

APLICAÇÃO DE MINERAÇÃO DE PROCESSOS EM METALÚRGIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Pedro Antonio Boareto

Pablo Deivid Valle

Universidade Federal do Paraná – Curitiba -PR - Brasil

pedroboareto@ufpr.br – pablo.valle@ufpr.br

Resumo.

A crescente competitividade faz com que cada vez mais as indústrias busquem meios para inovar e se destacar. Para isso, buscam inovações tecnológicas, por meio da aplicação do conceito da transformação digital, em seus processos. Nesse sentido, é realizado um projeto de transformação digital em uma estamparia de uma metalúrgica de médio porte na região metropolitana de Curitiba. De modo que, esse artigo apresenta a primeira etapa de tal projeto, referente ao diagnóstico de potenciais melhorias a serem desenvolvidas por meio da aplicação da metodologia PM² de mineração de processos. Foi possível identificar que as máquinas LIX 04 e LIX 06 são os principais gargalos do processo, e que existe uma grande diferença de número de mudanças de status dentre os diferentes operadores das máquinas. Com isso, foi possível perceber que a mineração de processos foi extremamente significativa para encontrar problemas que os engenheiros de processos da fábrica não conseguiam e também, com tal diagnóstico, será possível dar continuidade ao processo de transformação digital da organização.

Palavras chave: Transformação Digital, Mineração de Processos, metalúrgica

1. INTRODUÇÃO

O termo indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial. Onde, as primeiras três revoluções se espalharam ao longo dos últimos duzentos anos. De modo que, cada vez mais, a indústria e a sociedade enfrentam mudanças radicais devido a um rápido crescimento das tecnologias digitais e sua penetração em praticamente todas as áreas, Ebert e Duarte (2016). Nesse sentido, surge a emergente tendência da transformação digital. Conceito esse que busca trazer soluções e inovação para problemas tradicionais com tecnologia e técnicas sofisticadas, e que segundo Lederer et al. (2017), busca otimizar os processos da organização e da cadeia de valor por meio de dados.

E para isso, Sarvari et al. (2008) aponta que diversas tecnologias são fundamentais, desde as de aprendizado de máquina, até mesmo as de sistemas na nuvem. E sabendo, conforme ressalta Xu et al. (2018), que toda organização de manufatura pode ser vista como processos de negócios que transformam entradas, desde matérias primas até horas de trabalho, em produtos ou serviços, a indústria 4.0 permite, com diversas técnicas de controle de processos de negócios, uma gestão mais eficiente e orientada para dados.

Nesse sentido, Schedlbauer (2010) observa que métodos de estudo de processos são empregados há muito tempo. Tais como: *brainstorming*, entrevistas, observações ativas e passivas e outros. Porém, como afirma Aalst et al. (2011), não existe uma análise rigorosa dos dados previamente existentes em tais técnicas. Portanto, devido à alta demanda do mercado e crescente necessidade por métodos mais ágeis, novas técnicas, baseadas em dados e automatizadas, foram desenvolvidas. De modo que, entre elas está a mineração de processos. E assim, concorda Ustundag; Cevikcan (2018), ao destacar que a gestão dos processos com suporte da tecnologia da informação é uma das formas mais eficientes de monitorar, controlar e otimizar os processos na indústria.

Portanto, essa pesquisa tem como objetivo realizar um projeto de transformação digital em uma indústria metalúrgica de médio porte da região metropolitana de Curitiba. Para isso, foi realizado uma aplicação de mineração de processos com a finalidade de diagnosticar o processo e trazer *insights* significantes para a gestão da fábrica e, na sequência, será desenvolvido a aplicação de tais melhorias e o monitoramento das mesmas junto a equipe da organização. Assim, esse artigo é organizado da seguinte forma: na seção 2. é apresentada da revisão da literatura, na seção 3. é apresentado o método usado, explicando brevemente a metodologia usada e os conceitos seguidos, na seção 4. é discutida a aplicação da mineração de processos e a seção 5. apresenta a conclusão do trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

As inovações tecnológicas e as mudanças nos ambientes de negócios afetam o desempenho de curto prazo e de longo prazo das empresas. Assim, quando as opções futuras em tecnologia são incertas, as empresas precisam buscar estratégias de tecnologia apropriadas para apoiar seu planejamento a fim de interagir com as novas tecnologias, tal como a indústria

4.0, Ghobakhloo (2018). Nesse sentido, Schuh et al. (2018) observa que a indústria 4.0 é dirigida por transformações digitais ao longo das cadeias de valor e dos produtos e serviços oferecidos pelas companhias. E complementa que as principais tecnologias necessárias para as transformações digitais na indústria 4.0 são a inteligência artificial, a internet das coisas, o aprendizado de máquina, os sistemas em nuvem, a cyber segurança e os robôs adaptativos. Afinal, são capazes de causar mudanças radicais no modelo de processos de negócios da organização.

