

FERRAMENTAS DE ANÁLISE PERFIL DE PERDAS PARA SUPPORTAR A TOMADA DE DECISÃO DO GESTOR DE MANUTENÇÃO REFERENTE AOS PROBLEMAS CRÍTICOS E CRÔNICOS¹

Baltazar Agenor Bailona²
William Barbosa³
Anderson Belo Fernandes⁴
Edilson Santana de Souza⁵
Leonardo David de Sousa⁶

Resumo

As organizações buscam cada vez mais tomar decisões com eficácia. O objetivo é propor uma estratégia de apontamento de paradas confiável, que possibilita a análise de perfil de perdas com confiabilidade, baseado na metodologia crítico-crônico. A estratégia proposta reduz a quantidade de dados inseridos manualmente no sistema, aumentando assim a confiabilidade do processo e proporciona embasamento aos gestores para tomada de decisão. O modelo de apontamento possibilita a geração do perfil de perdas on-line até o nível de intertravamento do equipamento. A simplificação dos apontamentos permite ao operador focar na operação da planta, que é sua atividade fim. Outro ganho proporcionado por este modelo é a inclusão da data/hora em que a falha foi diagnosticada pela equipe de campo. Esta abordagem permitirá aos gestores ter uma visão clara dos tempos gastos para diagnosticar e para corrigir os problemas separadamente. As alterações propostas aumentam a confiabilidade do processo e suportam os gestores na tomada de decisão. A estratégia recomendada permite ao departamento de manutenção exercer suas funções chave com o mínimo de impacto na produção e garantir a disponibilidade física dos equipamentos com custos apropriados.

Palavras-chave: Crítico-crônico; Paradas; Perdas e indicadores.

ANALYSING BREAKDOWNS TOOLS TO SUPPORT DECISION-MAKING OF MAINTENANCE MANAGERS REFERING TO ACUTE-CHRONIC PROBLEMS

Abstract

Organizations are increasingly seeking to make decisions effectively. The aim is to propose a reliable downtime assignment strategy, which enables the breakdown analysis with reliability, based on acute-chronic methodology. The proposed strategy reduces the amount of data entered manually into the system, thereby increasing the reliability of the process and providing the basis for management decision making. The assignment model enables the generation of online breakdown analysis up to the level of equipment interlocking. The assignment simplification allows the operator to focus on the operation of the plant, which is their main activity. Another gain provided by this model is the inclusion of the date/time when the fault was diagnosed by the maintenance team. This approach will allow the managers to have a clear vision of the time spent to diagnose and to fix the problems separately. The proposed adjustments increase the reliability of the process and support the managers in decision making. The recommended strategy allows the maintenance department to perform their key functions with minimal impact on production and ensure the physical availability of equipment with appropriate costs.

Key words: Acute-chronic; Downtime; Losses and indicators.

¹ *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Eng. Mecânico, Coordenador de Engenharia, Anglo American. Belo Horizonte, MG, Brasil.*

³ *Processos Gerenciais, Analista de Controle Operacional Sênior, Anglo American. Belo Horizonte, MG, Brasil. Brasil.*

⁴ *Eng. Controle e Automação, Engenheiro Pleno, Anglo American. Belo Horizonte, MG, Brasil.*

⁵ *Eng. Controle e Automação, Especialista de TI, Anglo American. Belo Horizonte, MG, Brasil.*

⁶ *Sistemas de Informação, Gerente de Engenharia Manutenção, Anglo American. Belo Horizonte, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Os custos de manutenção em mineração compreendem uma parcela considerável no custo total de sua operação (4,4% do faturamento bruto da empresa),⁽¹⁾ e, portanto é um alvo natural para os programas de redução de custo.⁽²⁾

Assim sendo, o desafio do departamento de manutenção é o de exercer suas funções chave com o mínimo de impacto na produção e garantir a disponibilidade física dos equipamentos com custos apropriados.

Cabe ao profissional da área utilizar sistemas de manutenção como suporte na identificação de oportunidades de redução de custos e soluções para mitigar parte das perdas inerentes ao processo, contribuindo assim, com o resultado final da organização.

