

5-2015

Restrictions on use of the Factory Floor Information in Maintenance Management

Rolando Jacyr Kurscheidt Netto
Pontifical Catholic University of Parana, rolando.k@pucpr.br

Eduardo Santos
Pontifical Universidade Católica do Paraná, eduardo.portela@pucpr.br

Eduardo Rocha Loures
Pontifical Universidade Católica do Parana, eduardo.loures@pucpr.br

Follow this and additional works at: <http://aisel.aisnet.org/sbis2015>

Recommended Citation

Kurscheidt, Rolando Jacyr Netto; Santos, Eduardo; and Loures, Eduardo Rocha, "Restrictions on use of the Factory Floor Information in Maintenance Management" (2015). *Proceedings of the XI Brazilian Symposium on Information Systems (SBSI 2015)*. 42.
<http://aisel.aisnet.org/sbis2015/42>

This material is brought to you by the Brazilian Symposium on Information Systems (SBIS) at AIS Electronic Library (AISeL). It has been accepted for inclusion in Proceedings of the XI Brazilian Symposium on Information Systems (SBSI 2015) by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISeL). For more information, please contact elibrary@aisnet.org.

Restrições no uso da Informação de Chão de Fábrica na Gestão da Manutenção

Alternative Title: Restrictions on use of the Factory Floor Information in Maintenance Management

R. J. Kurscheidt Netto
Pontifícia Universidade Católica
do Paraná (PUC-PR)
Rua Imaculada Conceição, 1155
Prado Velho, Curitiba, Paraná
rolando.k@pucpr.br

E. A. P. Santos
Pontifícia Universidade Católica
do Paraná (PUC-PR)
Rua Imaculada Conceição, 1155
Prado Velho, Curitiba, Paraná
eduardo.portela@pucpr.br

E. de F. R. Loures
Pontifícia Universidade Católica
do Paraná (PUC-PR)
Rua Imaculada Conceição, 1155
Prado Velho, Curitiba, Paraná
eduardo.loures@pucpr.br

RESUMO

A gestão da manutenção busca estimar a evolução das condições dos equipamentos ao longo do tempo ou realizar predições ou diagnósticos de falhas. Com a expansão dos sistemas de informação, tais como os Sistemas de Informação de Chão-de-fábrica, técnicas de Mineração de Processos podem ser utilizadas para auxiliar na tomada de decisão da manutenção. Para garantir a qualidade e confiabilidade da informação obtida, melhoramentos devem ser realizados nas aquisições dos eventos. Este artigo propõe recomendações para estruturar os registros de eventos de Sistemas de Chão-de-fábrica, objetivando facilitar a aplicação de algoritmos de Mineração de Processos. Utiliza-se um estudo de caso de um processo de fabricação de peças para o setor automotivo, utilizando uma máquina CNC. Conclui-se que a maior causa para a redução da qualidade da informação deve-se a falta de eventos delimitadores e a entrada incorreta de eventos pelo operador. Com a aplicação das melhorias propostas, busca-se extrair informações para otimizar custos, aumentar a disponibilidade dos equipamentos e orientar a implementação de melhorias nos processos produtivos.

Palavras Chave

FIS. Manutenção. Mineração de Processo. Tomada de Decisão.

ABSTRACT

The maintenance management aims to estimate the equipment conditions over time or to make predictions or diagnosis of failures. With the growing of Information Systems, like as Factory Information Systems, Process Mining technics could be used to support maintenance decisions making. To ensure the quality and reliability of the information obtained, improvements must be made in events acquisitions. This paper proposes recommendations for structuring the records of Factory Information Systems events, aiming to facilitate the application of Process Mining algorithms. We use as case study of a parts manufacturing process for the automotive sector, using a CNC machine. It is concluded that the main cause for the reduction of

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

SBSI 2015, May 26th–29th, 2015, Goiânia, Goiás, Brazil.

Copyright SBC 2015.

quality of information is due to lack of delimiters events and incorrect input events by the operator. With the application of the proposed improvements, we try to extract information to optimize costs, increase equipment availability and guide the implementation of improvements in production processes.

Categories and Subject Descriptors

H.1.1 [Models and Principles]: Systems and Information Theory – Value of information.

General Terms

Management, Measurement, Performance, Standardization.

Keywords

FIS. Maintenance. Process Mining. Decision Making.

1. INTRODUÇÃO

Os objetivos gerais da gestão da manutenção são estimar a evolução das condições dos equipamentos ao longo do tempo [1] ou realizar predições e diagnósticos de falhas e suas relações como modos de falhas [2]. Para lidar com as condições do equipamento, como envelhecimento e deterioração, usa-se a estratégia de Manutenção Baseada em Condição (CBM - *Condition Based Maintenance*) [3], que utilizando sinais medidos por sensores de forma contínua, permite identificar se a condição operacional do equipamento se desviou de seu estado normal [4]. O benefício é indicar possíveis falhas e problemas potenciais antes que falhas catastróficas ou danos ocorram. Entretanto, ainda de acordo com [4], realizar o monitoramento contínuo necessita de dispositivos especiais e há o aumento do ruído devido ao fluxo de dados. Por outro lado, há a possibilidade de se perder informações vitais de falhas devido ao aumento do intervalo de monitoramento. Na tomada de decisão de manutenção, muitas vezes se utiliza de estimativas probabilísticas do estado de um sistema, com base em observações ou informação disponível [5]. Em diagnósticos e predições de falhas, muitos estudos tem se baseado no uso de modelos em Redes Bayesianas (BN - *Bayesian Networks*), que é uma técnica de modelagem que combina conhecimento especialista com dados reais [6].

