  
  
    With ws  
        lastRow = .Cells(.Rows.Count, "L").End(xlUp).Row 'Procurar na coluna onde existem os auxiliares  
  
        For i = lastRow To 1 Step -1 ' Começa na última linha e regride  
            If .Cells(i, "L").Value = targetValue Then ' Condição caso encontre o auxiliar  
                .Rows(i + 1).Insert Shift:=xlDown ' Insere uma linha caso encontre o auxiliar  
                .Cells(i + 1, "A").Value = .Cells(i, "A").Value ' O ID é igual ao ID da linha anterior  
                .Cells(i + 1, "B").Value = "Enviar para Desperdício" 'A atividade é Enviar para Desperdício  
                .Cells(i + 1, "C").Value = .Cells(i + 2, "C").Value 'Timestamp expectável da atividade seguinte  
                .Rows(i + 2).Delete Shift:=xlDown 'Apaga atividades expectáveis da variante mais comum  
                .Rows(i + 2).Delete Shift:=xlDown  
            End If  
        Next i  
    End With  
  
    MsgBox "done"  
End Sub
```

Figura D.1: Exemplo de configuração em VBA de uma variante de processo

Figura D.2: Exemplo de processamento dos dados em *Alteryx Designer*

Paleta_LoteID	Activity	Timestamp
1	Iniciar Formação de Paletes	29/03/2023 05:56
1	Formar Paleta	29/03/2023 05:56
1	Cortar Paleta	29/03/2023 09:01
1	Enresmar Produto	29/03/2023 10:45
1	Avaliar Conformidade	29/03/2023 13:07
1	Armazenar Paleta	29/03/2023 15:49
1	Preparar Carga	04/04/2023 15:33
1	Dar Baixa em Stock	04/04/2023 16:39
1	Expedir Paleta por Via Terrestre	04/04/2023 17:44
2	Iniciar Formação de Paletes	29/03/2023 05:56
2	Formar Paleta	29/03/2023 09:01
2	Cortar Paleta	29/03/2023 12:44
2	Enresmar Produto	29/03/2023 15:08
2	Avaliar Conformidade	29/03/2023 16:27
2	Armazenar Paleta	29/03/2023 20:09
2	Preparar Carga	04/04/2023 21:08
2	Dar Baixa em Stock	04/04/2023 22:12
2	Expedir Paleta por Via Marítima	04/04/2023 23:18
3	Iniciar Formação de Paletes	29/03/2023 05:56
3	Formar Paleta	29/03/2023 12:44
3	Cortar Paleta	29/03/2023 15:06
3	Enresmar Produto	29/03/2023 15:51
3	Avaliar Conformidade	29/03/2023 18:45
3	Enviar para desperdício	29/03/2023 22:25
4	Iniciar Formação de Paletes	29/03/2023 05:56
4	Formar Paleta	29/03/2023 15:06
4	Cortar Paleta	29/03/2023 18:39
4	Enresmar Produto	29/03/2023 19:26

Figura D.3: Exemplo de *dataset* executado

BobineCase_Sheet1 ✕

☐ Convert all columns to string ⓘ
 ☐ Thousand separator ☐ Decimal separator ☐ ,

BOBINE_LOTEID	JUMBO_LOTEID	BOBINESTATUS	NLOAD	MILL ORDER	FINISHING ORDER	PESOBOBINEINICIAL	PESOBOBINEFIN
STRING	STRING	STRING	STRING	STRING	STRING	INTEGER	INTEGER
String length 80	String length 80	String length 80	String length 80	String length 80	String length 80	7481	0
3	1	Consumida	1	1001	FOA	7491	2497
4	1	Consumida	1	1001	FOA	7533	0
5	1	Consumida	1	1001	FOA	7531	2510.33333333
6	1	Consumida	1	1001	FOA	7513	0
7	1	Consumida	1	1001	FOA	7494	0
8	1	Consumida	7	1003	FOA	7479	0
9	1	Consumida	3	1001	FOA	7472	0
10	1	Consumida	6	1002	FOA	7478	0
11	2	Consumida	2	1001	FOA	7546	0
12	2	Expedida				7543	0
13	2	Expedida				7527	7527
14	2	Consumida	2	1001	FOA	7538	7538
15	2	Expedida				7482	0
16	2	Expedida				7485	7485
17	2	Expedida				7508	7508
						7451	7451

Figura D.4: Exemplo de importação e configuração de atributos de uma tabela em *Celonis*

ABC	BOBINE_LOTEID	ABC	ACTIVITY	DATE	TIMESTAMP
1			Controlar Qualidade	2023-03-22	01:11:18
1			Enviar para Desperdicio	2023-03-22	04:01:08
1			Formar Bobine	2023-03-21	21:27:18
10			Armazémar Bobine	2023-03-22	03:33:50
10			Consumir Bobine	2023-03-30	20:40:17
10	✕ Case ID	✕ Activity name		20	✕ Timestamp
10			Formar Bobine	2023-03-21	21:27:18
10			Iniciar produção de Pa...	2023-03-31	00:15:15
10			Requisitar Bobine ao A...	2023-03-30	18:42:12
100			Armazémar Bobine	2023-03-26	19:55:59
100			Consumir Bobine	2023-04-02	00:39:29
100			Controlar Qualidade	2023-03-26	18:31:45
100			Formar Bobine	2023-03-26	14:42:25
100			Iniciar produção de Pa...	2023-04-02	04:09:37
100			Requisitar Bobine ao A...	2023-04-01	22:58:21
101			Armazémar Bobine	2023-03-27	13:03:52
101			Consumir Bobine	2023-03-31	21:47:59
101			Controlar Qualidade	2023-03-27	10:19:37

Figura D.5: Exemplo de configuração de uma *activity table* em *Celonis*

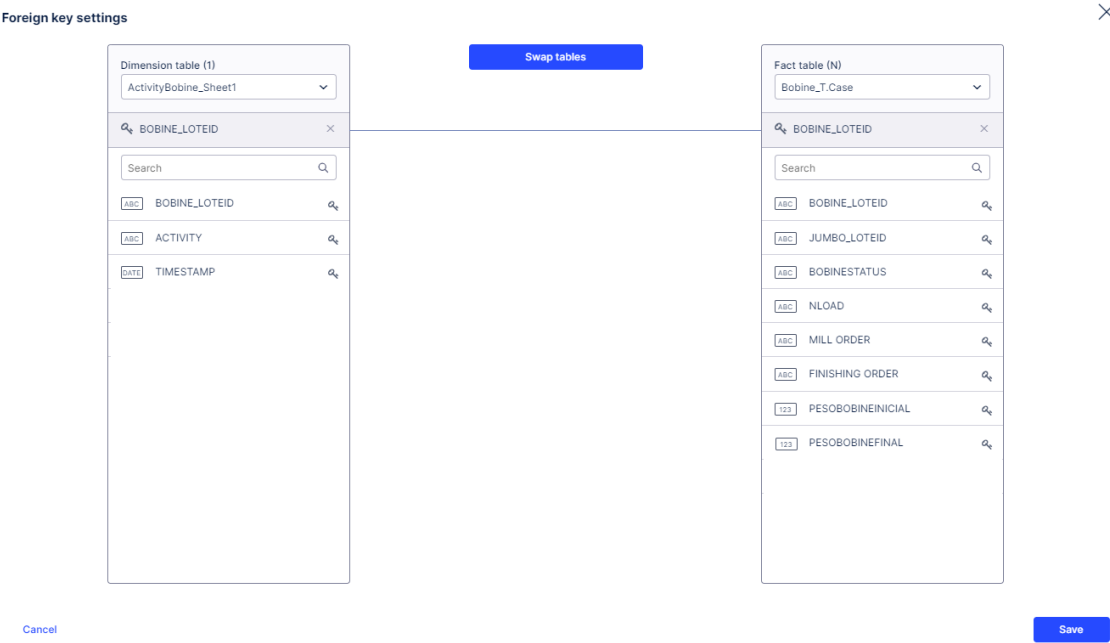


Figura D.6: Exemplo de configuração de chave estrangeira entre tabelas em Celonis

Anexo E

Iterações das fases de mineração, análise e avaliação

ID iteração	ID PI	PI	Event Log
1	PI.1.	Como são os processos de produção e expedição?	Todos
2	PI.1.1.	Como é o processo de produção de jumbos?	Jumbo
3	PI.1.1.1.	O que acontece na variante 2 do processo e porquê?	Jumbo
4	PI.1.2.	Como são os processos de produção e expedição de bobines?	Bobine
5	PI.1.2.1.	Como é o processo de produção de bobines disponíveis em armazém?	Bobine
6	PI.1.2.2.	Como são os processos de produção e expedição de bobines expedidas?	Bobine
7	PI.1.2.2.1.	Qual o rácio de bobines expedidas que são expedidas via marítima e quais são?	Bobine
8	PI.1.2.3.	Como é o processo de produção de bobines consumidas?	Bobine
9	PI.1.2.4.	Como é o processo de produção de bobines rejeitadas?	Bobine
10	PI.1.2.4.1.	O que acontece às bobines que são enviadas para desperdício após o seu consumo?	Bobine
11	PI.1.2.5.	Uma bobine é consumida em mais do que uma <i>mill order</i> ?	Bobine
12	PI.1.2.6.	Qual o nível de conformidade nos processos de produção e expedição de bobines?	Bobine
13	PI.1.3.	Como são os processos de produção e expedição de paletes?	Paleta
14	PI.1.3.1.	Como são os processos de produção e expedição de paletes de papel tipo A?	Paleta
15	PI.1.3.1.1.	O que acontece com as paletes que são filmadas duas vezes?	Paleta
16	PI.1.3.2.	Como são os processos de produção e expedição de paletes de papel tipo B?	Paleta
17	PI.1.3.3.	Qual o rácio de paletes expedidas que são expedidas via marítima e quais são?	Paleta
18	PI.1.3.4.	Qual o nível de conformidade nos processos de produção e expedição de paletes?	Paleta
19	PI.2.	Como funciona a rastreabilidade do produto nestes processos?	Todos
20	PI.2.1.	Como funciona a rastreabilidade direta de jumbos, bobines e paletes nos processos?	Todos
21	PI.2.2.	Como funciona a rastreabilidade inversa de jumbos, bobines e paletes nos processos?	Todos
22	PI.2.3.	Como funciona a rastreabilidade das caixas de papel tipo A?	Todos
23	PI.2.4.	Como funciona a rastreabilidade das resmas de papel tipo B?	Todos

Figura E.1: Perguntas de Investigação analisadas e *event logs* correspondentes

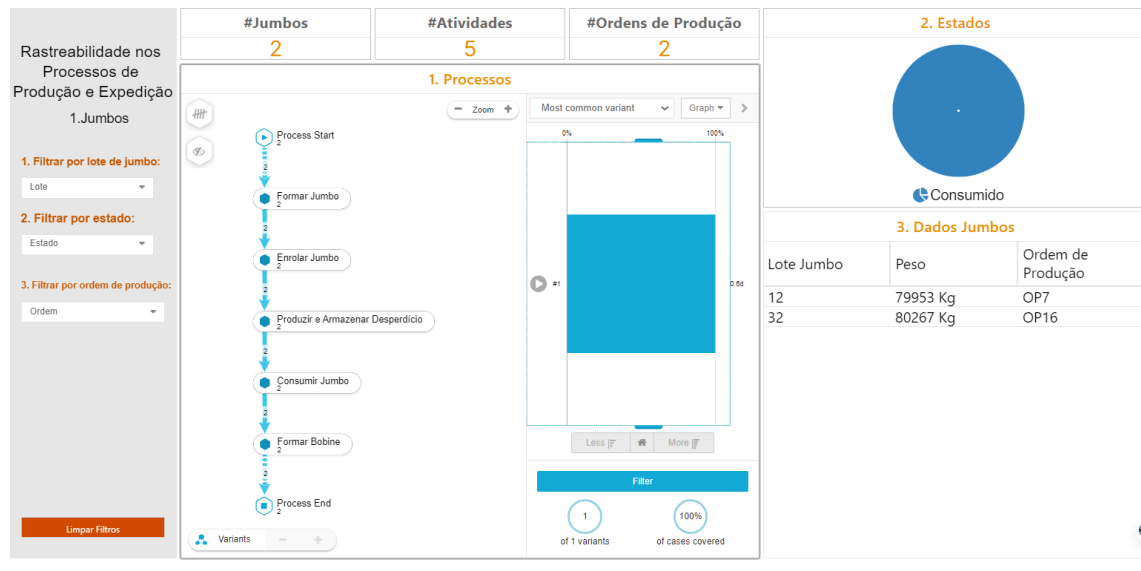


Figura E.2: Análise da PI.1.1.1. "O que acontece na variante 2 do processo e porquê?"