Estudo feito em escala mundial sobre a utilização de sistemas de manutenção aponta que 95% das falhas ocorridas em uma planta são coletadas, mas apenas 30% delas são analisadas um dia por alguém e 4% acabam sendo utilizadas para efeito de tomada de decisão.⁽³⁾

O principal fator observado durante as análises de falha é atribuído à ineficiência das informações obtidas de sistemas de manutenção que geralmente são de baixa confiabilidade comprometendo a eficácia da análise.⁽⁴⁾

O objetivo é propor uma estratégia de apontamento de paradas mais confiável, que permita a análise de perfil de perdas com base na metodologia crítico-crônico, permitindo aos gestores tomar decisões mais assertivas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Sensores de monitoramento de pontos vitais

Medem variáveis relativas aos modos de falha vitais de equipamentos industriais.

2.1.2 PIMS – *Plant Information Management System*

Aplicação cliente/servidor para aquisição, arquivamento e visualização de informação de uma grande variedade de sistemas de aquisição de dados.⁽⁵⁾

2.1.3 CLP - Controlador Lógico Programável

É um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como lógica sequencial, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.⁽⁶⁾

2.1.4 MES – *Manufacturing Execution System*

Responsável por entregar informação que possibilita a otimização de atividades operacionais desde a ordem de produção até o produto acabado.⁽⁷⁾

2.1.5 Sistema de gerenciamento de paradas

Responsável pelo apontamento de paradas de um processo industrial.

2.2 Métodos

Os métodos mencionados a seguir suportam a metodologia de apontamento e análise de paradas proposta.

2.2.1 FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*

Análise de um sistema e do funcionamento interdependente dos componentes para determinar a forma nas quais as falhas podem ocorrer (modos de falha) e os efeitos de cada falha potencial sobre os elementos do sistema e suas funções.⁽⁸⁾

2.2.2 Metodologia de apontamento e análise de paradas

A gestão de paradas deve ter enfoque estratégico, pois influencia fortemente o resultado do negócio. Conforme exposto por ⁽³⁾ e ⁽⁴⁾ a ineficiência nos dados obtidos pelos sistemas de manutenção implicam num déficit na análise das falhas ocorridas no processo. Esta situação ocorre, principalmente, pelo excesso de dados inseridos manualmente nos sistemas de gerenciamento de paradas. A metodologia proposta contempla os dados da Figura 1.

APONTAMENTO DE PARADA	
Circuito	0111-LN-01 - Linha 1 da Britagem Primária
Data/hora inicial	1/1/13 13:00
Data/hora diagnóstico	<input type="checkbox"/> 1/1/13 13:40
Data/hora final	1/1/13 16:30
Equipamento Gerador da Parada	0111-TR-01
Intertravamento (Efeito)	Sobrecarga
Setor Responsável	Mecânica
Causa	Travamento
Observação	Houve travamento devido à quebra do raspador

Figura 1. Modelo de apontamento de paradas proposto.

O diagnóstico de falha, precisa ser realizado com segurança, rapidez e assertividade, pois é neste processo que a equipe de manutenção pode se diferenciar na busca da disponibilidade física e confiabilidade dos equipamentos com custos apropriados.

Comumente, os campos “Circuito”, “Data/hora inicial” e “Data/hora final” da Figura 1 são recebidos automaticamente pelo sistema de gerenciamento de paradas através do sistema de controle. Estes dados permitem traçar um perfil de perdas confiável apenas até o nível de circuito/linha, o que, em geral, é insuficiente para a tomada de decisão assertiva por parte dos gestores. Os demais campos, em geral, são preenchidos manualmente pelo operador, o que reduz drasticamente a confiabilidade dos dados e, conseqüentemente, do perfil de perdas. Vale ressaltar que algumas empresas preenchem todos os campos manualmente, o que implica em maior fragilidade do sistema.

O modelo de apontamento proposto envia automaticamente, além dos campos citados anteriormente, o “*Equipamento Gerador da Parada*” e o “*Intertravamento*” que gerou a parada, possibilitando assim, a geração do perfil de perdas eficaz em tempo real. Isto é possível, pois as opções que o operador pode selecionar nos campos subsequentes do modelo (tais como “*Setor Responsável*” e “*Causa*”) são filtrados de acordo com os campos da Figura 1 que foram preenchidos anteriormente, reduzindo drasticamente as possibilidades de apontamento nestes níveis, aumentando a confiabilidade dos dados. Para um problema hipotético de sobrecarga em um Transportador de Correia, as opções de preenchimento dos campos “*Setor Responsável*” e “*Causa*” são mostradas na Figura 2.