Considerando este contexto, cresce os sistemas de informação como os *Process-Aware Information Systems (PAIS)* [7], que gravam informações na forma de registros detalhadas e estruturados de eventos provenientes de atividades realizadas por um sistema. Sistemas de Informação de Chão-de-Fábrica (FIS - *Factory Information Systems*) são uma subclasse desses sistemas,

responsáveis pela aquisição, processamento, armazenamento e disponibilização de dados relacionados com processo de produção [8]. O sistema FIS registra os eventos de paradas programadas, não-programadas e de tempos de produção, armazenando-os em banco de dados para posterior consulta e cálculo de índices de performance. São geralmente associados ao monitoramento da performance de processos produtivos, com ênfase na obtenção do *Overall Equipment Efficiency* (OEE) [9]. Paradas não-programadas geralmente são geradas por falhas em equipamentos, não observância de procedimentos operacionais ou causada por recursos materiais fora de especificações. Adicionalmente, o fator performance do índice OEE é calculado com base na medida do tempo de ciclo da máquina, para um produto específico, relacionado diretamente com a condição operacional do equipamento.

Utilizando técnicas de Mineração de Processos, aplicadas em registros de eventos de sistemas FIS, pode-se encontrar quase que automaticamente modelos representativos de processos reais, considerando várias perspectivas de aplicação como monitoramento de desvios e tendências, onde o modelo é uma representação das principais características de um sistema para representar qualquer efeito real para condições alternativas e/ou ações futuras [10].

Neste artigo discute-se o uso dos eventos registrados por sistemas FIS, analisando a estrutura dos registros, problemas relacionados aos erros de entrada dos eventos, classificação dos eventos e o uso de eventos denominados delimitadores. Busca-se sugerir melhoramentos na estrutura dos dados para facilitar o emprego de algoritmos de PM, para extração de informações de forma a auxiliar a tomada de decisão da gestão da manutenção, tanto na predição e diagnósticos de falhas como para estimar a degradação da condição operacional de equipamentos no chão-de-fábrica.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma. Na seção 2 apresentam-se as bases teóricas para a abordagem proposta, objetivando uma melhor compreensão dos termos utilizados. A Seção 3 descreve sucintamente a metodologia utilizada para análise das informações geradas pelo FIS. Um estudo de caso em uma base real é apresentado na Seção 4 abrangendo os problemas encontrados e discussões sobre resultados. Na Seção 5 são apresentadas recomendações de melhorias na estrutura de geração dos eventos. Por fim, uma conclusão sobre os resultados obtidos e as sugestões é apresentada na Seção 6, finalizando com trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

2. FUNDAMENTOS

Para auxiliar o entendimento desse trabalho, é necessária a introdução de alguns conceitos que embasam a metodologia adotada e facilitam o entendimento dos resultados obtidos e sua análise.

2.1 Sistemas de Informação

[7] destaca o crescimento dos sistemas dos sistemas *Process-Aware Information Systems* (PAIS), que gravam informações de processos na forma de registros detalhados e estruturados de eventos relacionados com atividades executados por tais sistemas. Os eventos relacionados com as ocorrências de atividades são gravados em registros [11]. Cada evento (*Audit Trail Entries*) refere-se a uma instância (Case ID) e um conjunto de atividades (Task ID), que inclui informação proveniente do início, término e agendamento desta atividade. Adicionalmente, informações como registro de data e hora (*timestamp*) e o executor da atividade são possíveis em muitos desses sistemas [12][7][10][13].

Sistemas de Informação de Chão-de-fábrica (FIS) são uma subclasse de sistemas PAIS, responsáveis pela aquisição, processamento, armazenamento e disponibilização de dados relacionados com sistemas de manufatura, onde a informação é tipicamente recebida na sinais provenientes do processo [14][8][15]. O sistema FIS é a memória do processo de manufatura, contendo valiosos dados sobre o processo produtivo como informações dos produtos, do processo, dos recursos, de planejamento, do equipamento no chão-de-fábrica e de custos [8][15]. Os dados adquiridos pelo FIS são armazenados em bancos de dados na forma de eventos sequenciais, gerados pelo operador do equipamento no processo ou por sensores instalados na máquina monitorada. Esta base de dados podem ser exportadas no formato de Valores Separados por Virgula (CSV - *Comma-Separated Values*), que podem ser convertidos e importados em ferramentas de mineração. Este eventos são organizados em estruturas predefinidas de dados, que geralmente contem a instância, atividades relacionadas com o processo, *timestamp*, operador, código do produto e informações adicionais como código da máquina, qualidade dos produtos, custos e outras.

Existem muitos sistemas de informação que auxiliam a área de manutenção, como os Sistemas Computadorizados de Gestão da Manutenção (CMMS - *Computerized Maintenance Management Systems*), que utilizam o agrupamento de informações do equipamento e de planejamento como ferramenta para gerenciar toda a manutenção. Todas as atividades relacionadas a manutenção devem ser identificadas como “Ordens de Serviço” (OS), que representam tarefas executadas ou planejadas, contendo dados de recursos humanos e materiais utilizados e horários. Um dos objetivos principais de sistemas CMMS é transformar dados estruturados com registros de manutenção em informação apropriada para a análise de causas de falhas, auxiliando a tomada de decisão na manutenção [16].

2.2 Mineração de Processos

Mineração de Dados (DM - *Data Mining*) refere-se com a extração de conhecimento e informação em grandes volumes de dados, por meio da identificação de padrões nos dados, sendo continuamente desenvolvida e adaptada para desenvolvimento de técnicas para mineração de registros de eventos em Processos de Negócios [17].

Mineração de Processos (PM - *Process Mining*) é a obtenção de informação e conhecimento de processos de negócios provenientes de arquivos de registros de sistemas de informação, de forma manual ou automática, para melhorar a compreensão e otimização de suas atividades, utilizando técnicas de mineração de dados [11][18][10]. Algoritmos de PM tem sido aplicados em larga variedade de sistemas, sendo requerimento necessário que tais sistemas produzam registros de eventos de seu comportamento ou parte dele [18].

A quantidade de dados gravados dos eventos determina que perspectiva do processo deseja-se encontrar. Se o registro contem atividades que são executadas e é possível inferir sobre sua ordem de execução, uma perspectiva de controle de fluxo pode ser minerada (*Perspectiva de Processo*), garantindo, assim, uma melhor caracterização de todos os caminhos possíveis. Uma Perspectiva Organizacional busca informações como redes sociais no processo, transferência de trabalho, ajudando em boas praticas dentro das organizações, com o objetivo de estruturar a organização em termos de relacionamento entre os executores. Se os registros contem valores de atributos que variam durante a

execução das atividades, uma Perspectiva de Caso pode ser descoberta [19][18][13].