Assim, pode ser apontado que a transformação digital, segundo Lederer et al. (2017), se refere ao uso de ferramentas para otimizar a organização dos processos com o foco na excelência operacional baseado em dados. E, complementa Hinings et al. (2018), que tal conceito marca um ponto onde os efeitos combinados das inovações tecnológicas levam a novas formas de organização. Ou ainda, a transformação digital, conforme Drake (2019), refere-se a prática, ou conceito, de adotar tecnologias disruptivas para melhorar a produtividade, criar valor e melhorar o bem estar social. E que assim, muitas organizações, associações industriais e até mesmo governos tem produzido estratégias de previsão para sustentar suas metas de longo prazo. Inclusive, nesse mesmo sentido, o autor aponta que a transformação digital pode colaborar socialmente, com mudanças na forma de inovar e garantir qualidade digital aos serviços oferecidos e também economicamente ao criar novas formas de negócios e aumentar o valor gerado a produção

Nesse sentido, Drake (2019) aponta que a indústria está se movimentando para adotar modelos holísticos de negócios, redesenhando seus produtos e serviços e até mesmo estabelecendo interações mais fechadas com seus fornecedores e parcerias de longo prazos com seus clientes. E que a aplicação dos conceitos de transformação digital nas indústrias afetam profundamente o ambiente fabril por prover uma melhor integração da cadeia de valor e um novo mercado a ser explorado com ganho de vantagens competitivas. De modo que, segundo Akdil et al. (2018), durante processos de implementação de indústria 4.0, na prática, muitas indústrias se veem bloqueadas, com problemas de percepção da complexidade da indústria 4.0, de incertezas sobre os custos benefícios dos projetos e capacidade da empresa.

Desse modo, como as organizações buscam realizar processos de transformação digital para a indústria 4.0, todas essas se veem necessitando de transformação em seus processos de negócios, aponta Xu et al. (2018). E assim, o autor também ressalta que a gestão dos processos utilizando tecnologia da informação pode ser uma forma eficiente de monitorar, controlar e melhorar os processos de negócios. Nesse sentido, ferramentas como a mineração de processos passam a se destacar, aponta Reinkemeyer (2020). Afinal, tal técnica é capaz de prover uma visão holística de todos os eventos e processos em uma organização. Tanto que, Garcia et al. (2019) apresenta que as aplicações na indústria são o terceiro principal foco da mineração de processos, ficando atrás somente de processos de saúde e tecnologia da informação. Assim, Reinkemeyer (2020) destaca também que, a mineração de processos ajuda a fechar as lacunas dos processos e apoiar, de maneira ideal, o processo de transformação, agindo como uma técnica chave para a virada de jogo no futuro e que colabora não só com o diagnóstico, mas também com o monitoramento e controle dos processos.

Nesse sentido, ao colaborar com a transformação digital em uma empresa de médio porte, é fundamental compreender que a mesma se encontra em estado inicial. Assim, Geyer-klingenberg et al. (2018) destaca que, a mineração de processos permite essencialmente a transformação digital ao identificar potenciais melhorias a partir de indicadores chaves como eficiência, velocidade, agilidade até mesmo confiabilidade, e que além disso é capaz também de detectar soluções estratégicas e selecionar medidas para monitoramento das futuras implementações. Tal como fizeram Lee *et al* (2013) ao aplicar a mineração de processos por meio de RFID em uma indústria de vestuário com a finalidade de gerar um sistema de garantia de qualidade para o processo fabril. Para isso, os autores utilizaram lógica fuzzy em um algoritmo recursivo de mineração de processos para encontrar a relação entre os parâmetros de produção e os produtos de qualidade. Ou então, como Son *et al* (2014) fizeram ao aplicarem diversas técnicas de MP em um *manufacturing execution system* (MES) que extrai os logs das máquinas de uma empresa de componentes eletrônicos e com isso conseguiu ajudar os gestores da operação a tomar melhores decisões na manufatura. Ou ainda, Mahendrawathi *et al* (2018) que aplicaram a técnica para realizar uma análise do planejamento da produção global de uma manufatura por meio dos registros de eventos obtidos pelo ERP da companhia onde autor realizou todas as etapas da aplicação da mineração de processos e com isso conseguiu observar como o planejamento da produção é conduzido, mostrando desde seus requisitos de materiais e processo de ordens de produção. E, Meincheim *et al* (2017) que aplicaram a técnica junto de clusterização dos registros em uma manufatura estilo *shop floor* com a finalidade de reduzir a complexidade dos modelos de processo e aprimorar a compreensibilidade da técnica. De modo que, com isso, permitiram a exata identificação de quais são as causas da ineficiência de produção, assim como os gargalos causados por decisões erradas durante a produção.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. PM²: Process Mining Methodology