Figura 2. Hierarquia de apontamento para o exemplo.

Para possibilitar esta abordagem, os pontos vitais de cada equipamento foram definidos através da metodologia FMEA e, para cada ponto vital, um sensor de monitoramento foi concebido na logica dos equipamentos. Em seguida, uma lógica para parar o equipamento em função de cada sensor foi elaborada no CLP, possibilitando o envio ao PIMS e, posteriormente, ao sistema de gerenciamento de paradas, conforme fluxograma da Figura 3.

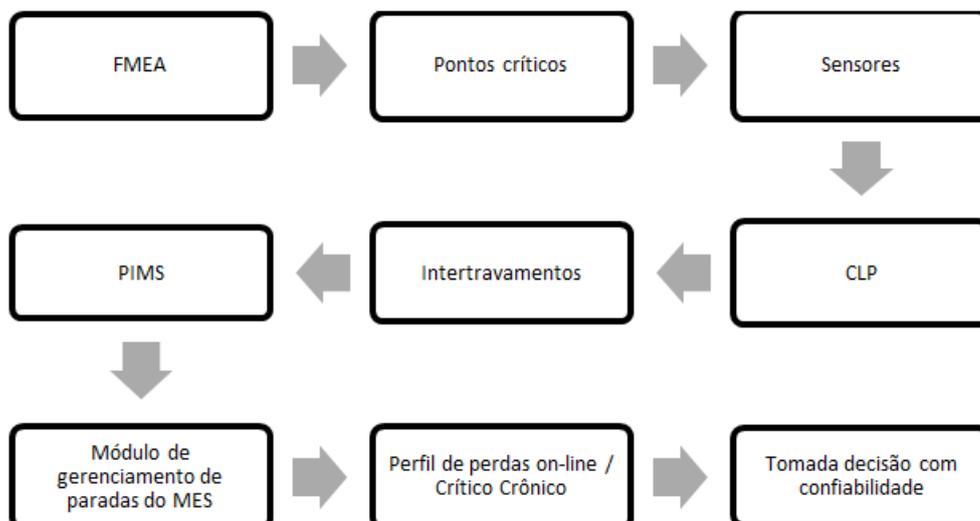


Figura 3. Fluxograma de mapeamento e envio de dados automáticos.

2.2.3 Crítico-crônico

A metodologia tradicional tem sido montar histogramas de paradas utilizando a ferramenta Pareto, para determinar as falhas que contribuíram com a maioria das paradas não planejadas do equipamento.⁽⁹⁾ Esta aproximação não representa adequadamente a influência do tempo médio de reparo e da frequência de falhas.

O método crítico-crônico, originalmente apresentado por Knights,⁽²⁾ emprega gráficos log-log de dispersão, sendo que estes gráficos permitem que as falhas possam ser classificadas rapidamente em críticas (requerem tempo substancial de reparo), crônicas (frequência excessiva de reparos) ou uma combinação de ambas as classes.

O tempo total de parada para um determinado tipo de falha (código i) é o produto do número de falhas (n_i) com o valor médio do tempo de diagnóstico e reparo ($MTTR_i$). Considera-se aqui o tempo total como custo:

$$Cost_i = n_i \times MTTR_i \quad (1)$$

Curvas de custo constante podem ser representadas por uma família de hiperbólicas. A desvantagem é que a visualização de patamares gráficos de custo constante, definidos através de equações hiperbólicas, não é prática, além de não existirem regras claras sobre suas condições de contorno.

Uma solução para estas questões é adotar a forma logarítmica para a Equação 1:

$$\log(Cost_i) = \log(n_i) + \log(MTTR_i) \quad (2)$$

Com isto as curvas hiperbólicas de custo constantes se tornam linhas retas de modo que a utilização de escala log-log no gráfico de dispersão tempo médio de reparo versus número de falhas simplifica a identificação das falhas que mais contribuem para o tempo de parada não planejada.