2.3 Estratégias de Manutenção

Várias estratégias de manutenção são propostas e aplicadas em processos produtivos, onde o desafio é definir a estratégia mais eficiente e eficaz para melhorar a capacidade operacional dos processos, economizar os custos de manutenção e melhorar a competitividade industrial [20]. Uma ação de manutenção adequada no momento ideal é necessária para reduzir o número de casos de falhas em processos e aumentar a confiabilidade dos equipamentos [21].

Manutenção Baseada na Condição (CBM - *Condition-Based Maintenance*) é a técnica mais moderna discutida na literatura, baseando-se na aquisição de informação das condições operacionais do equipamento [3]. Sua base fundamental é o monitoramento da condição, utilizando sinais medidos por sensores de forma contínua, permitindo identificar se a condição operacional do equipamento desvia-se de sua condição normal [4]. De acordo com [22] muitos tipos de falhas de equipamentos, embora não relacionadas com o tempo de uso, apresentam algum tipo de mudança em sua condição que é detectável. Se nenhuma intervenção ocorrer, a deterioração continua em um ritmo acelerado, até alcançar sua falha funcional.

Em diagnósticos de falhas e decisões de manutenção, muitos estudos na literatura têm se baseados na técnica de modelagem de Redes Bayesianas (BN - *Bayesian Networks*), que combinam conhecimento especialista com dados reais [6], em função de sua facilidade em modelar sistemas complexos, realizar previsões e diagnósticos e possibilitar uma modelagem amigável por meio de uma abordagem gráfica compacta [2]. BN são modelos gráficos probabilísticos que combinam a teoria da probabilidade com a teoria dos grafos, capturando incertezas de processos complexos como realizar inferências estatísticas sobre os mesmos [23][24]. São representados por grafos acíclicos diretos, onde nós representam as variáveis de interesse e arcos conectando os nós representam dependência ou relações entre as variáveis. O grau de dependência entre as variáveis é representado por meio de uma Tabela de Probabilidade Condicional (CPT - *Conditional Probability Table*) [6][23][24].

3. ABORDAGEM PROPOSTA

Para realização do presente estudo, utilizaram-se dados coletados por um sistema FIS provenientes de um equipamento principal ou gargalo. A metodologia utilizada baseia-se no esquema representado pela Figura 1.

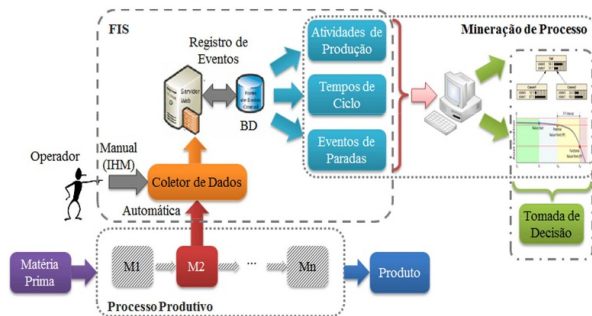


Figura 1. Abordagem proposta

Como salientado na seção 2.1, os dados obtidos pelo FIS são armazenados em um bancos de dados (BD), seguindo a estrutura

relacional apresentada por [8]. Nesta estrutura, são geradas três tabelas principais para os eventos adquiridos: “TempoCiclo”, “Unidades” e “Parada”. A partir destas tabelas, obtêm-se informações sobre a quantidade e qualidade da produção, instante de fabricação, operador, tipo de produto e motivos para parada da máquina. As tabelas do BD foram exportadas para o formato *xls* utilizando o aplicativo *MySQLQueryBrowser*. Para utilizar as tabelas exportadas com algoritmos de PM, é necessária convertê-las para o formato CSV e então converter para o padrão Mining XML (MXML), o qual pode ser utilizado em diferentes ferramentas de mineração. Desta forma, há a necessidade de definir uma estrutura que contenha campos de informação para gravação dos eventos de forma a facilitar a aplicação de algoritmos de PM. A estrutura adotada para organização dos campos das tabelas no formato *xls* é representada pela Tabela 1.

Para utilização dos dados em ferramentas de mineração, os seguintes formalismos foram utilizados: i) Para a tabela “TempoCiclo”, foi definido o evento “Maquina Produzindo”; ii) Para a tabela “Unidades” foi utilizado o evento “Peça Produzida”, associada a qualidade informada da peça produzida: Boa, Acabamento, Sucata, Batimento e Cota Abaixo. Utilizando o formato proposto, os dados das tabelas foram exportados para o formato CSV e convertidos para o formato MXML utilizando o aplicativo *DISCO*.

Tabela 1. Estrutura dos Dados FIS

Campo	Descrição
1 <i>caseID</i>	Instancia do Registro, referente a um dia de produção
2 <i>taskID</i>	Eventos registrados pelo FIS
3 <i>startTime</i>	<i>Timestamp</i> do início do evento (Start)
4 <i>endTime</i>	<i>Timestamp</i> do fim do evento (Complete)
5 <i>Operator</i>	Código do operador
6 <i>Product_Code</i>	Código do produto
7 <i>Machine_Code</i>	Código da maquina monitorada

4. ESTUDO DE CASO

Analisou-se uma base de dados gerada a partir da coleta de dados de uma maquina de usinagem (Torno CNC) por meio de um FIS, instalada em uma empresa do setor automotivo. Foram utilizados oito meses de dados de registros de eventos do processo produtivo, totalizando 85.830 eventos, estruturados em 85 cases. Cada case representa um dia de produção, contemplando um único turno. A maquina CNC analisada produz 13 tipos de produtos, com tempos de ciclo específicos para cada produto, variando de 30s a 260s em média.