Durante os anos, diversas metodologias foram e ainda estão sendo desenvolvidas para a mineração de processos, buscando uma otimização e padronização das abordagens dessa tecnologia emergente. Tais como *Process Diagnostics Method* (PDM) de Bozkaya et al. (2009), *I * Life-Cycle* de Aalst (2011) e *PM²: Process Mining Project Methodology* de Van Eck et al. (2015). A metodologia PM² pode ser descrita como um modelo composto por etapas. De modo que, cada uma dessas etapas possui entradas e saídas. Van Eck et al. (2015) aponta que essas etapas são compostas por “objetos” de objetivos gerais, de dados e modelos. Os objetos relacionados ao objetivo são 1. Perguntas de pesquisa (derivadas dos

objetivos do projeto); que são encontradas na primeira etapa, como pergunta inicial do projeto e na quinta por meio de 2. Descobertas de performance; e/ou por meio de 3. Descobertas de segurança; que ocorrem nas iterações de análise da mineração de processos, e que assim levam a 4. Ideias de melhoria que são implementadas na sexta etapa. Pontua também que os objetos relacionados aos dados são os (1) sistemas de informação que contêm os (2) dados dos eventos e são organizados em (3) logs de eventos. E por fim, apresenta os modelos como 1. Modelos de processos; e 2. Modelos analíticos. Assim, essa metodologia pode ser organizada em seis etapas conforme Fig. 1.

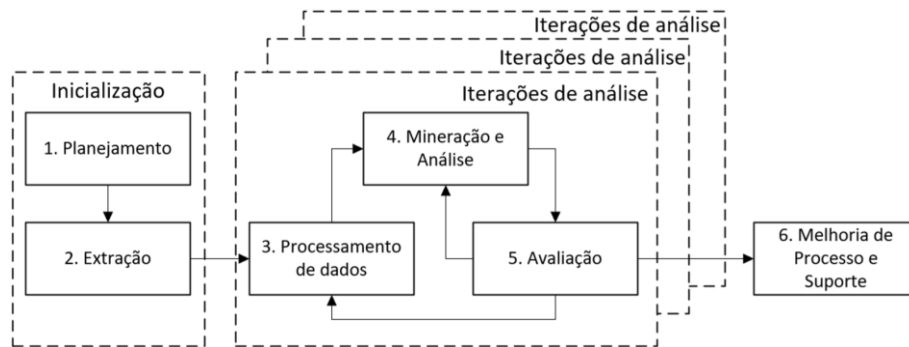


Figura 1. Metodologia PM² Adaptado de Van Eck et al. (2015)

Assim, para esse projeto, a etapa 1 que se refere ao Planejamento é composta por duas atividades (a) identificar questões de pesquisa; e (b) selecionar processos de negócio. Como *input* tem-se os processos da organização e como *output* as questões da pesquisa, que estão relacionadas aos objetivos do projeto e os sistemas de informação que serão analisados.

Já na segunda etapa, chamada de Extração, outras duas atividades serão realizadas (c) determinação do escopo do projeto e (d) extração dos dados de eventos. Para tal, as entradas são as questões de pesquisas e sistemas de informação que serão analisados e as saídas são os dados de eventos e os modelos de processo coletados.

Na sequência, tem-se a etapa 3, que se refere ao Processamento de dados, e que possui quatro atividades (e) criar visões; (f) agregar eventos; (g) enriquecer logs; e (h) filtrar logs. Como insumo utilizam-se os dados de eventos e os modelos de processo existentes e, como resultado se obtêm os logs de eventos. Buscando assim, a partir dos dados objetivos, a criação de logs de eventos relevantes para o trabalho.

Por sua vez, na etapa 4, chamada de Mineração e Análise, quatro etapas são desenvolvidas: (i) descoberta de processos; (j) verificação de conformidade (k) aprimoramento; e (l) análise de processos. Para tal, os logs de eventos e os modelos de processo coletados anteriormente são os inputs e descobertas que respondem as perguntas alvo são outputs. Logo, essa etapa é onde ocorre a aplicação dos algoritmos e técnicas de mineração de processos.