Com a finalidade de determinar os fatores dominantes para cada classe de falha, devem-se estabelecer critérios para a divisão do gráfico log-log em áreas ou quadrantes. Os limites matemáticos definem os quadrantes através das equações 03 e 04. Os reparos classificados como críticos irão aparecer nos quadrantes superiores, enquanto que os crônicos serão evidenciados nos quadrantes à direita. A combinação de ambas as classes (falhas crônicas e críticas) estará delimitada na área do quadrante superior direito.

2.2.3.1 Limite para falhas críticas (linha horizontal)

$$Limit_{MTTR} = \frac{D}{N} \quad \begin{cases} D = \sum d_i \\ N = \sum n_i \end{cases} \quad (3)$$

Onde D representa a duração total das paradas, e N a quantidade de eventos.

2.2.3.2 Limite para falhas crônicas (linha vertical)

$$Limit_n = \frac{N}{Q} \quad (4)$$

Onde Q é o número de classes de falhas.

3 RESULTADOS

Um dos principais ganhos obtidos com o modelo de apontamento proposto é a geração do perfil de perdas on-line até o nível de intertravamento, o que proporciona alta confiabilidade, visto que são dados coletados automaticamente do sistema de controle. Devido à redução considerável das opções que podem ser selecionadas pelo operador para os campos “Setor Responsável” e “Causa” pode-se obter um perfil de perdas com confiabilidade aceitável, mesmo para os campos preenchidos manualmente, uma vez que algumas informações são obtidas de forma automática e são usadas para filtrar estes campos manuais.

A redução do tempo gasto com apontamentos de paradas proporciona um ganho intangível relacionado à maior disponibilidade do operador na sua função principal, focando na operação da planta e aumentando a satisfação do mesmo.

Outro ganho proporcionado por este modelo é a inclusão da data/hora em que a falha foi diagnosticada pela equipe de campo. Esta abordagem permitirá aos gestores ter uma visão clara dos tempos gastos para diagnosticar e para corrigir os problemas separadamente. Desta forma, será possível identificar se as maiores perdas estão ocorrendo por deficiência no diagnóstico ou no reparo, o que proporcionará ao gestor uma tomada de decisão mais assertiva. Por exemplo, caso o tempo de reparo para um mesmo problema esteja aproximadamente constante, mas o tempo de diagnóstico esteja variando para cada turno, o gestor pode tomar a decisão de treinar a equipe do turno em determinado equipamento para melhorar o tempo de diagnóstico. Se o tempo de reparo for muito alto, o gestor pode solicitar apoio a engenharia para avaliar o problema e propor técnicas que possibilitem uma otimização da atividade.

No exemplo de uma amostra teórica de paradas de alguns equipamentos de mineração, mostrado a seguir, é possível gerar gráficos de MTTR vs. frequência de falhas (crítico-crônico) com base nos pontos críticos definidos pelo FMEA.

Análise de Perfil de Perdas				
Q	Equipamento	Nºde Falhas	MTTR	Duração
1	BA-02	12	1,64	19,70
2	BA-04	15	0,98	14,68
3	TR-11	24	0,73	17,60
4	BP-01	19	0,68	12,87
5	BP-01A	19	1,94	36,84
6	BA-02A	2	7,17	14,33
7	TR-14	5	2,31	11,53
8	BP-05	7	1,58	11,06
Total		103	1,35	138,61

Análise de Perfil de Perdas					
Q	Equipamento	Intertravamento	Nºde Falhas	MTTR	Duração
1	BP-01A	Falha de comunicação	4	1,02	4,07
2	BP-01A	Perda de fase	2	0,42	0,83
3	BP-01A	Vibração alta	2	3,33	6,65
4	BP-01A	Corrente baixa	2	1,78	3,56
5	BP-01A	Nível baixo	2	1,39	2,78
6	BP-01A	Disjuntor	4	0,82	3,28
7	BP-01A	Temperatura alta	1	2,08	2,08
8	BP-01A	Sobrecarga	2	6,80	13,59
Total			19	1,94	36,84

Figura 1. a) Perfil de perdas por equipamento; b) Perfil de perdas da BP01-A.