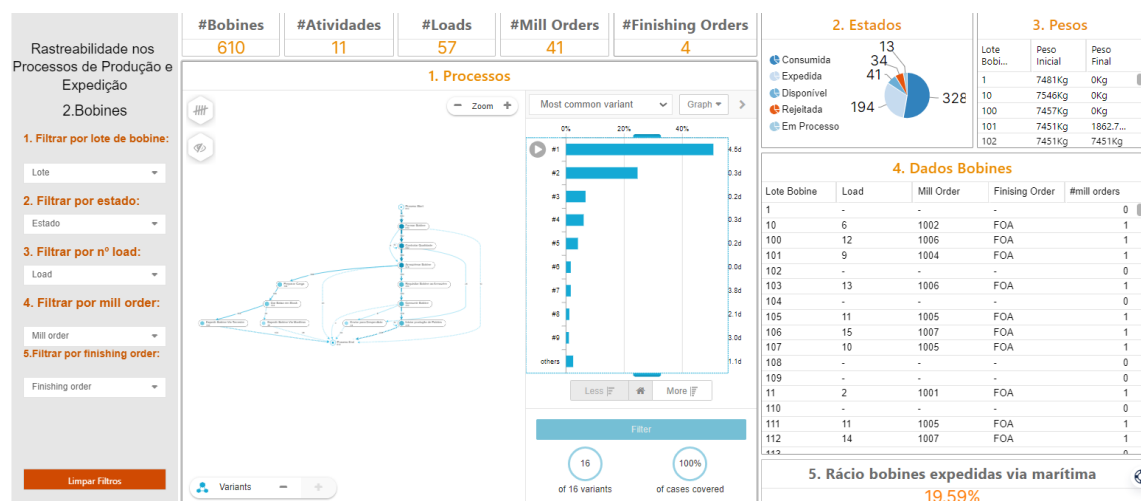


Figura E.3: Análise da PI.1.2. "Como são os processos de produção e expedição de bobines?" (antes da execução da filtragem)

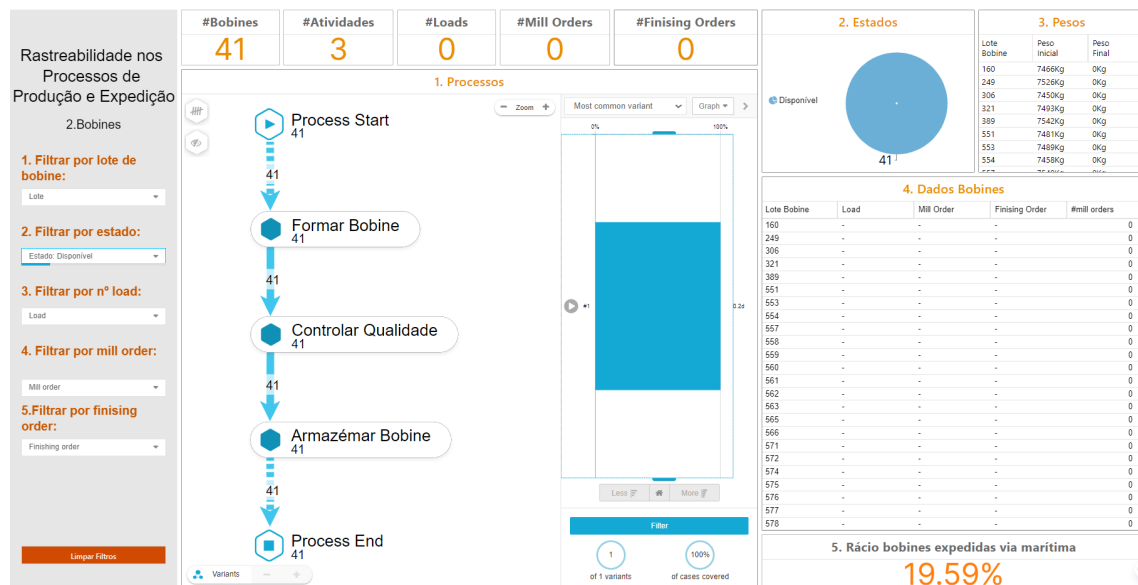


Figura E.4: Análise da PI.1.2.1. “Como é o processo de produção de bobines disponíveis em armazém?”

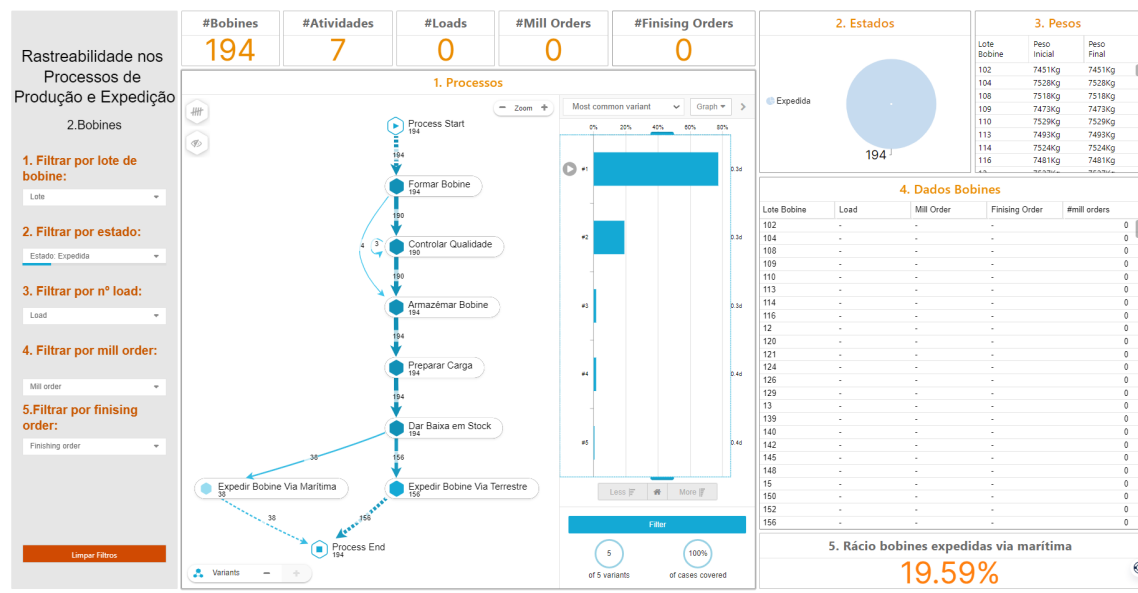


Figura E.5: Análise da PI.1.2.2. “Como são os processos de produção e expedição de bobines expedidas?”

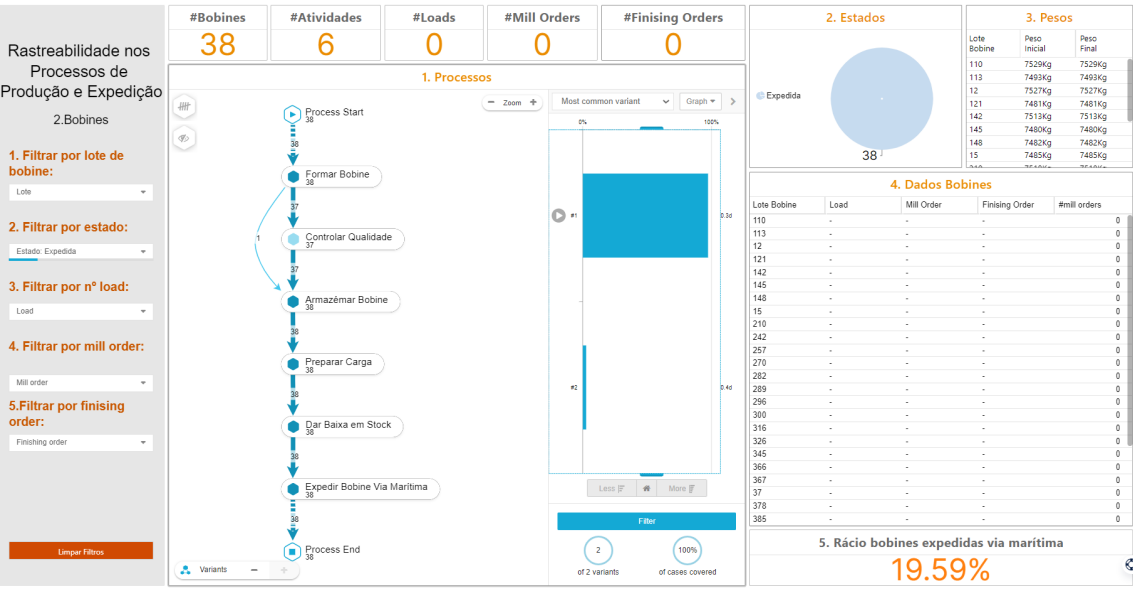


Figura E.6: Análise da PI.1.2.2.1 "Qual o rácio de bobines expedidas que são expedidas via marítima e quais são?"