Então, a etapa 5 que se refere a Avaliação, é composta pelas atividades de (m) diagnosticar; (n) verificar; e (o) validar. A entrada são os modelos de processo e dados de desempenho e conformidade gerados anteriormente; e como saída, ideias de melhoria e/ou novas questões de pesquisa. Assim, aborda a relação dos resultados da etapa anterior com as ideias de melhorias propostas pelas perguntas respondidas.

Por fim, a etapa 6, refere-se à Melhoria de Processo e Suporte, que possui como entradas ideias de melhoria da fase anterior e como saídas modificações no processo. Esta etapa é composta pelas atividades de (p) implementação de melhorias e (q) suporte operacional. Visando assim, aplicar o projeto com intuito de modificar a execução do processo real.

3.2. Etapas da pesquisa

Essa pesquisa visa colaborar e realizar com a transformação digital de uma metalúrgica da região metropolitana de Curitiba. De modo que, para isso, a pesquisa é apresentada em três etapas. Conforme Fig. 2.

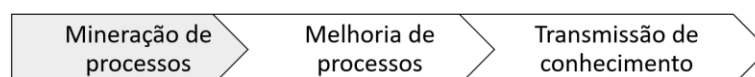


Figura 2. Etapas da pesquisa. Autor (2021)

Assim, pode-se observar que, primeiramente é realizado a mineração de processos, utilizando a metodologia PM² a fim de diagnosticar os problemas dos processos estudados. Na sequência, será desenvolvido a etapa de implementação dessa melhoria no ambiente fabril. E então, por fim, será transmitido o conhecimento sobre a mineração de processos e transformação digital para que a equipe da empresa consiga manter e se desenvolver constantemente em direção a um ambiente 4.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Então, para efetivamente aplicar a mineração de processos dentro do ambiente da metalúrgica, foi necessário a aplicação de todas as etapas da metodologia. Assim, primeiramente, foi realizado o **(1) planejamento** do que seria feito junto aos gestores de melhoria contínua e engenheiros da empresa. Onde, realizou-se uma visita a fábrica para conhecimento dos processos e também uma série de conversas sobre o processo, dificuldades da organização, gargalos, e até mesmo sobre como funciona a transformação digital e como a mineração de processos poderia ajudar a fábrica. Nessa visita foi observado que o espaço mais capaz de receber tais melhorias seria a estamparia. Na sequência, como finalização do planejamento, houve então a definição das perguntas que a mineração de processos deveria investigar. Que foram:

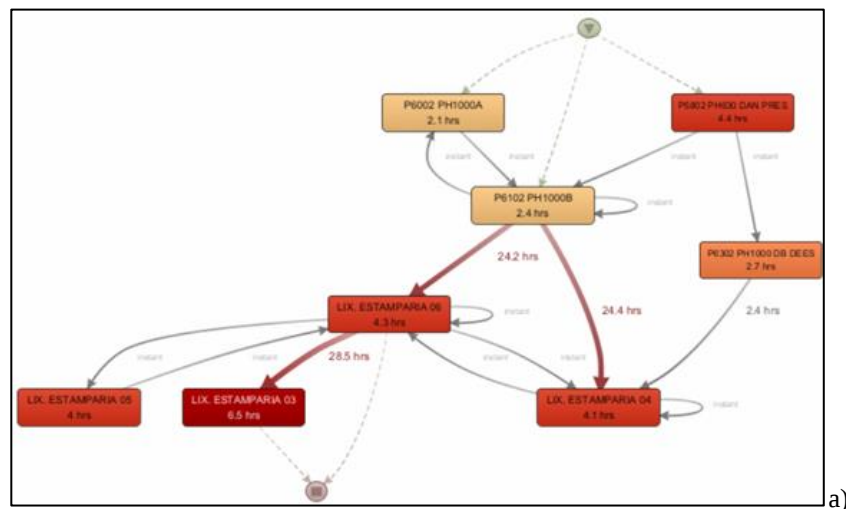
- Q1:Qual máquina tem maior carga?
- Q2:Qual a quantidade de ordens de produção por máquina?
- Q3:Qual a distribuição de trabalho por máquina?
- Q4:Qual operador realiza mais mudanças de parâmetro nas máquinas?
- Q5:Qual o tempo de setup?
- Q6:Qual ordem de produção ficou mais tempo parada?
- Q7:Qual a distribuição de trabalho (tempo) para cada máquina?