A Figura 5 analisa o tempo total de diagnóstico e reparo para os oito equipamentos mencionados, e os gráficos da Figura 6 mostram a análise separada dos tempos de diagnóstico e reparo com relação ao número de falhas.

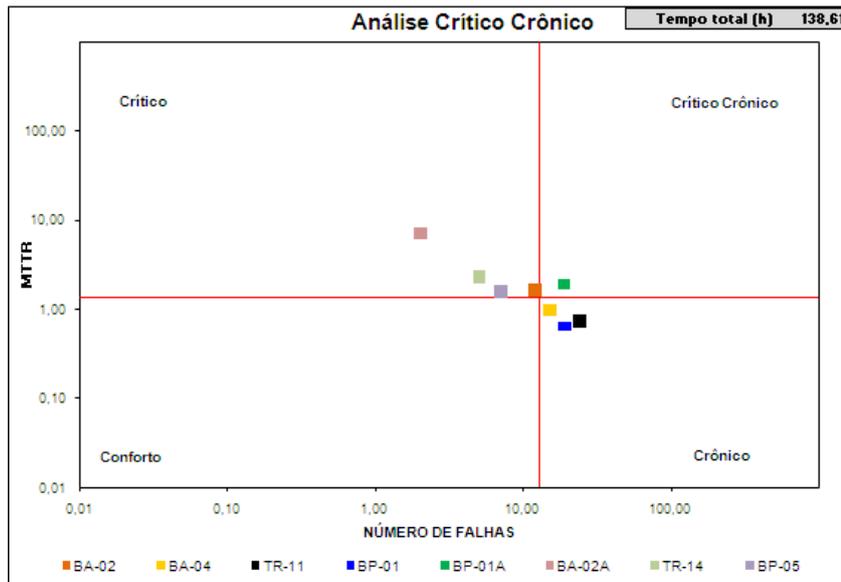


Figura 5. Gráficos crítico-crônico para equipamentos.

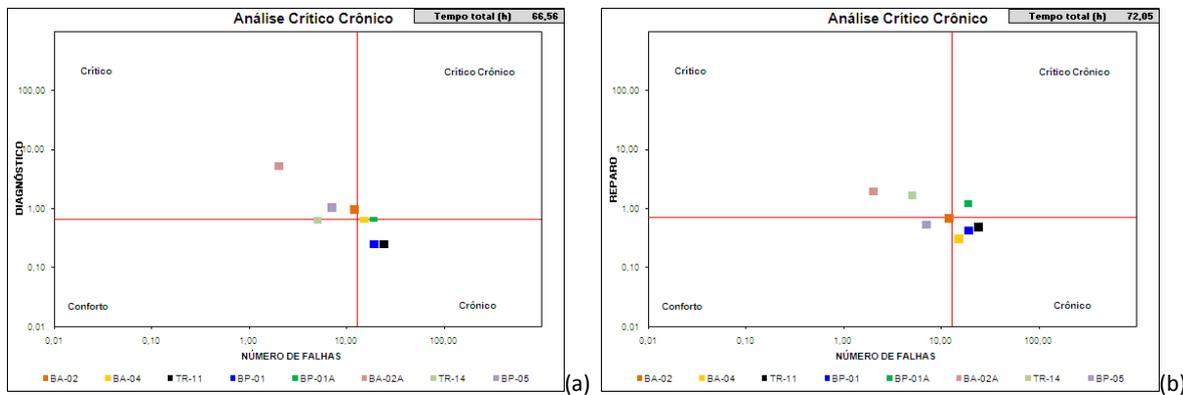


Figura 6. (a) Diagnóstico vs. número de falhas; e (b) Reparo vs. número de falhas.

Observa-se que, no período analisado, o gargalo do processo é a BP-01A. Por este motivo, podem-se traçar novos gráficos crítico-crônico derivados deste equipamento, de forma a analisar os intertravamentos que mais interferem no funcionamento.