Considerando o conjunto de registros obtidos a partir de um FIS, há muitas relações de causalidade que podem ser utilizadas para inferências sobre o estado de equipamento ou do processo. Uma das abordagens de estudos na literatura baseia-se na técnica de modelagem de Redes Bayesianas. Para construção do modelo em BN é necessário i) Definir as variáveis de interesse, representadas por nós; ii) Obter a estrutura da rede (Relações de dependência), representada por arcos acíclicos interligando os nós e iii) Obter a Tabela de Probabilidade Condicional (CPT) para as variáveis [25][26]. Alguns trabalhos apresentam metodologias para obter a BN a partir da aplicação de PM em registros de eventos [27][28]. A Figura 2 ilustra uma estrutura causal gerada por PM com o uso de dados de registros de eventos e seu respectivo modelo em BN.

Para análises de desvios nas probabilidades e/ou estrutura da BN obtida pelas metodologias, há a necessidade de uma estrutura bem

definida para registro do evento, para reduzir eventuais ruídos, que são sequencias de atividades não conformes com um padrão normal do processo. Como as metodologias propostas utilizam algum tipo de filtro para tratar o registro de eventos antes da aplicação de algoritmos de PM, estes ruídos podem comprometer a quantidade e qualidade dos dados para extração de informação

4.1 Resultados e Discussões

Inicialmente buscou-se identificar o que foi denominado Estrutura Ideal de Atividades. Para isso, realizou-se a integração das três tabelas obtidas a partir do BD FIS, com as colunas de dados ordenados conforme Tabela 1 e com os eventos ordenados sequencialmente conforme o seu *timestamp* de inicio (Campo *startTime*). Esta nova tabela (Tabela Integrada) foi salva no formato CVS e importada para o aplicativo DISCO, sendo então convertida para o formato MXML, obtendo-se 32 tipos de classes de eventos.

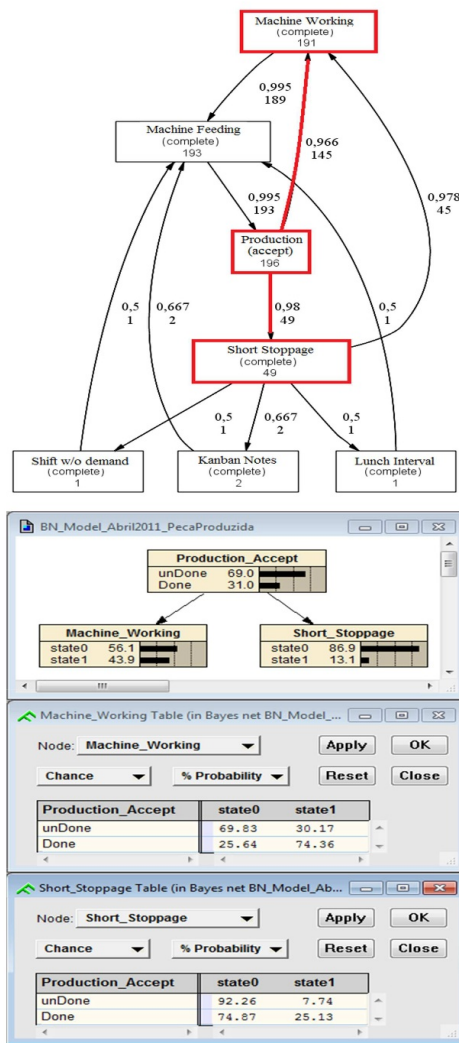


Figura 2. Uso de Dados FIS para obtenção de BN

Identificou-se dentre esses eventos os que se correlacionassem com o inicio e fim das atividades. Os demais eventos se referem aos eventuais desvios na sequencia normal de atividades. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos, onde se pode observar

que a base de dados analisada possui desvios em seus eventos. Considerando a base analisada, dever-se-ia ter um único evento de inicio e termino comum aos 85 casos.

Analisando os resultados resumidos na Tabela 2, observa-se que embora esteja previsto o evento “Inicio de Turno” e seus respectivos tipos de eventos “Start” e “Complete”, o evento de maior frequência para inicio do case é o evento “Maquina Produzindo”, correspondendo a aproximadamente 70%, e o evento para indicar o final do case é o evento “Peça Boa”, que somado ao evento “Inicio de Turno”, somam 75,3%. Esta característica reflete muitas vezes a ocorrência de casos incompletos. Como no caso analisado os casos se referem ao período de produção de 1 dia, conclui-se que ocorre a entrada incorreta dos eventos por parte do operador ou o desuso de eventos que delimitem o case. Aplicando filtro restritivo de eventos na tabela integrada, utilizando os eventos de Inicio e Fim destacados na Tabela 2, obtém-se somente 29% dos cases que correspondem a esta sequencia. Acrescentando o uso do evento “Inicio do Turno”, este percentual sobe para 63%.

Tabela 2. Eventos de Inicio e Termino

Classe de Eventos	Ocorrências	Frequência
Eventos de Inicio		
Maquina Produzindo	59	69,41%
Retirada de Produto	15	17,65%
Inicio do turno	8	9,41%
Parada de curta duracao	2	2,35%
Setup	1	1,18%
Eventos de Término		
Peça Produzida - Boa	37	43,53%
Inicio do turno	27	31,77%
Parada de curta duracao	9	10,59%
Maquina Produzindo	6	7,06%
Turno sem demanda	2	2,35%
Falta de ferramenta	2	2,35%
Lanche nao programado	1	1,18%
Fim de semana	1	1,18%

Como consequência, há a redução significativa da quantidade de informação que pode ser utilizada quando aplicado algoritmos de PM, reduzindo a qualidade e exatidão dos resultados obtidos. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para o numero de cases de cada mês de analise, antes e após a aplicação de filtragem, removendo os cases que não possuem os mesmos eventos de Inicio e Término.