Sequencialmente, foi realizado então a **(2) extração dos registros de eventos** do MES da organização. Etapa essa que apresentou certas complicações. Afinal, primeiro a empresa apresentou um baixo volume de dados, o que ocorre pois o MES é algo recente na organização e que pode levar a erros de confiabilidade das análises. Porém como esse fator apenas se corrige com o tempo, foi ignorado. Além disso, a coleta dos dados foi muito demorada e difícil, afinal o programa não contava com extração de registros de eventos de uma forma clara e preparada. Então, como *output* dessa etapa foram coletados 2 registros de eventos, o primeiro referente ao histórico de produção com 202 registros contendo 6432 dados de 6 casos e o segundo das mudanças de status das máquinas contendo 32764 eventos com 388000 dados de 536 casos.

Por sua vez, foi realizado então uma longa etapa de **(3) Processamento dos dados**. Isso foi necessário, primeiramente, pelos relatórios extraídos pelo MES da organização que virem com diversas linhas em branco, com colunas concatenadas e com dados com inconsistências. Então, houve a necessidade de uma longa etapa de limpeza dos dados. Logo, com os dados devidamente limpos, foi realizado uma etapa de enriquecimento dos dados (com o ajuste das informações de forma a trazer *insights* mais significantes) e também de filtragens para garantir que somente dados de processos acabados, por exemplo, estivessem no registro analisado nas etapas seguintes.

Desse modo, durante a etapa de **(4) Mineração e análise** e **(5) Avaliação** buscou-se responder as perguntas de mineração elaboradas em (1) planejamento. E assim, foi possível observar que:

- Quanto a análise de “Q1:Qual máquina tem maior carga?”, por meio da observação do fluxo das máquinas em termos absolutos e médios, conforme Fig. 3, foi possível observar que as máquinas LIX 06, LIX 04, P6102 e P6002 possuem as cargas mais elevadas. Além disso, observa-se também que existe uma grande demora no fluxo dos processos entre as máquinas P6102 para as LIX 06 e LIX 04. Podendo assim concluir que, em média, as máquinas LIX 06 e LIX 04 são os principais gargalos do processo de estampagem.



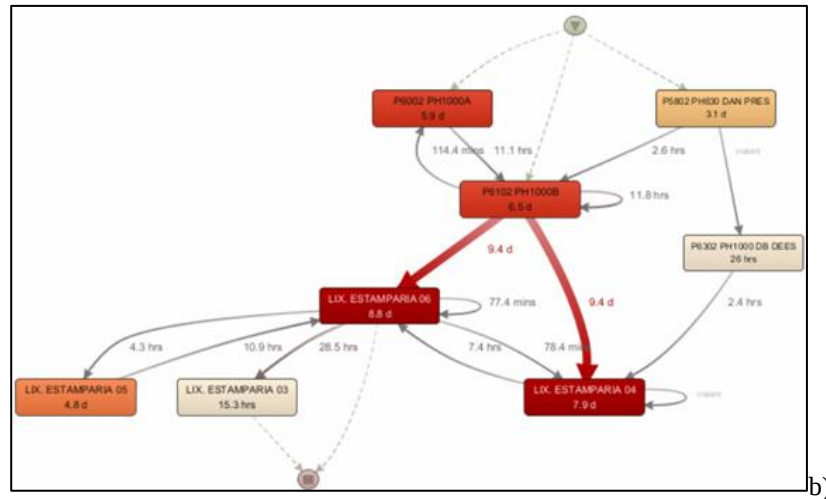


Figura 3. Carga de trabalho das máquinas. a) tempo absoluto. b) tempo médio. Autor (2021)

- Sobre a análise de “Q2: Qual a quantidade de ordens de produção por máquina?”, por meio da observação do fluxo de ordens emitidas em termos absolutos, conforme Fig. 4, pode-se perceber que todas os processos passam pelas LIX 06 e 04, assim como, quase todos os processos passam por P6102 e P6002. O que, inclusive, confirma a resposta de Q1, apontando as máquinas LIX 04 e LIX 06 como principais gargalos