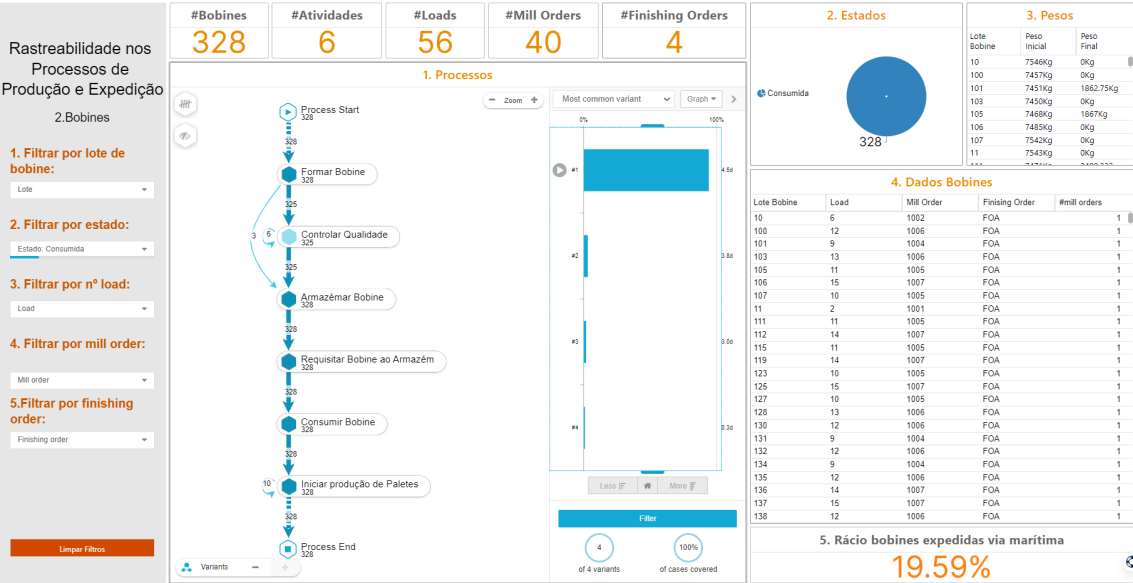


Figura E.7: Análise da PI.1.2.3. "Como é o processo de produção de bobines consumidas?"

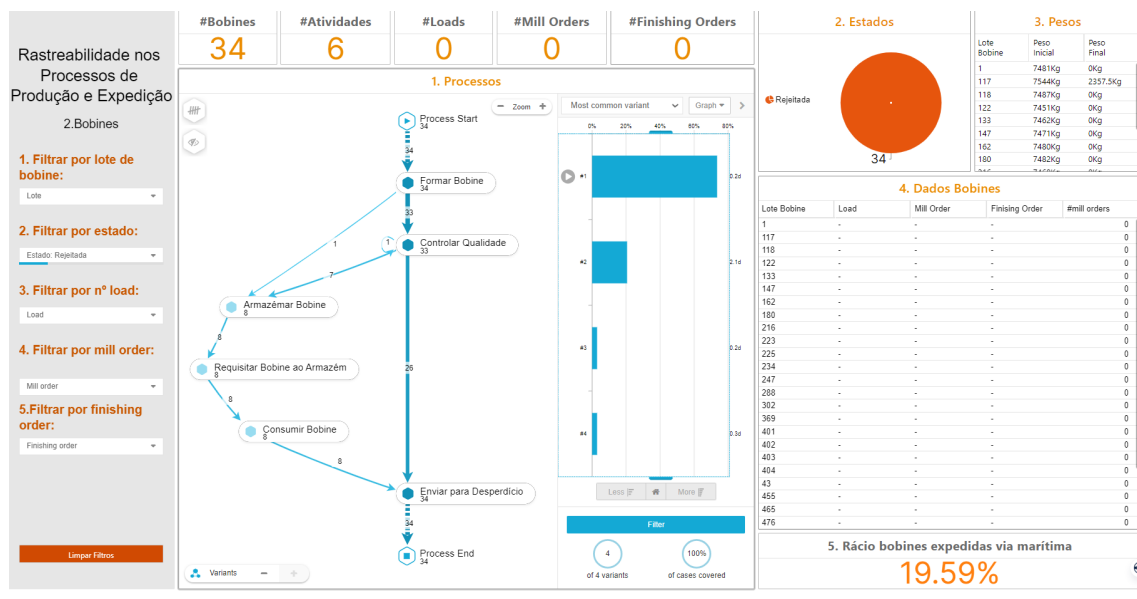


Figura E.8: Análise da PI.1.2.4. “Como é o processo de produção de bobines rejeitadas?”

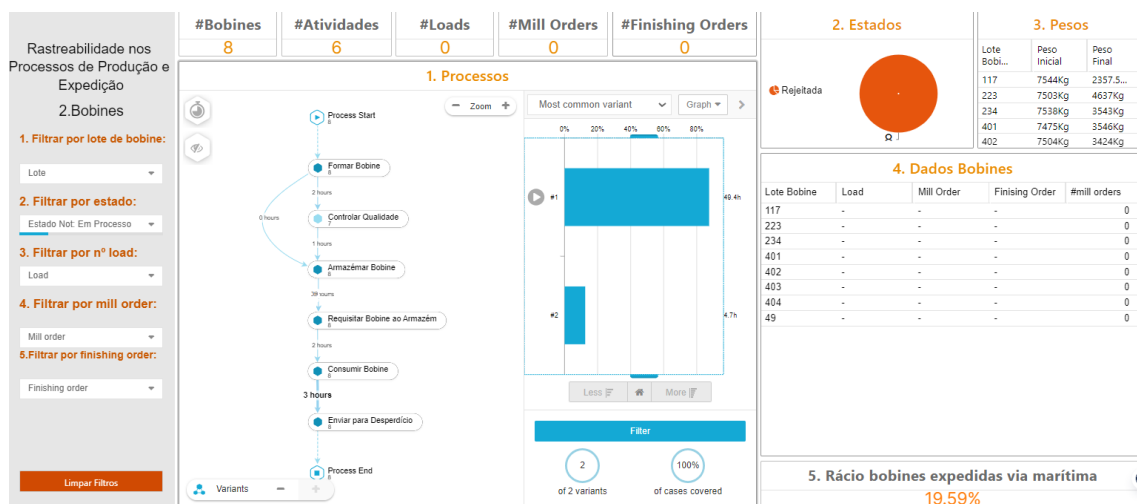


Figura E.9: Análise da PI.1.2.4.1 "O que acontece às bobines que são enviadas para desperdício após o seu consumo?"

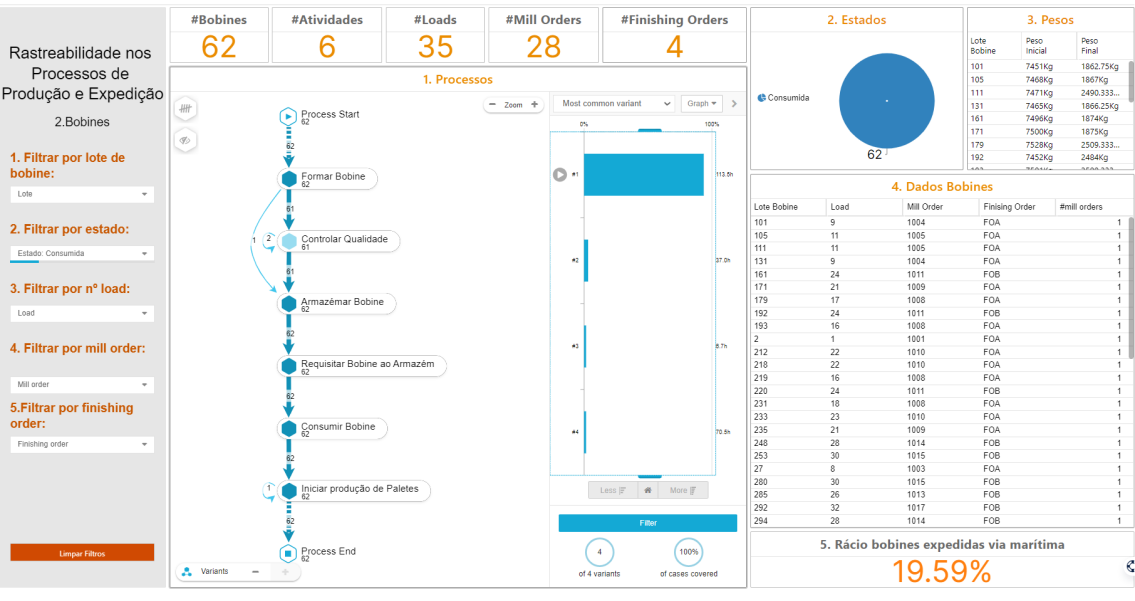


Figura E.10: Análise da PI.1.2.5. "Uma bobine é consumida em mais do que uma mill order?" (filtragem para bobines registradas como consumidas e cujo peso final não era nulo)

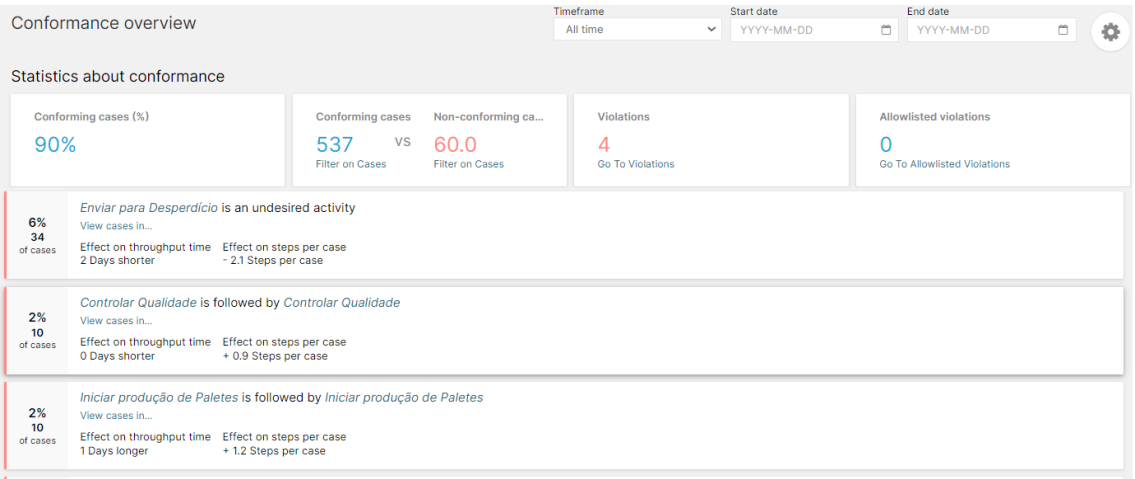


Figura E.11: Análise da PI.1.2.6. "Qual o nível de conformidade nos processos de produção e expedição de bobines?"