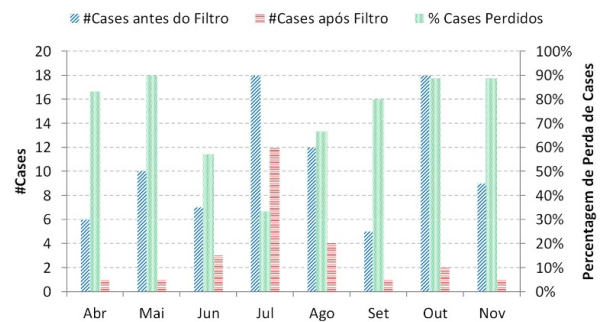


Figura 3. Porcentagem de Cases Perdidos após Filtragem

Adicionalmente, ocorrem discrepâncias no tempo de execução das atividades, como por exemplo, tempo do evento “Maquina Produzindo” de 44 horas ou tempo de “Parada de Curta Duração”

de 38horas. Essas variações introduzem o que denominamos de “Ruídos nos Eventos”, sendo necessária uma filtragem prévia antes da utilização dos dados para extração de informações. Utilizando a frequência de ocorrência dos eventos contidos na base de dados analisada, definiu-se a estrutura ideal para a sequencia de atividades do processo produtivo em questão. A Tabela 3 apresenta os eventos de maior ocorrência, representando mais de 98% de todos os eventos contidos na base de dados.

Tabela 3. Eventos principais

Evento	Ocorrências	Freq. Relativa
Maquina Produzindo	25.142	29,3%
Peça Produzida	20.601	24,0%
Retirada de Produto	20.437	23,8%
Parada de curta duracao	18.662	21,7%

O sequenciamento das atividades específicas do equipamento analisado são apresentadas na Figura 4, obtido após separação dos eventos da tabela integrada por mês e aplicação de filtro de eventos. Esta estrutura representa as atividades principais referentes a operação da maquina analisada. Para outras bases de dados, esta estrutura modifica-se. O evento “Peça Produzida” representa o resultado da operação realizada, neste estudo de caso.

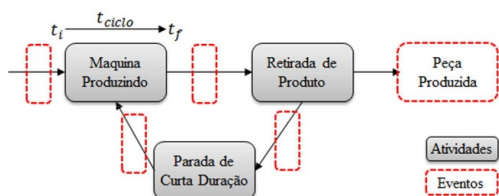


Figura 4. Estrutura Ideal de Atividades da Maquina

Salienta-se que a sequencia apresentada corresponde a uma situação ideal, onde não ocorrem paradas ou perdas, servindo de referencia inicial para analisar eventuais desvios do processo. idealmente, caso não ocorresse desvios, teríamos todas as ocorrências de eventos do log distribuídas igualmente para os eventos da Tabela 3. Entretanto, na pratica há a ocorrência de eventuais paradas, falhas e defeitos, indicadas pelos retângulos tracejados e também devido a falta de padronização dos eventos de inicio e término do case.

A analise do tempo de ciclo foi realizada, utilizando a informação de duração do evento “Maquina Produzindo”, representando pela variável t_{ciclo} , como indicado na Figura 4, que corresponde a diferença entre o valor do endTime e o valor do startTime para o evento, contabilizado em segundos. A obtenção do tempo de ciclo real é uma importante etapa para compor o fator de performance da maquina, usado para calcular o índice OEE.

Outro uso que se propõe na literatura [28] é a de monitoramento da condição do equipamento, observando desvio em relação a sua condição normal. Em ambos os usos, a medida correta do ciclo é fundamental. Utilizando a tabela integrada, foram selecionados somente os eventos “Maquina Produzindo” e calculados seus respectivos tempos de t_{ciclo} . Aplicando uma analise gráfica nos resultados obtidos, verifica-se inicialmente a ocorrência de tempos de ciclo fora dos limites desejados. A Figura 5 ilustra essa analise, onde estão representados os tempos para 1 mês de produção.

Os valores fora da curva (*outliers*) são representados pelos picos e vales que ocorrem em relação ao valor médio da curva em determinado período de produção. Verifica-se que este fato ocorre a despeito do tipo de produto, que afeta somente o valor médio da

curva, que corresponde ao tempo de ciclo normal. Salienta-se que os valores utilizados para compor o gráfico da Figura 5 já foram filtrados, eliminando valores que dificultariam a visualização da curva. Analisando a base de dados, verificou-se que para a maior parte dos valores fora da curva não há registro associado de paradas programadas. Identificou-se também que os vales tendem a aparecer no inicio da produção e os picos ocorrem com maior frequência no fim da produção. Estes últimos, em sua maioria se encontram associados com eventos de paradas não programadas. A principal causa levantada, após analise dos eventos registrados na tabela integrada, refere-se a erros de cadastramento do evento pelo operador, levando a situações de tempo de ciclo acima de 10000s ou valores em torno de 3s.

5. RECOMENDAÇÕES DE MELHORIAS

Para contornar os problemas apresentados, melhorias na implementação e geração dos eventos registrados por sistemas FIS são sugeridos. Salienta-se adicionalmente a garantia da qualidade dos meio de comunicação utilizado entre o dispositivo Coletor de Dados e o Servidor FIS, não ocorrendo falhas de transmissão ou corrupção dos dados, tais como erros de *timestamp*, código dos eventos, entre outros.

5.1 Eventos Delimitadores

Propõe-se o uso de Eventos “Delimitadores” para estruturar o registro de eventos. Para o contexto de sistemas de produção, propõem-se quatro Eventos principais:

- *Turno de Produção ou Produção (Start/Complete)*: Identifica o inicio e término de cada período de produção, não atrelado a operação da maquina. Muitos eventos ocorrem antes mesmo da ativação da maquina, como ajustes, preparação de matéria prima, limpeza, e também após o desligamento da mesma, como paradas não-programadas, intervalos, que são contabilizados no calculo de índices. Para dia de produção, deve-se ter um e somente um evento *Produção – Start e Produção – Complete*.
- *Maquina Ligada ou Ativada (Start/Complete)*: Não necessariamente ao se ligar a maquina a mesma ira iniciar a produção automaticamente. Ajustes, carregamento de matéria prima, setup, calibração e outros eventos são necessários para iniciar a fabricação propriamente dita. Entretanto, embora não esteja produzindo, a mesma esta consumindo recursos, como Mão-de-obra, energia, depreciação, entre outros.
- *Maquina Produzindo (Start/Complete)*: O evento real de produção, onde se contabiliza o tempo de ciclo de produção para o produto fabricado. Não deve ser utilizado para indicar testes de produção, testes de funcionamento da maquina ou demais situações que não se gere produtos acabados ou finais. Este evento deverá estar associado ao evento “*Peça Produzida*”.
- *Peça Produzida (Complete)*: Evento sem duração, servindo de contagem das peças produzidas. A este evento associa-se a qualidade resultante da peça fabricada, geralmente usando as categorias BOA, RETRABALHO ou SUCATA. Outras categorias podem ser utilizadas para refinar os resultados e auxiliar na verificação de eventuais desvios e falhas.