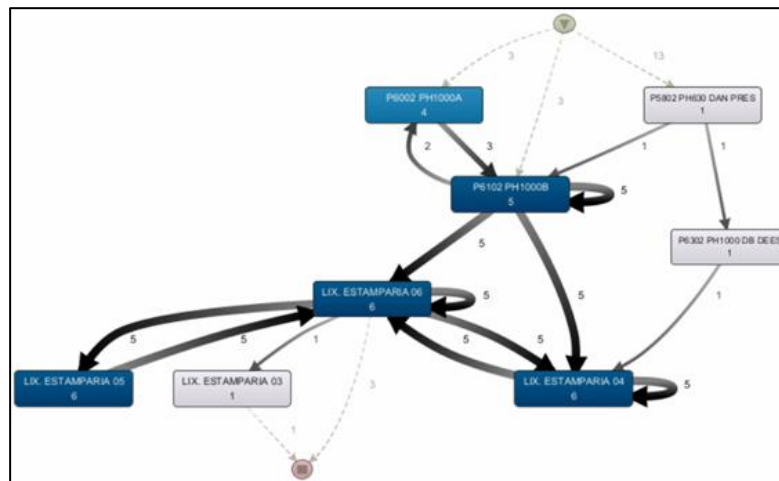


Figura 4. Quantidade de ordens de produção por máquina. Autor (2021)

- Já referente a “Q3:Qual a distribuição de trabalho por máquina” a Fig. 5 permite observar quais são as máquinas que mais passam por mudanças de parâmetro na operação. De modo que, pode ser observado que as máquinas LIX 04 e LIX 06, que são os gargalos do processo passam por poucas mudanças. Evidenciando que os processos as quais são submetidas são longos e que as estas possuem uma alta carga de trabalho. E também que as máquinas com maior frequência de trabalho são as que possuem menor carga unitária, ou seja, possuem atividades unitárias mais curtas.

Value	Frequency	Relative frequency
P5902 PH400 OMECO	4,860	14.83 %
P6102 PH1000B	4,736	14.45 %
P5702 PH500 DAN PRES	3,841	11.72 %
P6002 PH1000A	3,561	10.87 %
P3002 PE600DB JUND.	2,697	8.23 %
P5602 PH500 ATLANT.	2,371	7.24 %
P5302 PH200 SN	2,367	7.22 %
P2502 PE320A JUNDIAI	2,320	7.08 %
P5802 PH630 DAN PRES	2,065	6.3 %
P2402 PE320B JUNDIAI	1,788	5.46 %
LIX. ESTAMPARIA 06	327	1 %
LIX. ESTAMPARIA 04	316	0.96 %
CALIBRADEIRA	300	0.92 %
LIX. ESTAMPARIA 05	282	0.86 %

Figura 5. Número de operações por máquina. Autor (2021)

- Por sua vez, sobre “Q4:Qual operador realiza mais mudanças de parâmetro nas máquinas?”, com a Fig. 6, é possível perceber, salvo as mudanças realizadas por “DCMUser” e “Monitor User”, que são usuários do sistema, que os recursos que mais realizam mudanças são 003729, 002846 e 004995. E com isso, pode-se então compreender quem são os operadores que mais e menos realizam modificações nas máquinas.

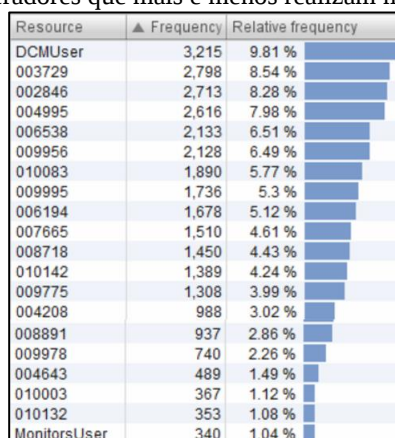


Figura 6. Número de mudanças de status por operador. Autor (2021)

- Já em relação a “Q5: Qual o tempo de setup?”, com a Fig. 7, pode-se observar a quantidade de vezes, e o tempo (médio, mediano e variação) que o setup acontece em cada máquina. De modo que, pode ser observado uma duração média de 14,9 minutos, uma duração mediana de 13,2 minutos e uma variação de 14 segundos até 105,7 minutos dentre as diferentes máquinas, no setup das máquinas.

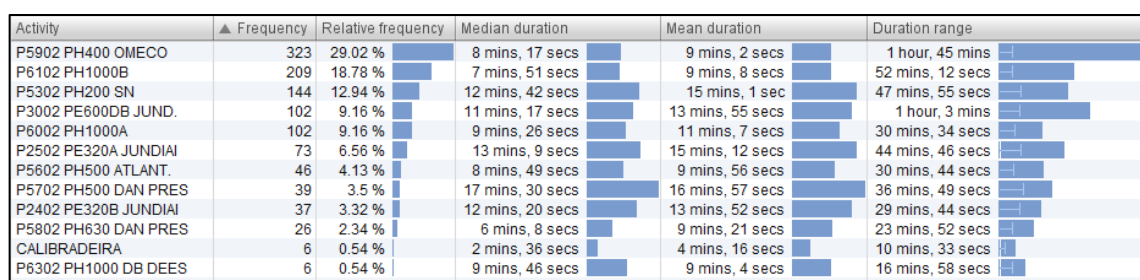


Figura 7. Tempos de setup das máquinas. Autor (2021)