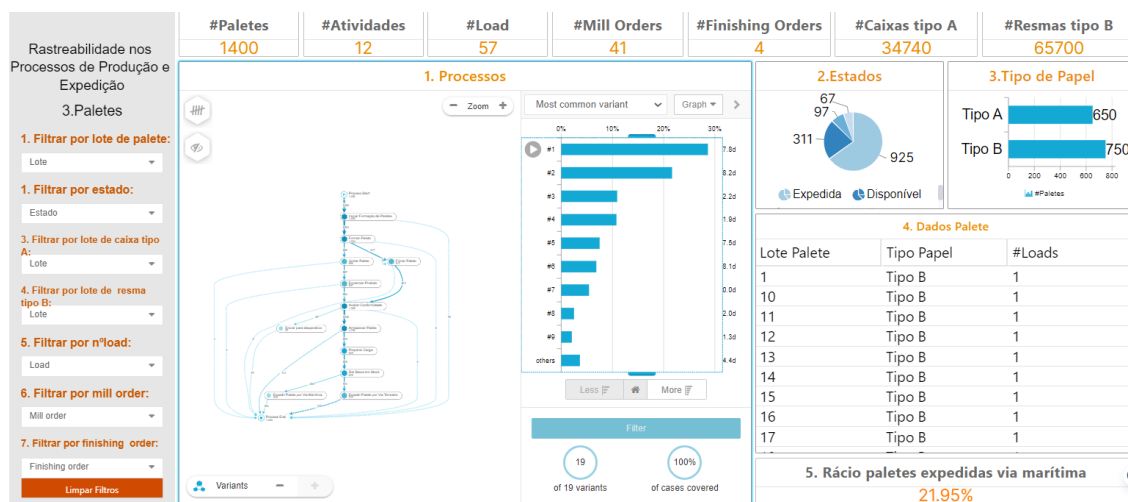


Figura E.12: Análise da PI.1.3.1."Como são os processos de produção e expedição de paletes?"(antes de filtragem)

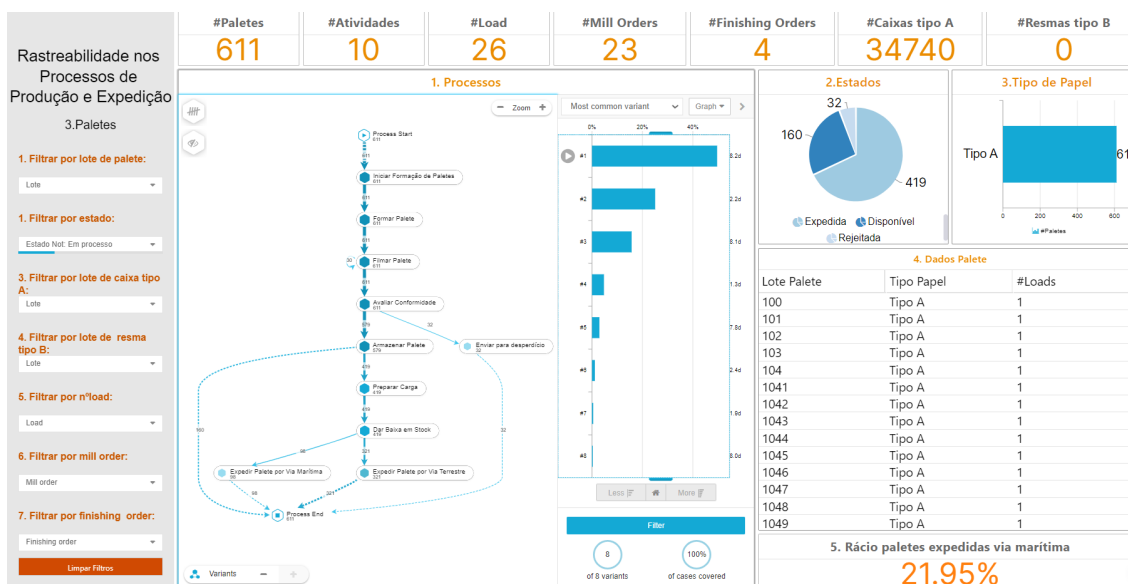


Figura E.13: Análise da PI.1.3.1."Como são os processos de produção e expedição de paletes de papel tipo A?"

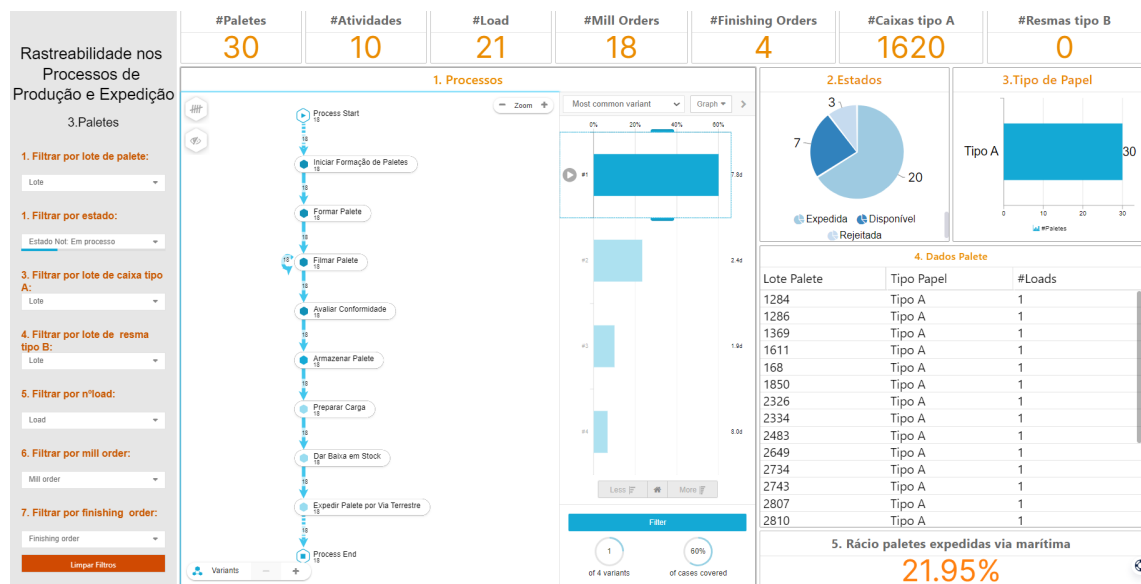


Figura E.14: Análise da PI.1.3.1.1 "O que acontece com as paletes que são filmadas duas vezes?"

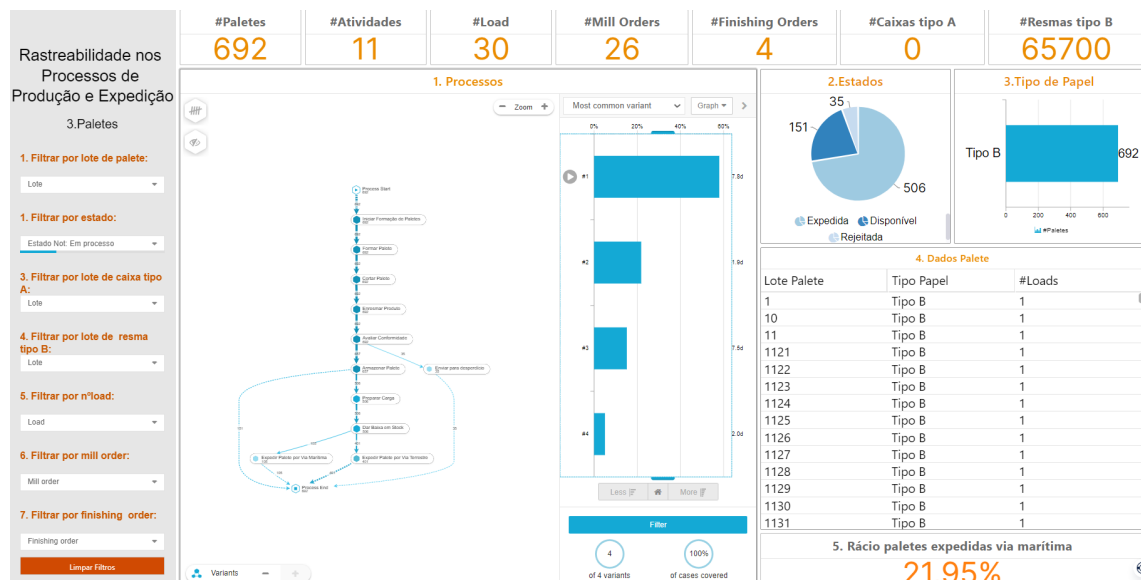


Figura E.15: Análise da PI.1.3.2. "Como funciona o processo das paletes de papel tipo B?"

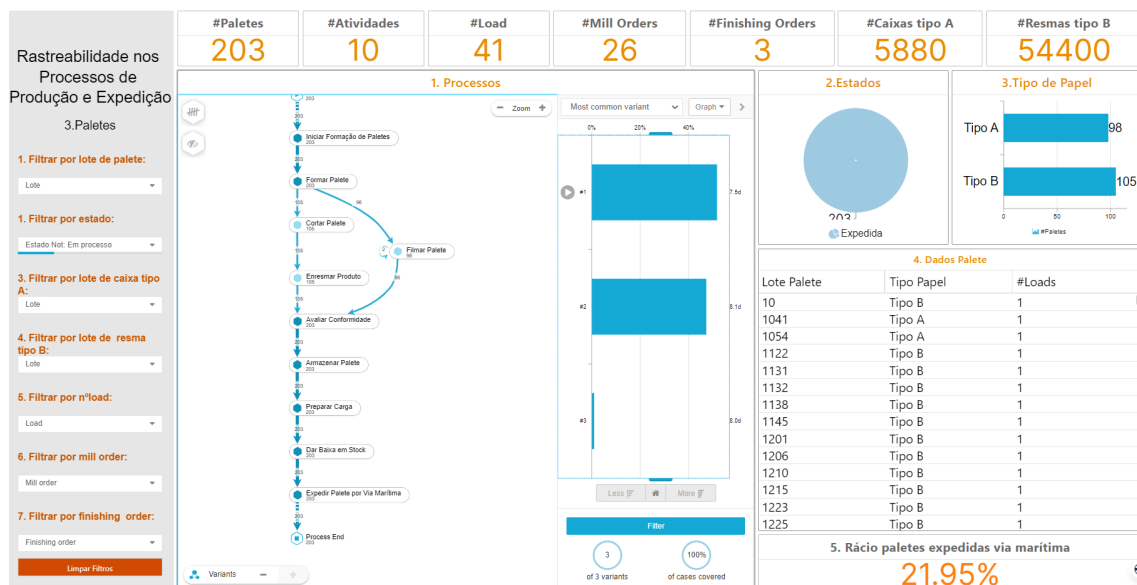


Figura E.16: Análise da PI.1.3.3. "Qual o rácio de paletes expedidas que são expedidas via marítima e quais são?"