Estes Eventos têm como objetivo criar delimitações para facilitar a extração de informação pela aplicação de algoritmos de PM, para obtenção de desvios na sequencia dos eventos, analise de tempos de duração e melhorar a qualidade dos modelos de processo obtidos. A Figura 6 esboça este conceito, onde pode-se observar um sequenciamento natural e claro dos eventos ocorrendo ao longo do tempo.

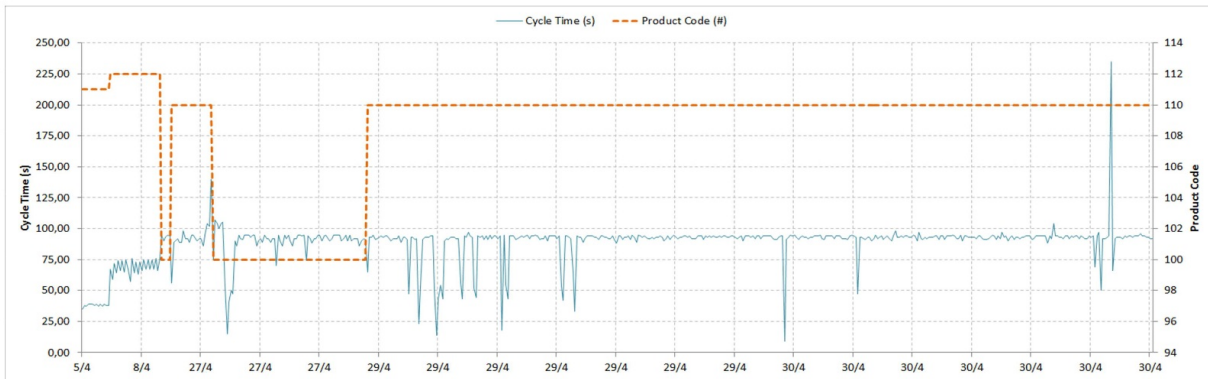


Figura 5. Tempo de Ciclo – Medidas de 1 Mês de Análise

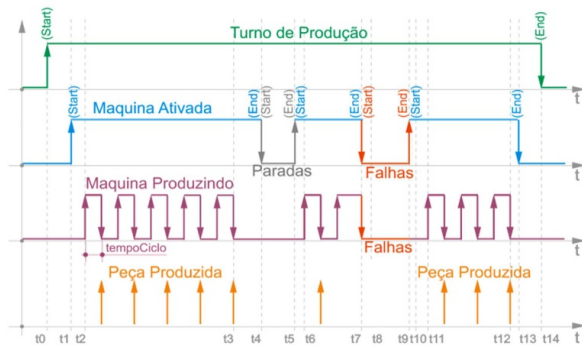


Figura 6. Esboço do uso de Eventos Delimitadores

Salienta-se que para garantir a confiabilidade dos Eventos delimitadores, evitando o surgimento de eventos ruídos, sugere-se o uso de sensores conectados a maquina monitorada, para geração de tais eventos, como indicado na Figura 1.

5.2 Classificação em Atividades e Eventos

Propõe-se a classificação dos eventos FIS coletados em duas categorias principais: Atividades e Eventos. Busca-se extrair a estrutura principal do processo, representado pelas Atividades e identificar os desvios ocorridos, representados pelos Eventos. Os Eventos por sua vez são classificados em Eventos de Produção (*Production Events*), de Qualidade (*Quality Events*) e de Manutenção (*Maintenance Events*), referentes a sua causa de geração. Utilizando a tabela integrada utilizada para análise, pode-se observar esta aplicação, apresentada pela Tabela 4.

Esta classificação pode ser adicionada ao evento FIS na forma de dados extra, durante sua configuração e classificação da tipologia de parada. Sua principal contribuição é facilitar a identificação do sequenciamento das atividades principais da maquina monitorada, que compõe o que foi denominada neste artigo como Estrutura Ideal, e facilitar a identificação dos desvios causados pelos Eventos, podendo-se aplicar metodologias de verificação de desvios em modelos obtidos por PM.

Esta estrutura tem como base os requerimentos apresentados em [33], onde salientam que uma das características de registros de eventos (*Audit Trail Entries*) para uso em ferramentas de PM é que cada atividade que ocorra deva estar associado a um único ponto no tempo e deve-se descrever o tipo de evento associado a este ponto.

Tabela 4. Classificação dos Eventos FIS

Evento FIS	Parada	Classificação
Maquina Produzindo	----	Activity
Peça Produzida (Boa)	----	Quality Event
Retirada de Produto	TE	Activity
Parada de curta duracao	STO	Activity
Reajustes	DTT	Maintenance Event
Início do turno	TE	Production Event
Falta de operador	STI	Production Event
Intervalos (lanche)	TE	Production Event
Desgaste de ferramenta	DTT	Maintenance Event
Limpeza de posto de trabalho	STO	Production Event
Aguardando medição	DTQ	Production Event
Lanche não programado	STI	Production Event
Apontamento de Kanban	TE	Production Event
Reuniões	TE	Production Event
Falta de ferramenta	STI	Production Event
Turno sem demanda	TE	Production Event
Setup	TE	Production Event
Saida de emergência	STI	Production Event
Falta de inst. de medição	DTQ	Production Event
Peça Produzida (Acabamento)	----	Quality Event
Manutenção autonoma	DTT	Maintenance Event
Falta de matéria prima	STI	Production Event
Levar carrinho de cavaco	STO	Production Event
Banheiro	TE	Production Event
Peça Produzida (Batimento)	----	Quality Event
Treinamentos	TE	Production Event
Aguardando preparador	STI	Production Event
Manutenção elétrica	DTT	Maintenance Event
Horário de lanche excedido	STI	Production Event
Limpeza de tanque	STO	Production Event
Fim de semana	TE	Production Event
Peça Produzida (Sucatas)	----	Quality Event