- Quanto a “Q6:Qual ordem de produção ficou mais tempo parada?”, a Fig. 8 permite compreender dentre as diversas operações realizadas, qual foi o tempo que cada uma passou aguardando. O que, por sua vez, permite aos gestores da organização compreenderem e direcionarem análises aos processos que são realizados nas ordens de produção com mais demora e assim melhorar o processo de determinados tipos de produtos.

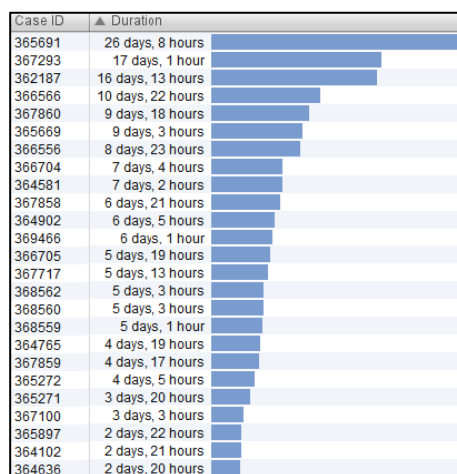


Figura 8. Tempo parado por ordem de produção. Autor (2021)

- Por fim, quanto a “Q7:Qual a distribuição de trabalho (tempo) para cada máquina?”, a Tab. 1 permite compreender a distribuição dos tempos de cada máquina, com relação a quantidade de operações realizadas e até mesmo variância dos tempos. O que segundo o especialista da fábrica, permite ao mesmo ter uma melhor noção do que é realmente relevante a ser melhorado.

Tabela 1. Descritivo dos tempos por máquina. Autor (2021)

Máquina	P6002	P5802	P6102	06302	LIX 06	LIX 04	LIX 03	LIX 05
Freq. Absoluta	29	13	43	8	40	26	3	29
Freq. Case	3	1	5	1	6	6	1	6
Máx. Repetições	13	13	11	8	11	10	3	13
Tempo Total	5.9 d	3.1 d	6.5 d	26 h	8.8 d	7.9 d	15.3 h	4.8 d
Tempo mediano	2.1 h	4.4 h	2.4 h	2.7 h	4.3 h	4.1 h	6.5 h	4 h
Tempo médio	4.9 h	5.7 h	3.6 h	3.3 h	5.3 h	5.3 h	5.1 h	4 h
Duração Máxima	30 h	30 h	30 h	7 h	30 h	30 h	8.5 h	8.5h
Duração Mínima	60 s	3 min	27 s	11.4 min	6.2 min	4.6 min	20.9 min	36 s

5. CONCLUSÃO

Com a mineração de processos, primeira fase deste projeto, foi possível identificar que as máquinas LIX 04 e LIX 06 são os principais gargalos desse processo. Afinal, possuem as maiores cargas de trabalho. Além disso, é interessante destacar que existe uma grande variabilidade dentre as máquinas quanto ao tempo de setup que cada uma costuma demorar. E também, quanto aos operadores, existe uma grande discrepância entre a quantidade de ações realizadas por diferentes operadores. Por outro lado, é notável que o número de dados disponíveis para análise é relativamente baixo e não permite respostas estatisticamente confiáveis.

Portanto, como próxima fase deste projeto, será discutido com os gestores da organização quais são as melhorias mais relevantes e interessantes a serem implementadas. E então, primeiro tais melhorias serão aplicadas, e na sequência será desenvolvido um sistema para monitorar os processos por meio de técnicas de mineração de processos e disponibilizados para a equipe responsável. E além disso, diversas outras oportunidades de trabalhos também podem ser identificadas. Primeiro, é possível realizar novas iterações de mineração de processos a partir dos questionamentos levantados como respostas das iterações. Ou também, é possível fazer uma análise da linha de produção e identificar as justificativas por trás da sobrecarga de atividades das máquinas LIX 04 e LIX 06.