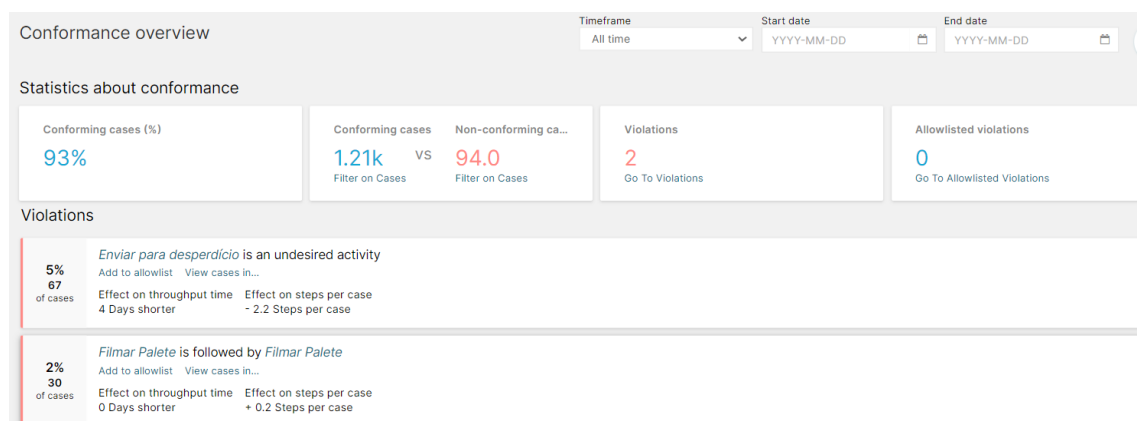


Figura E.17: Análise da PI.1.3.4. "Qual o nível de conformidade nos processos de produção e expedição de paletes?"

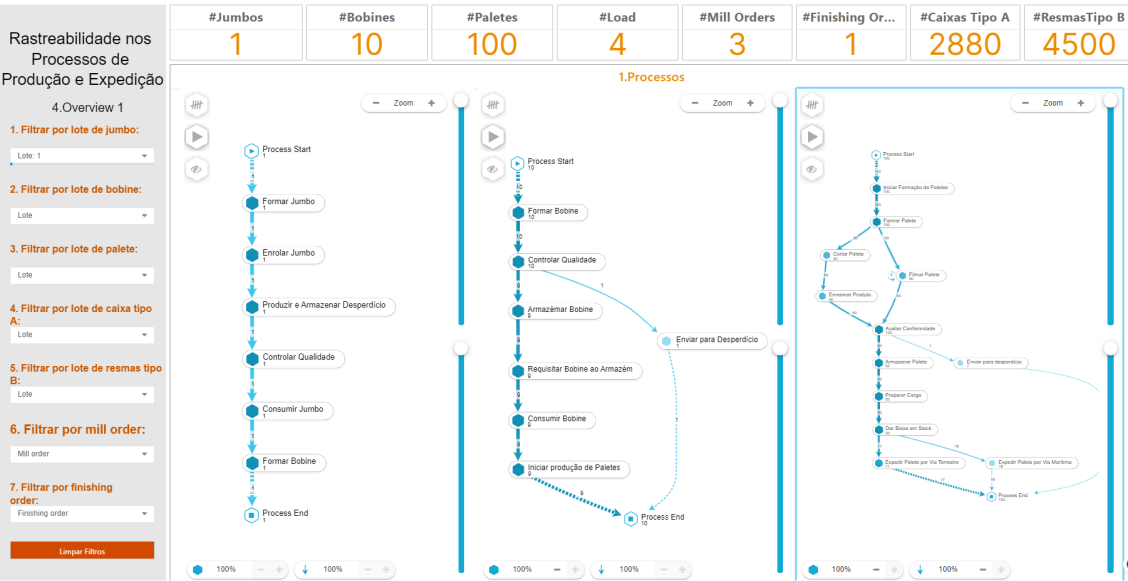


Figura E.18: Análise da PI.2.1."Como funciona a rastreabilidade direta de jumbos, bobines e paletes nos processos?"(vista processos)

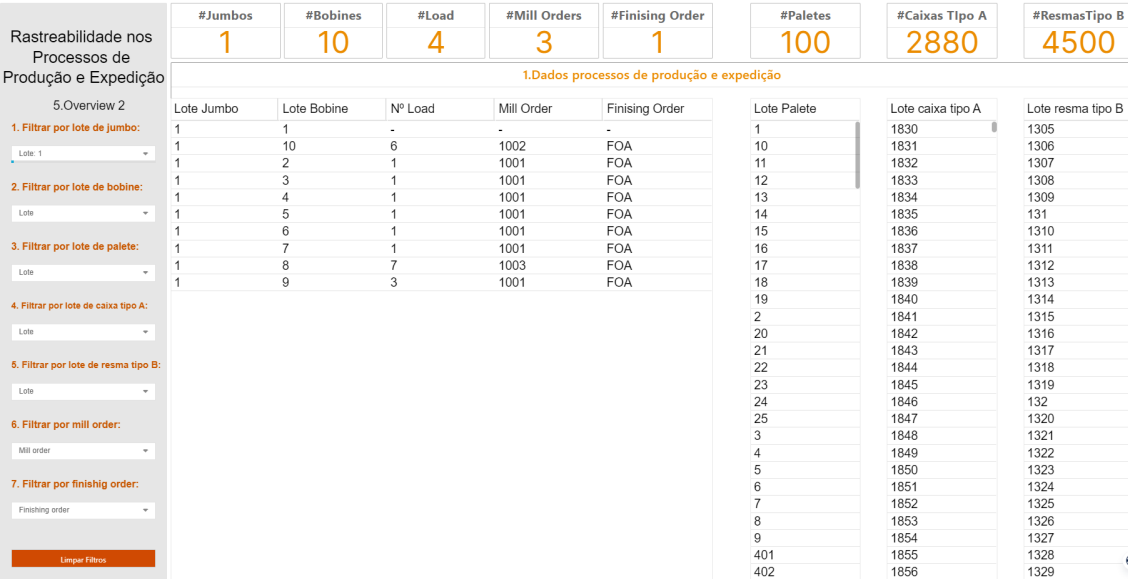


Figura E.19: Análise da PI.2.1."Como funciona a rastreabilidade direta de jumbos, bobines e paletes nos processos?"(vista tabelas)

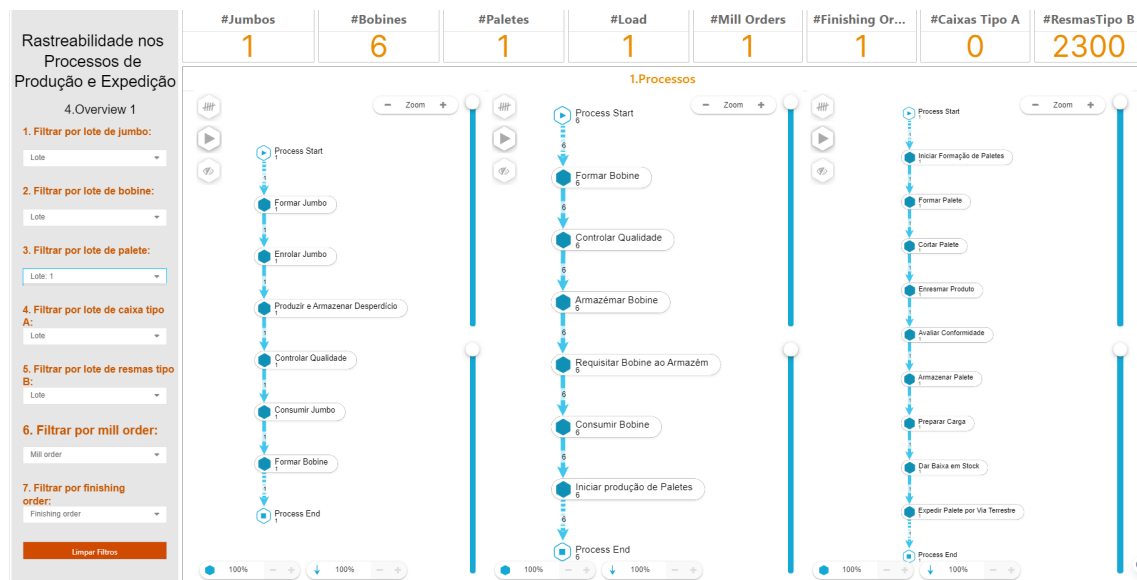


Figura E.20: Análise da PI.2.2."Como funciona a rastreabilidade inversa de jumbos, bobines e paletes nos processos?"(vista processos)

#Jumbos	#Bobines	#Load	#Mill Orders	#Finishing Order	#Paletes	#Caixas Tipo A	#ResmasTipo B
1	6	1	1	1	1	0	2300
1.Dados processos de produção e expedição							
Lote Jumbo	Lote Bobine	Nº Load	Mill Order	Finishing Order	Lote Paletes	Lote caixa tipo A	Lote resma tipo B
1	2	1	1001	FOA	1		1305
1	3	1	1001	FOA			1306
1	4	1	1001	FOA			1307
1	5	1	1001	FOA			1308
1	6	1	1001	FOA			1309
1	7	1	1001	FOA			131
							1310
							1311
							1312
							1313
							1314
							1315
							1316
							1317
							1318
							1319
							132
							1320
							1321
							1322
							1323
							1324
							1325
							1326
							1327
							1328
							1329

Figura E.21: Análise da PI.2.2."Como funciona a rastreabilidade inversa de jumbos, bobines e paletes nos processos?"(vista tabelas)

Rastreabilidade nos Processos de Produção e Expedição 5. Overview 2 1. Filtrar por lote de jumbo: Lote: 10 2. Filtrar por lote de bobine: Lote: 3. Filtrar por lote de paleta: Lote: 4. Filtrar por lote de caixa tipo A: Lote: 5. Filtrar por lote de resma tipo B: Lote: 6. Filtrar por mill order: Mill order: 7. Filtrar por finishing order: Finishing order: Limpar Filtros	#Jumbos	#Bobines	#Load	#Mill Orders	#Finising Order	#Paletes	#Caixas Tipo A	#ResmasTipo B
	1	10	5	4	1	125	3000	7200
	1.Dados processos de produção e expedição							
	Lote Jumbo	Lote Bobine	Nº Load	Mill Order	Finising Order	Lote Paleta	Lote caixa tipo A	Lote resma tipo B
	10	100	12	1006	FOA	801	5761	13040
	10	91	11	1005	FOA	802	5762	13041
	10	92	9	1004	FOA	803	5763	13042
	10	93	13	1006	FOA	804	5764	13043
	10	94	-	-	-	805	5765	13044
	10	95	-	-	-	806	5766	13045
	10	96	15	1007	FOA	807	5767	13046
	10	97	-	-	-	808	5768	13047
	10	98	13	1006	FOA	809	5769	13048
	10	99	-	-	-	810	5770	13049
						811	5771	13050
						812	5772	13051
						813	5773	13052
						814	5774	13053
						815	5775	13054
						816	5776	13055
						817	5777	13056
						818	5778	13057
						819	5779	13058
						820	5780	13059
						821	5781	13060
						822	5782	13061
						823	5783	13062
						824	5784	13063
						825	5785	13064
						881	5786	13065
						882	5787	13066

Figura E.22: Análise da PI.2.3."Como funciona a rastreabilidade das caixas de papel tipo A?"(análise rastreabilidade direta)

Rastreabilidade nos Processos de Produção e Expedição 5. Overview 2 1. Filtrar por lote de jumbo: Lote: 2. Filtrar por lote de bobine: Lote: 3. Filtrar por lote de paleta: Lote: 4. Filtrar por lote de caixa tipo A: Lote: 1 5. Filtrar por lote de resma tipo B: Lote: 6. Filtrar por mill order: Mill order: 7. Filtrar por finishing order: Finishing order: Limpar Filtros	#Jumbos	#Bobines	#Load	#Mill Orders	#Finising Order	#Paletes	#Caixas Tipo A	#ResmasTipo B
	3	6	1	1	1	1	1	0
	1.Dados processos de produção e expedição							
	Lote Jumbo	Lote Bobine	Nº Load	Mill Order	Finising Order	Lote Paleta	Lote caixa tipo A	Lote resma tipo B
	2	11	2	1001	FOA	81	1	
	2	14	2	1001	FOA			
	2	20	2	1001	FOA			
	4	32	2	1001	FOA			
	4	33	2	1001	FOA			
	7	67	2	1001	FOA			

Figura E.23: Análise da PI.2.3."Como funciona a rastreabilidade das caixas de papel tipo A?"(análise rastreabilidade inversa)

Rastreabilidade nos Processos de Produção e Expedição		#Jumbos	#Bobines	#Load	#Mill Orders	#Finising Order	#Paletes	#Caixas TIpo A	#ResmasTIpo B
		3	6	1	1	1	1	1	0
1.Dados processos de produção e expedição									
5.Overview 2		Lote Jumbo	Lote Bobine	Nº Load	Mill Order	Finising Order	Lote Palete	Lote caixa tipo A	Lote resma tipo B
1. Filtrar por lote de jumbo:		2	11	2	1001	FOA	81	1	
2. Filtrar por lote de bobine:		2	14	2	1001	FOA			
3. Filtrar por lote de palete:		2	20	2	1001	FOA			
4. Filtrar por lote de caixa tipo A:		4	32	2	1001	FOA			
5. Filtrar por lote de resma tipo B:		4	33	2	1001	FOA			
6. Filtrar por mill order:		7	67	2	1001	FOA			
7. Filtrar por finishig order:									
Limpar Filtros									

Figura E.24: Análise da PI.2.4."Como funciona a rastreabilidade das resmas de papel tipo B?" (rastreabilidade inversa)

Rastreabilidade nos Processos de Produção e Expedição		#Jumbos	#Bobines	#Load	#Mill Orders	#Finising O...	#Paletes	#Caixas TI...	#ResmasTI...