Por exemplo, a atividade “Maquina Produzindo” foi Iniciada (*Start*) ou finalizada (*Complete*). Referente a instancia (*caseID*), esta deve ser obtida a partir do valor do dia de produção, convertida em valor numérico, como por exemplo, o código de

data/hora do Excel. Isso garante um valor único e de fácil utilização em planilhas e em ferramentas de PM.

5.3 Estrutura para Eventos FIS

Van Der Aalst *et al* (2003) propuseram inicialmente o uso do formato Mining XML (MXML). Entretanto, o padrão MXML apresenta problemas e limitações, baseado na experiência prática de várias organizações, tais como a semântica de atributos adicionais armazenados nos registros de eventos e a nomenclatura utilizada para diferentes conceitos [30].

Atualmente, uma força tarefa iniciada em 2009 busca promover a pesquisa, desenvolvimento, educação e compreensão sobre Mineração de Processos, em função do crescimento no interesse em processos baseados em registros [31]. Nesse sentido, para resolver os problemas encontrados no formato MXML e criar um padrão a ser usado para armazenar diferentes informações provenientes de registros de eventos, se encontra em desenvolvimento o padrão XES (eXtensible Event Stream) [30].

O padrão XES é baseado no modelo XML (Extensible Markup Language) para registro de eventos, de forma a proporcionar um formato reconhecido para intercâmbio dos dados de registros de eventos entre ferramentas de análise e aplicações, como por exemplo, para mineração de processos, sendo também projetado para a mineração de dados em geral, mineração de textos e análises estatística [32].

A estrutura para registro de eventos FIS deve ser de tal forma que contenha o máximo de informações do equipamento ou processo monitorado. Propõe-se desta forma uma estrutura que suporte as recomendações anteriores e facilite a importação e posterior análise em ferramentas de mineração. A tabela 5 apresenta a estrutura proposta.

Tabela 5. Estrutura Proposta para Registro de Eventos FIS

	Campo	Descrição
1	<i>caseID</i>	Instancia do Registro, referente a um dia de produção
2	<i>taskID</i>	Eventos registrados pelo FIS
3	<i>eventType</i>	Tipo de Evento: <i>Start/Complete</i> OU <i>Qualidade Resultante</i> para o evento "Peça Produzida"
4	<i>timeStamp</i>	<i>Timestamp</i> de ocorrência do Evento
5	<i>eventClass</i>	Classificação do Evento: <i>Atividade/Evento</i>
6	<i>Operator</i>	Código do Operador
7	<i>Product_Code</i>	Código do Produto
8	<i>Machine_Code</i>	Código da Máquina Monitorada
9	<i>ExtraData</i>	Informação Adicional

6. CONCLUSÃO

Com o aumento dos sistemas de informação, tem-se uma enorme quantidade de dados sendo gerada e armazenada na forma de registros de eventos. No contexto de processos produtivos, o uso de sistemas FIS proporcionam monitorar a condição de equipamentos e verificar os resultados obtidos com a aplicação de melhorias. Informações para auxiliar a tomada de decisão na gestão da manutenção também podem ser obtidas por tais sistemas, desde que se observe a qualidade dos dados adquiridos. Verificou-se na análise do estudo de caso apresentado que uma das causas de maior influência na redução da qualidade da informação obtidas a partir dos registros de eventos de sistemas FIS deve-se a falta do que foi denominado "Eventos

Delimitadores" e na entrada incorreta do evento pelo operador. A classificação dos eventos registrados facilita a obtenção do sequenciamento das atividades que compõe a estrutura principal do processo, facilitando o emprego de técnicas de PM para obtenção de modelos de processos e monitorar desvios.

As recomendações propostas neste trabalho buscam contornar estes problemas e facilitar o uso de algoritmos de Mineração de Processos para extrair informações para auxiliar a tomada de decisão na gestão da manutenção, otimizando custos, aumentando a disponibilidade dos equipamentos e orientar a implementação de melhorias nos processos produtivos.

Como orientação para trabalhos futuros, é sugerida a aplicação em sistemas FIS, comparando os resultados obtidos antes e após o uso das recomendações propostas neste artigo. Propõe-se que estudos para desenvolvimento de uma metodologia para implantação de sistemas FIS, com foco no de algoritmos de PM, seja desenvolvido. Uma análise detalhada da decisão tomada pelo operados do equipamento para registrar o evento pode revelar deficiências na forma de apresentar as opções de escolha, que pode levar a melhorias e confiabilidade dos eventos registrados. Adicionalmente, propõe-se novos estudos com a aplicação da metodologia proposta em [28] na base de registros de eventos gerada por sistema FIS utilizando as melhorias propostas.