6. REFERÊNCIAS

- Aalst, W. V. D. "Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes". 2011.
- Aalst, W. V. D. *et al.* "Process Mining Manifesto". In *Business process management workshops*, Vol. 99, n. 1, p. 169–194, 2011. <www.win.tue.nl/ieeetfpm/%0Ahttp://www.springerlink.com/index/q8446vr556p28n20.pdf>.
- Akdil, K. Y. *et al.* "Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy". In *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*. p.64–91, 2018. Birmingham: Springer Series in Advanced Manufacturing.
- Bozkaya, M. *et al.* "Process diagnostics: A method based on process mining". In *Proceedings - International Conference on Information, Process, and Knowledge Management, eKNOW 2009*, Feb. 2009, p. 22–27, 2009.
- Drake, E. "Digital transformation". In *IT3/HWC 2019 - 37th International Conference on Thermal Treatment Technologies and Hazardous Waste Combustors*, 2019.
- Ebert, C e Duarte, C. H. C. "Requirements Engineering for the Digital Transformation: Industry Panel". In *Proceedings - 2016 IEEE 24th International Requirements Engineering Conference, RE 2016*, p. 4–5, 2016.
- Garcia, C. S. *et al.* "Process mining techniques and applications – A systematic mapping study". In *Expert Systems with Applications*, Vol. 133, p. 260–295, 2019. Elsevier Ltd. <<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.003>>.
- Geyer-klingeborg, J. *et al.* "Process Mining and Robotic Process Automation : A Perfect Match Process Mining as Enabler for RPA Implementation". In *16th International Conference on Business Process Management*, Vol. 1, n. Jul, 2018.
- Ghobakhloo, M. "The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0". In *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2018.
- Hinings, B. *et al.* "Digital innovation and transformation: An institutional perspective". In *Information and Organization*, Vol. 28, n. 1, p. 52–61, 2018.
- Lederer, M. *et al.* "The Digital Future Has Many Names". In *International Conference on Industrial Technology and Management*, p. 22–26, 2017.
- Lee, C. K. H *et al.* "A RFID-based recursive process mining system for quality assurance in the garment industry". In *International Journal of Production Research*, Vol. 52, p. 4216–4238, 2013.

- Mahendrawathi ER *et al.* "Analysis of production planning in a global manufacturing company with process mining". In *Journal of Enterprise Information Management*, Vol. 31, 2018.
- Meincheim, A. *et al.* "Combining Process Mining with Trace Clustering: Manufacturing Shop Floor Process -An Applied Case". In 2017 IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2017.
- Reinkemeyer, L. "Process Mining in Action". 2020.
- Sarvari, P. A. *et al.* "Technology Roadmap for Industry 4.0". In *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*. p.95–103, 2008. Springer Series in Advanced Manufacturing.
- Schedlbauer, M. "The art of business process modeling: the business analyst's guide to process modeling with UML & BPMN". 2010.
- Schuh, G. *et al.* "Industry 4.0 maturity index Managing the Digital Transformation of Companies". In *Acatech Study*, p. 60, 2018.
- Son, S. *et al.* "Process Mining for Manufacturing Process Analysis: A Case Study". In *Asia Pacific conference on Business Process Management*, 2014.
- Ustundag, A e Cevikcan, E. "Industry 4.0: Managing the Digital Transformation". Birmingham: Springer Series in Advanced Manufacturing, 2018.
- Van eck, M. L. *et al.* "PM²: A process mining project methodology". In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Vol. 9097, p. 297–313, 2015.
- XU, L. D. *et al.* "Industry 4.0: state of the art and future trends". In *International Journal of Production Research*, Vol. 7543, p. 1–22, 2018. <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2018.1444806>>.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

PROCESS MINING APPLICATION IN METALLURGY OF THE METROPOLITAN REGION OF CURITIBA

Pedro Antonio Boareto

Pablo Deivid Valle

Universidade Federal do Paraná – Curitiba -PR - Brazil

pedroboareto@ufpr.br – pablo.valle@ufpr.br

abstract.

The increasing competitiveness makes more and more industries look for ways to innovate and stand out. For this, they seek technological innovations through the application of the concept of digital transformation in their processes. Thus, a digital transformation project is carried out in a print shop for a medium-sized metallurgical company in the metropolitan region of Curitiba. So, this article presents the first stage of such a project, referring to the diagnosis of potential improvements to be developed through the application of the PM² methodology of process mining. It was possible to identify that the LIX04 and LIX06 machines are the main bottlenecks in the process, and that there is a great difference in the number of status changes among the difference operators of the machines. With that, it was possible to realize that the process mining was extremely significant to find problems that the process engineers of the factory did not manage and also, with such diagnosis, it will be possible to continue the process of digital transformation of the organization

Keywords: Digital Transformation, Process Mining, Metallurgy

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.