		1	10	4	3	1	100	2880	4500
1.Dados processos de produção e expedição									
5.Overview 2		Lote Jumbo	Lote Bobine	Nº Load	Mill Order	Finising Order	Lote Palete	Lote caixa tip...	Lote resma ti...
1. Filtrar por lote de jumbo:		1	1	-	-	-	1	1830	1305
2. Filtrar por lote de bobine:		1	10	6	1002	FOA	10	1831	1306
3. Filtrar por lote de palete:		1	2	1	1001	FOA	11	1832	1307
4. Filtrar por lote de caixa tipo A:		1	3	1	1001	FOA	12	1833	1308
5. Filtrar por lote de resma tipo B:		1	4	1	1001	FOA	13	1834	1309
6. Filtrar por mill order:		1	5	1	1001	FOA	14	1835	131
7. Filtrar por finishig order:		1	6	1	1001	FOA	15	1836	1310
Limpar Filtros		1	7	1	1001	FOA	16	1837	1311
		1	8	7	1003	FOA	17	1838	1312
		1	9	3	1001	FOA	18	1839	1313
							19	1840	1314
							2	1841	1315
							20	1842	1316
							21	1843	1317
							22	1844	1318
							23	1845	1319
							24	1846	132
							25	1847	1320
							3	1848	1321

Figura E.25: Análise da PI.2.4."Como funciona a rastreabilidade das resmas de papel tipo B?"(rastreabilidade direta)

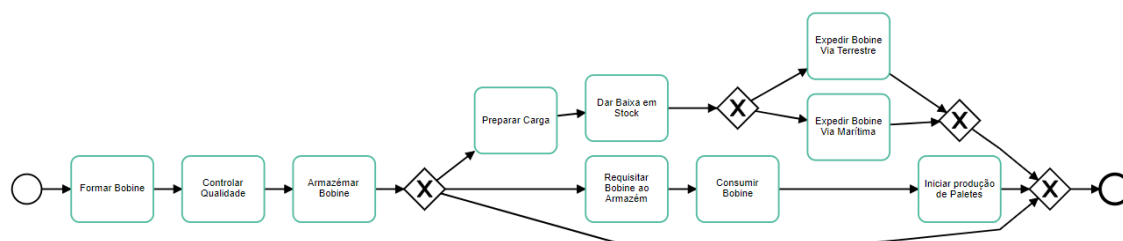


Figura E.26: Mapeamento do processo as-is do event log bobine

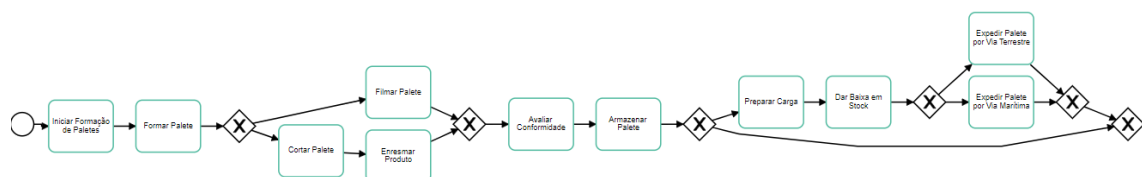


Figura E.27: Mapeamento do processo *as-is* do *event log* pallet

Mapeamento dos processos *to-be*

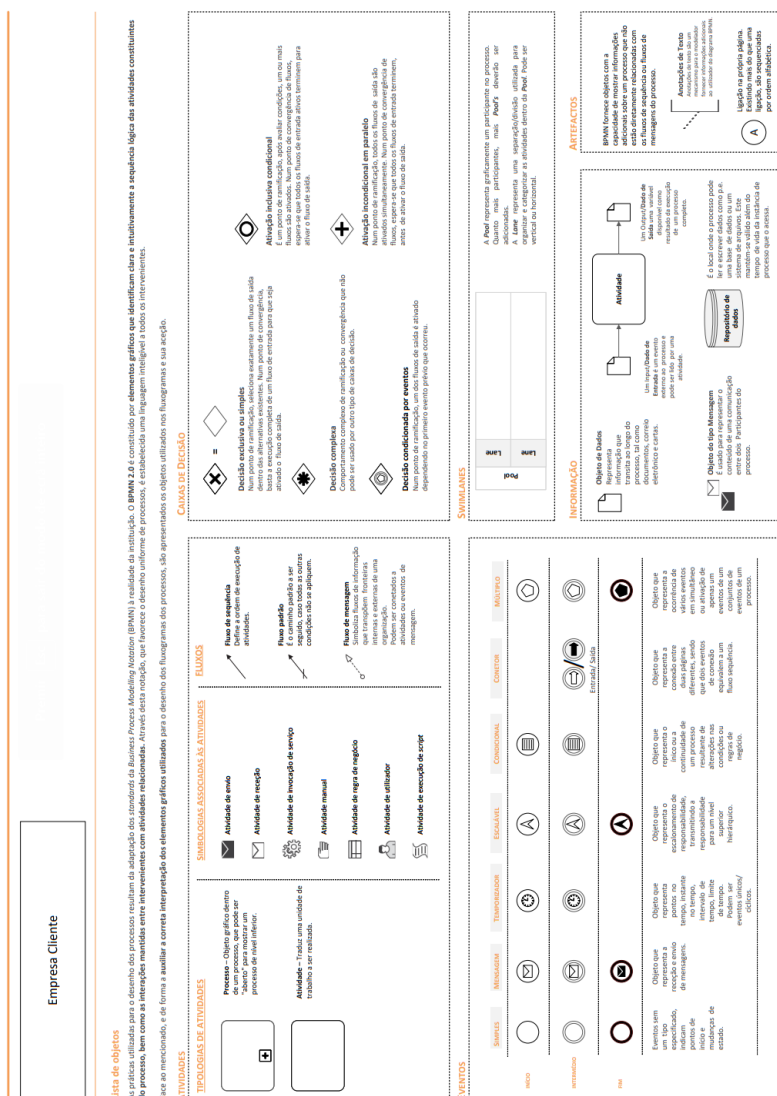


Figura F.1: Notação utilizada no mapeamento dos processos *to-be*

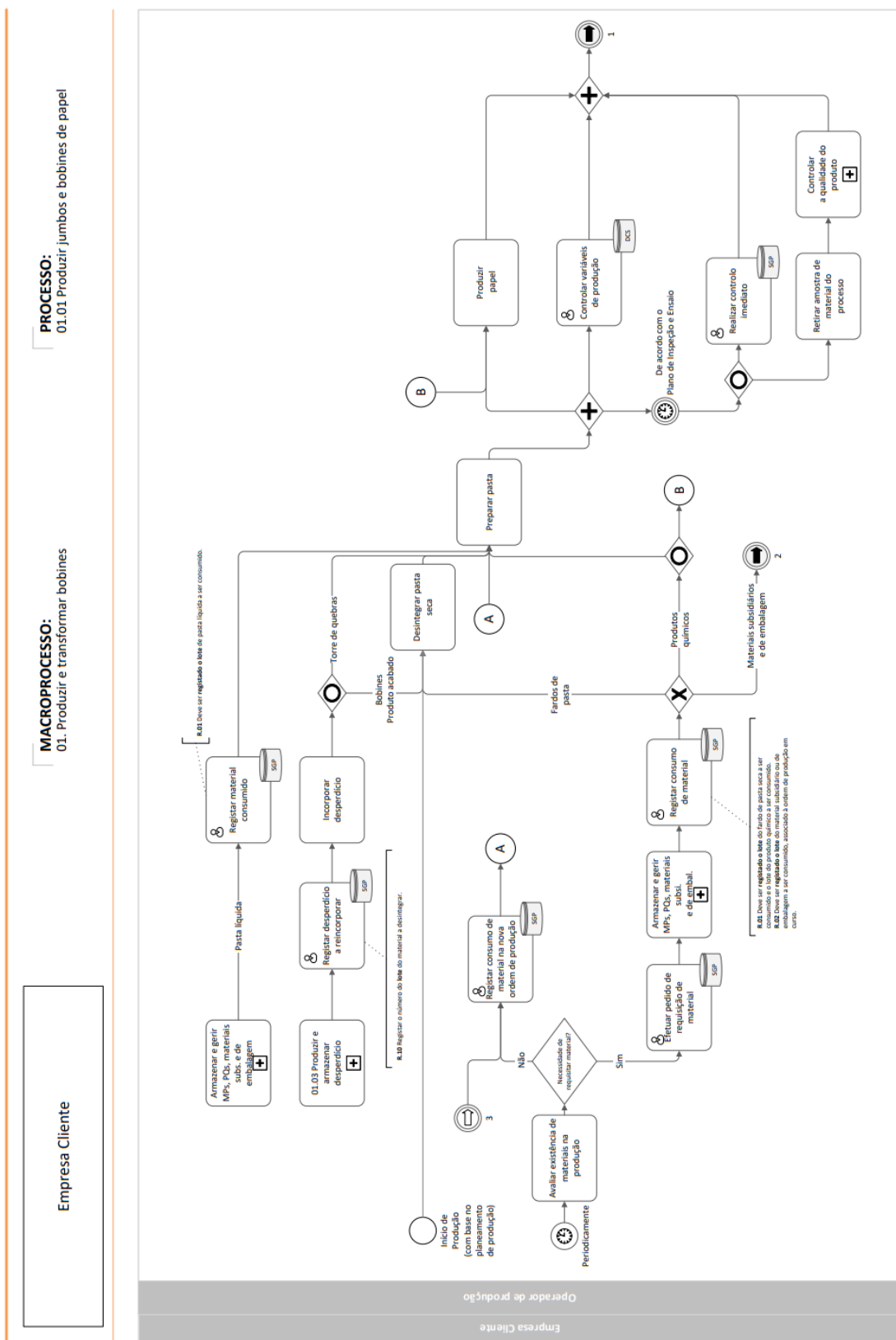