7. REFERENCES

- [1] Sand, K., Aupied, J., Spruyt, F. 2010. Application of Bayesian Networks for Maintenance and Risk Modelling. IEEE.
- [2] Weber, P., Medina-Oliva, G., Simon, C., Iung, B. 2012. "Overview on bayesian networks applications for dependability, risk analysis and maintenance areas," Engineering Applications of Artificial Intelligence, 25(4), pp. 671 - 682.
- [3] Ahmad, R. Kamaruddin, S. 2012. An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. Computers & Industrial Engineering 63, pp. 35-149.
- [4] Jardine, A.K.S; Lin, D.; Banjevic, D. 2006. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. Mechanical systems and signal processing. Vol. 20. N° 7. pp. 1483 - 1510.
- [5] Bensi, M.; Der Kiureghian, A.; Straub, D. 2013. Efficient Bayesian network modeling of systems. Reliability Engineering and System Safety 112 200-213.
- [6] Cheng, Xu and Yang, (2013). Cheng, Y.; Xu, T.; Yang, L. 2013. Bayesian network based fault diagnosis and maintenance for high-speed train control systems. Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (QR2MSE), 2013 International Conference on. pp. 1753 - 1757.
- [7] Van Der Aalst, W. M. P, Schonenberg M. H, Song M. 2011a. Time Prediction Based On Process Mining. Information Systems. Vol. 47. N° 2. pp. 237 - 267.
- [8] Santos E. A. P., De Freitas R. L., Deschamps F., De Paula M. A. B. 2008. Proposal of an Industrial Information System Model for Automatic Performance Evaluation. IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. 436-439.
- [9] Nakajima, S. 1988. An Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. Cambridge, Massachusetts: Productivity Press. Portland. OR.

- [10] Rozinat, A.; Mans, R. S.; Song, M.; Van der Aalst, W. M. P. 2009. Discovering Simulation Models. *Information Systems*. Vol. 34. N°. 3. pp. 305-327.
- [11] Weber, P.; Bordbar, B.; Tino, P.; Majeed, B. 2011. A framework for comparing process mining algorithms. *GCC Conference and Exhibition (GCC), 2011 IEEE*. pp. 625 – 628.
- [12] Ferreira, D. R.; Thom, L. H. 2012. A semantic approach to the discovery of workflow activity patterns in event logs. *International Journal of Business Process Integration and Management*. Vol. 6, N°.1, pp. 4 - 17.
- [13] De Medeiros, A.K.A.; Günther, C. W. 2005. Process mining: Using CPN tools to create test logs for mining algorithms. *Proceedings of the sixth workshop on the practical use of Coloured Petri nets and CPN tools (CPN 2005)*. Vol. 576.
- [14] Pierezan, R. ; Santos, E. A. P. ; Loures, E. F. R. ; Busetti de Paula, M. A. ; Ferreira, L. R. 2011. Machine simulation for operational decision support using colored Petri nets. In: *21st International Conference on Production Research, Stuttgart, 21st International Conference on Production Research*.
- [15] De Ron and Roonda 2005). De Ron, A. J., Roonda, J.E. 2005. Equipment Effectiveness: OEE Revisited, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 18, pp. 190-196.
- [16] Márquez, C. A.; Herguedas, S. A. 2004. Learning about failure root causes through maintenance records analysis. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 10. N°4. pp 254 – 262.
- [17] Tiwari, A; Turner, C. J.; Majeed, B. 2008. A review of business process mining: state-of-the-art and future trends. *Business Process Management Journal*. Vol. 14. N°. 1. pp. 5 - 22.
- [18] Song and Van Der Aalst 2008. Song, M.; Van Der Aalst, W. M. P. 2008. Towards comprehensive support for organizational mining. *Decision support systems*. Vol. 46. N°. 1. pp. 300 – 317.
- [19] Turner, C. J.; Tiwari, A.; Olaiya, R.; Xu, Y. 2012. Process Mining: From Theory To Practice. *Business Process Management Journal*. Vol. 18. N°. 3. pp. 493 – 512.
- [20] Kumar, U.; Galar, D.; Parida, A.; Stenström, C.; Berges, L. 2013. Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 19. N° 3. pp. 233-277.
- [21] Wang, W. 2012. An Overview Of The Recent Advances In Delay-Time-Based Maintenance Modeling. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 106. pp. 165 – 178.
- [22] Moubray, J. 2000. *Manutenção Centrada na Confiabilidade*. Ed. Brasileira. Lutterworth, Inglaterra. Aladon Ltd.
- [23] Kurz D. Kaspar J. Pilz J. 2011. Dynamic maintenance in semiconductor manufacturing using bayesian networks. *2011 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering Trieste, Italy*.
- [24] Teive R. C. G, Coelho J, Camargo C. C. B, Charles P. C, Lange T Cimino Jr L. 2011. Bayesian Network Approach to Fault Diagnosis and Prognosis in Power Transmission Systems. *Intelligent System Application to Power Systems (ISAP), 16th International Conference on*.
- [25] Korb, k. B.; nicholson, A. E. *Bayesian artificial intelligence*. Chapman & Hall/CRC Press LLC. 2004.
- [26] Krieg, m. L. A tutorial on Bayesian belief networks. *DSTO Electronics and Surveillance Research Laboratory*. Edinburgh, South Australia, Australia. 2001.
- [27] Sutrisnowati, Riska Asriana and Bae, Hyerim and Song, Minseok. 2014. Bayesian network construction from event log for lateness analysis in port logistics. *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier.
- [28] Kurscheidt Netto, R. J.; Santos, E. A. P.; Loures, E. R.; Pierezan, R.. 2014. Condition-Based Maintenance Using OEE: An Approach To Failure Probability Estimation. In: *7th International Conference on Production Research - Americas 2014, Lima. Proceedings of 7th International Conference on Production Research - Americas 2014*.
- [29] Van der Aalst, W. M. P.; Van Dongen, B. F.; Herbst, J.; Maruster, L.; Schimm, G.; Weijters, A. J. M. M. 2003. *Workflow Mining: A Survey of Issues and Approaches*. *Data & knowledge engineering*. Vol. 47. N°. 2. pp. 237 - 267. 2003.
- [30] Verbeek, H. M. W., Buijs, J. C. A. M., van Dongen, B. F., & van der Aalst, W. M. P.. 2010. **XES tools**. Citeseer.
- [31] Van Der Aalst, W. M. P.; Dustdar, S. 2012. Process Mining Put into Context. *IEEE Internet Computing*. Vol. 16. N°. 1. pp. 82 - 86..
- [32] Gunther, C. W.; Verbeek, E. 2009. Xes standard definition. *Fluxicon Process Laboratories*. pp. 13 – 14.
- [33] Van Dongen, B. F.; Van der Aalst, W. M. P. 2005. A Meta Model for Process Mining Data. *EMOI-INTEROP*. Vol. 160. pp. 30.