Figura F.2: Parte I do mapeamento do processo to-be de "Produzir jumbos e bobines de papel"

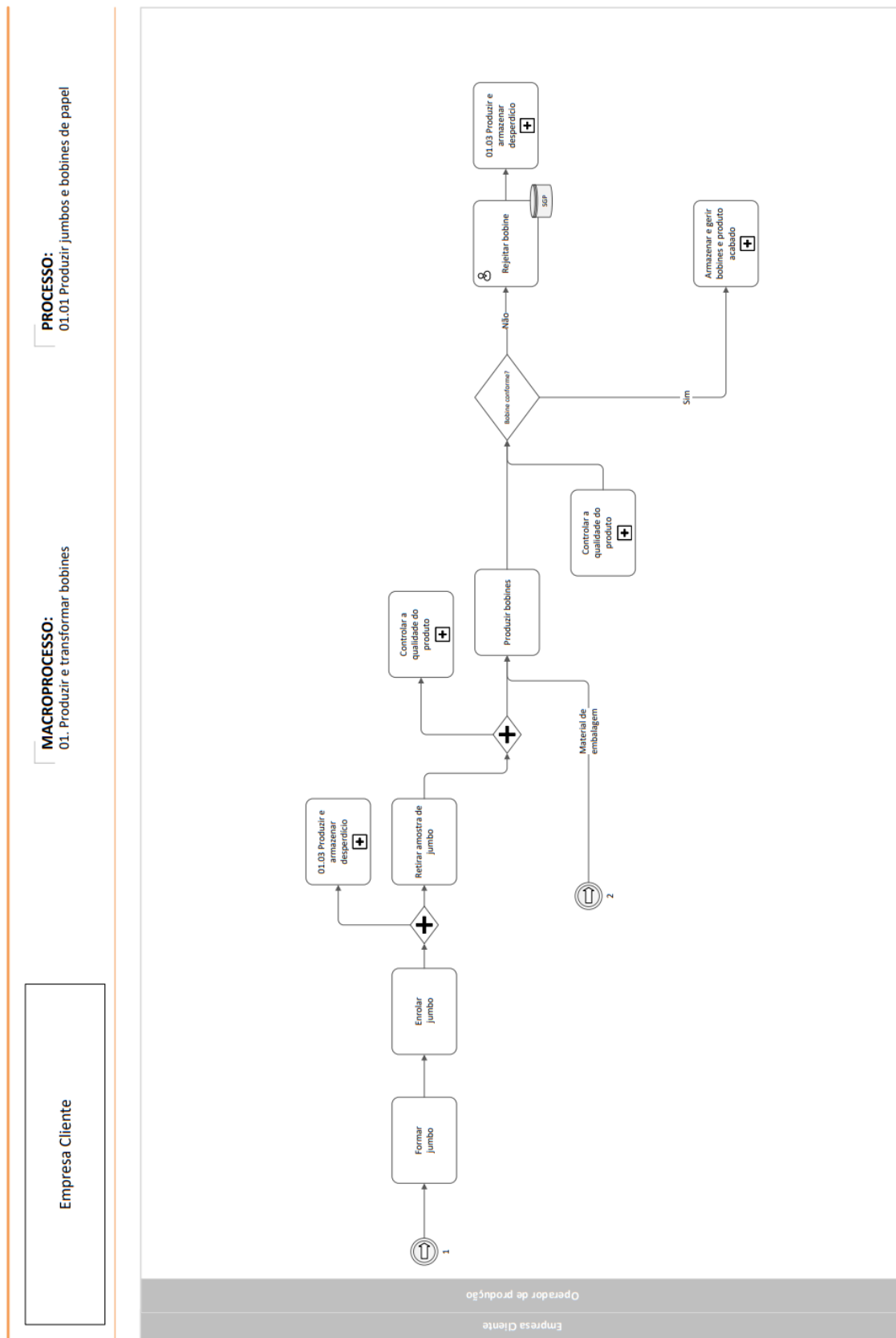


Figura F.3: Parte II do mapeamento do processo *to-be* de "Produzir jumbos e bobines de papel"

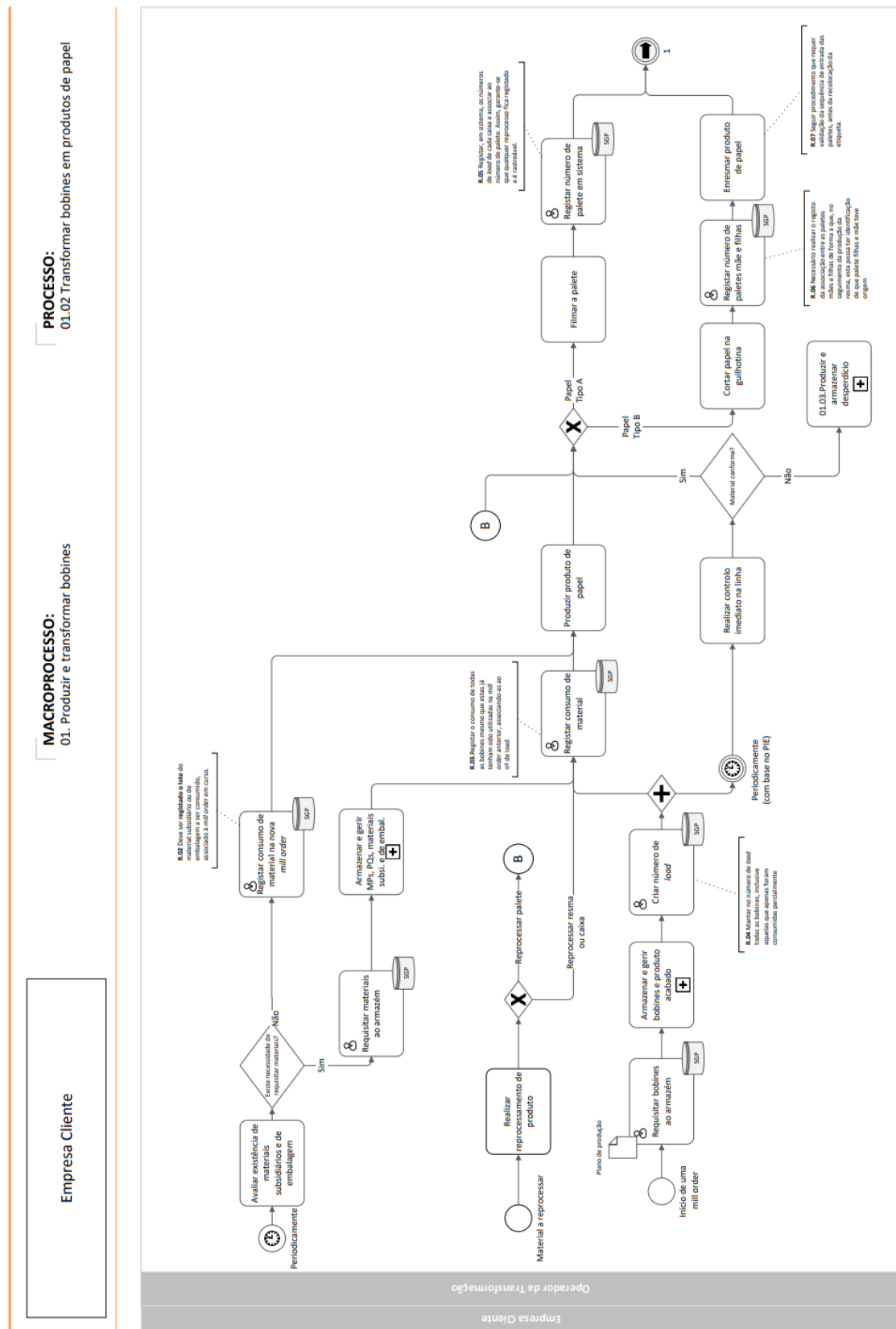


Figura F.4: Parte I do mapeamento do processo *to-be* de "Transformar bobines em produtos de papel"

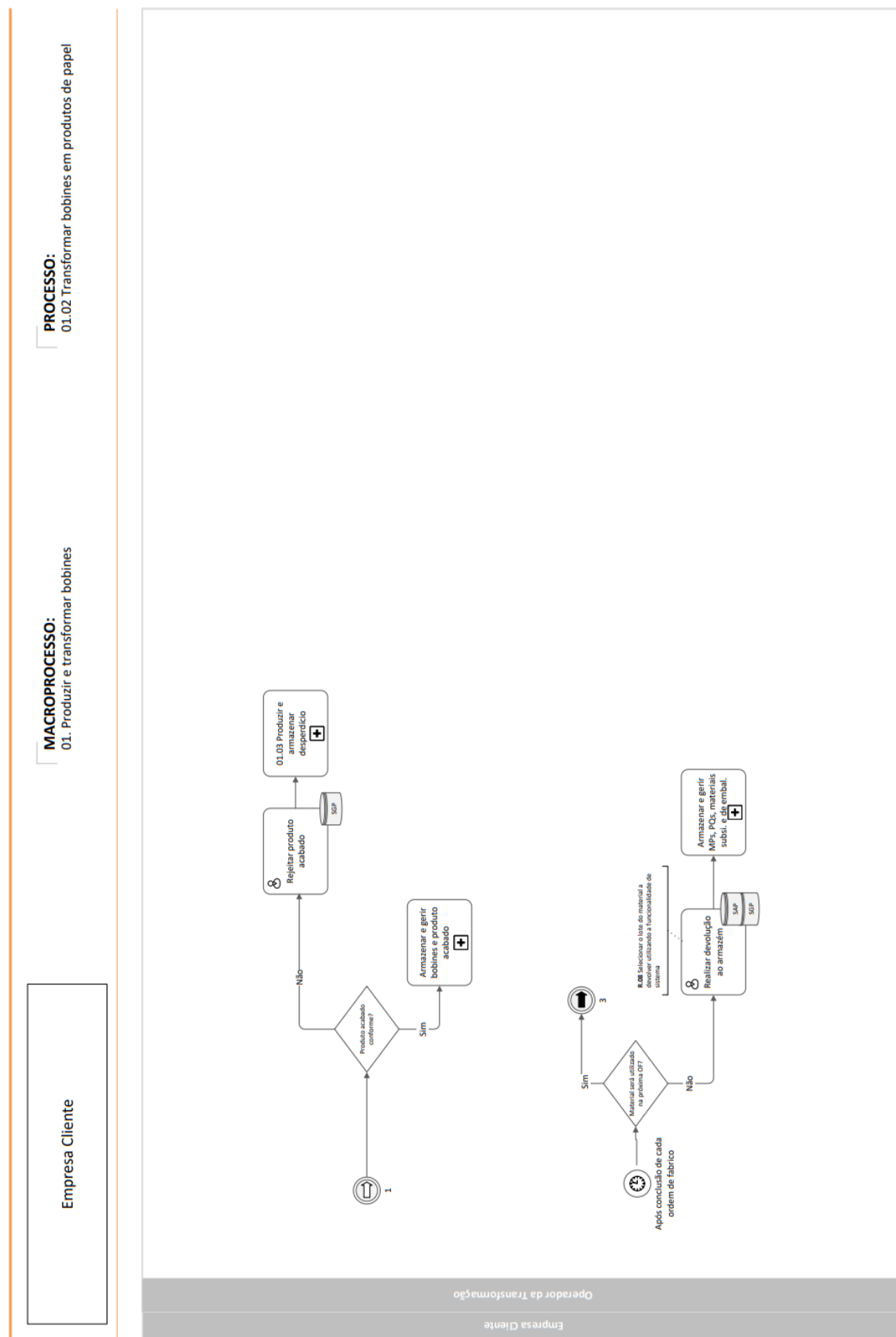


Figura F.5: Parte II do mapeamento do processo *to-be* de "Transformar bobines em produtos de papel"

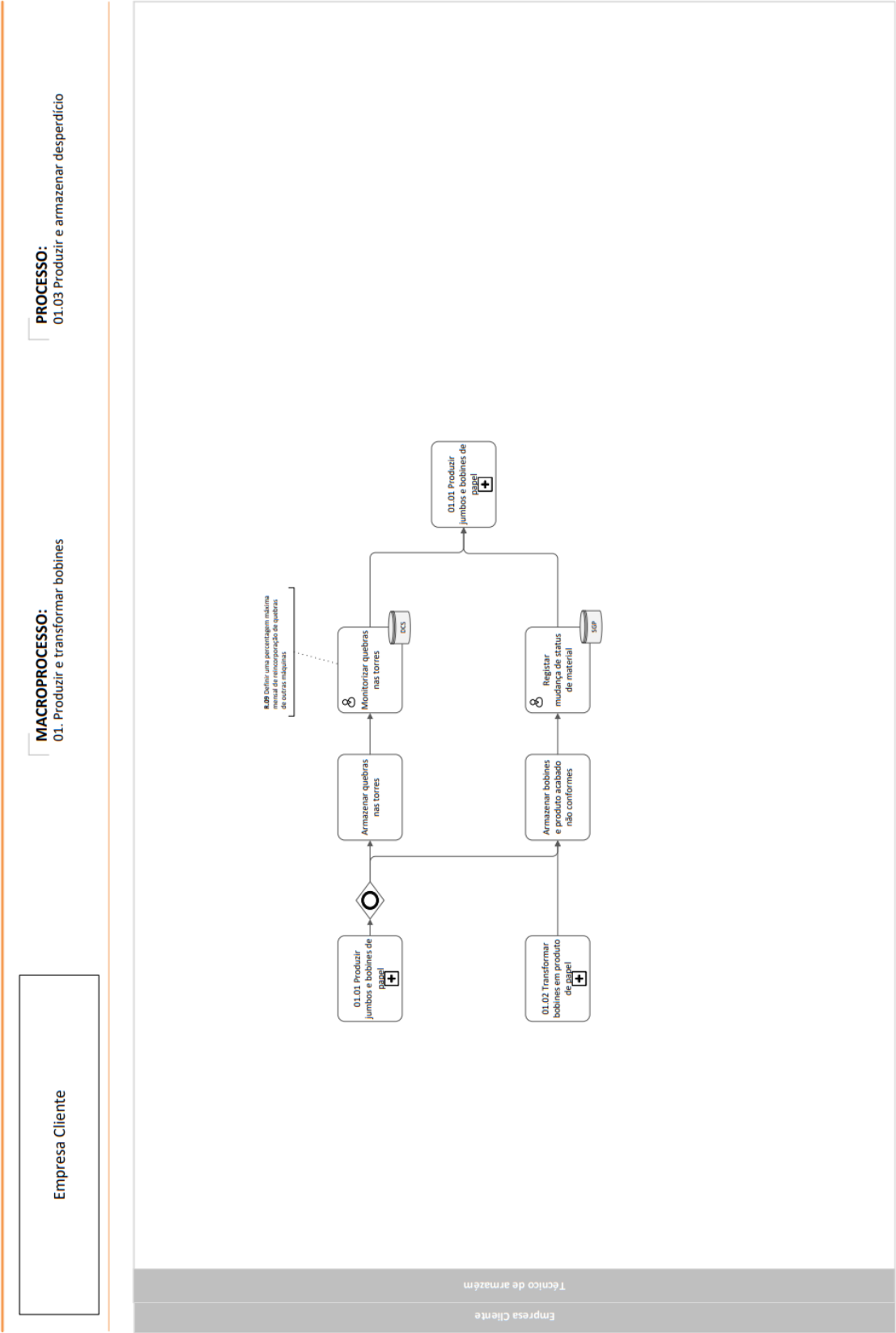


Figura F.6: Mapeamento do processo to-be de "Produzir e armazenar desperdício"

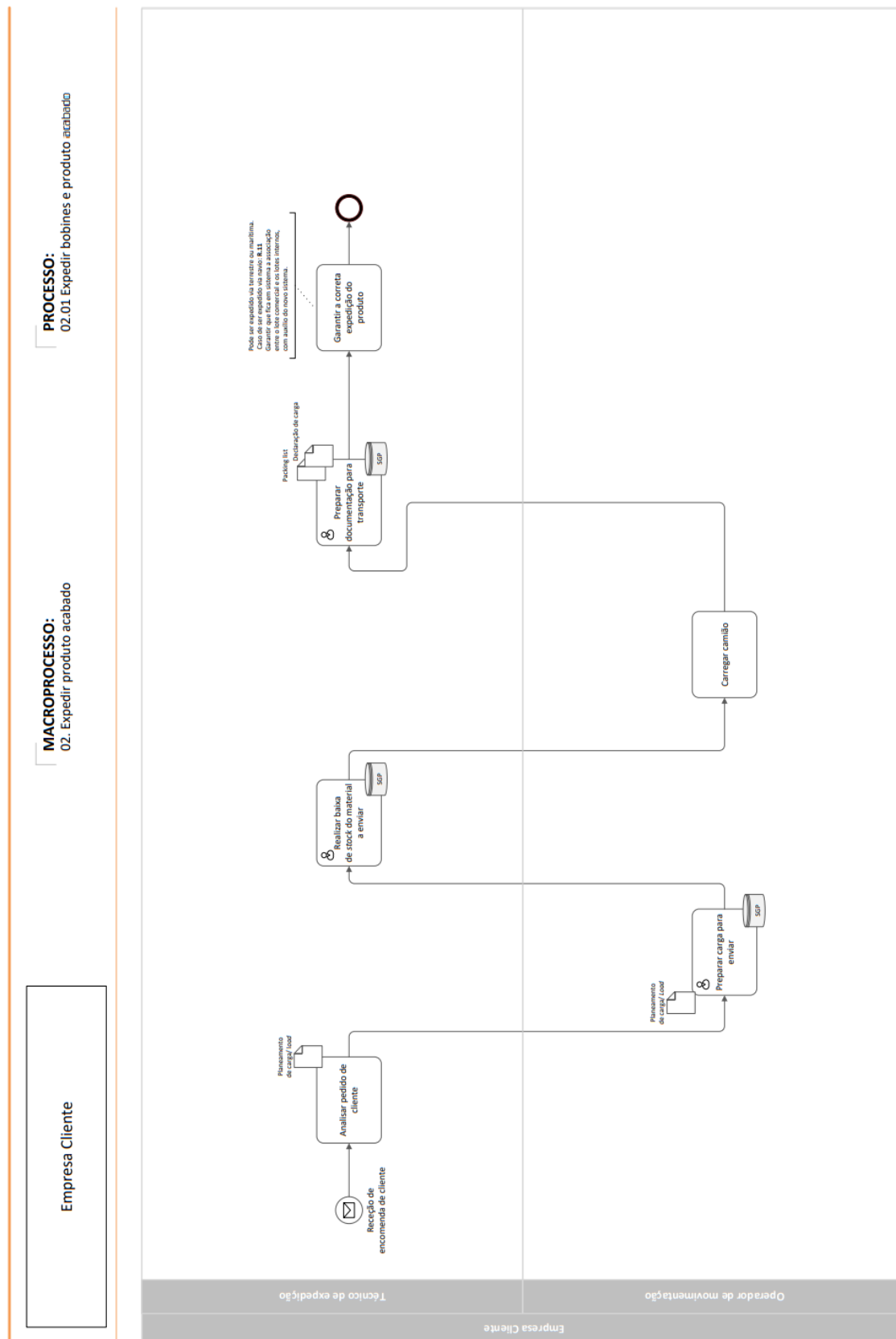


Figura F.7: Mapeamento do processo to-be de "Expedir bobines e produto acabado"