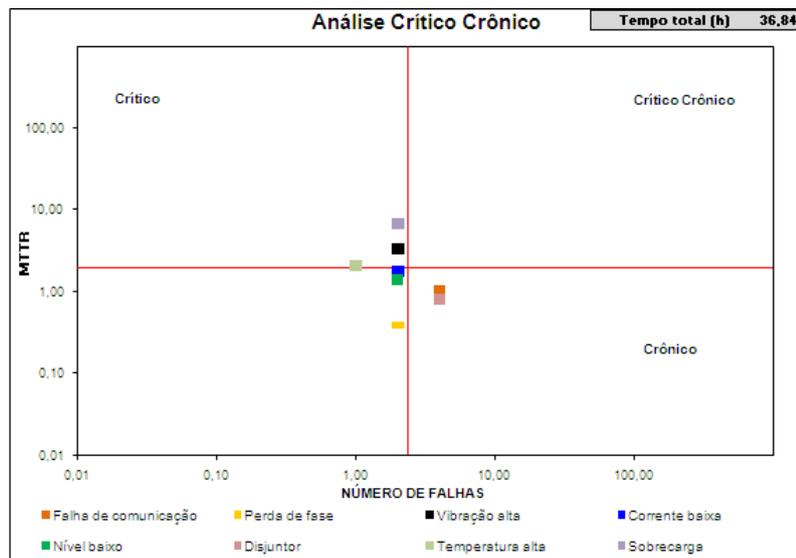


Figura 7. Gráficos crítico-crônico para intertravamentos da BP-01A.

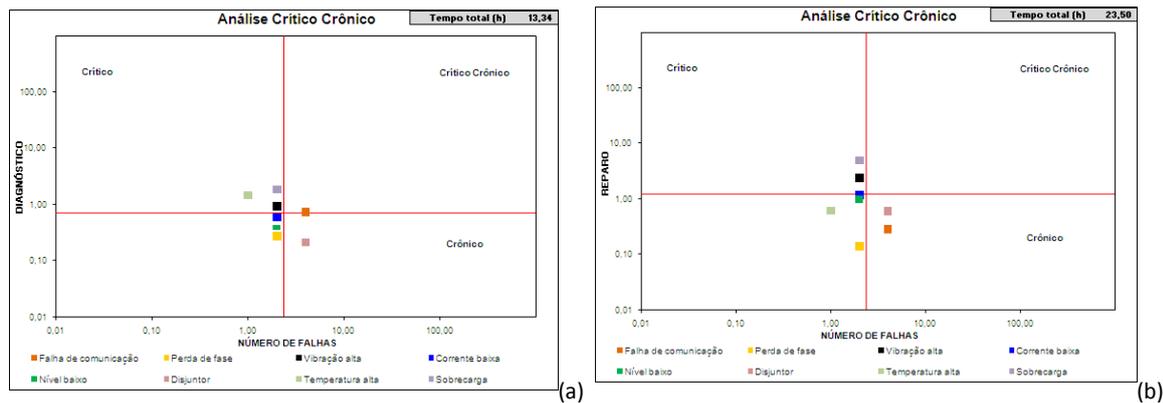


Figura 8. (a) Diagnóstico vs. número de falhas; e (b) reparo vs. número de falhas.

A aplicação desta metodologia não se limita aos exemplos mencionados, podendo ser estendida para equipamentos e processos diversos. Dependendo do nível de resposta do sistema de gerenciamento de paradas, pode-se desdobrar a análise dos pontos críticos para o nível de “Setor Responsável” e também para as “Causas”, conforme visto na Figura 2.

4 DISCUSSÃO

A implantação do modelo proposto possibilita aos gestores tomar decisões rápidas e assertivas, proporcionando redução das perdas, devido à mitigação dos problemas de apontamento e simplificação na interpretação dos dados.

A análise crítico-crônico facilita o diagnóstico de causas raiz de falhas e oferecem informações úteis para a otimização do nível adequado de estoque de componentes de baixa e alta rotatividade.⁽³⁾ Os problemas críticos têm um comportamento aleatório enquanto que os crônicos são probabilísticos, logo, temos condições de prever o melhor nível de estoque através de ferramentas estatísticas e estratégias de manutenção distintas.

Os gráficos permitem uma melhor priorização dos problemas de modo que os limitados recursos da manutenção possam ser melhores empregados.

O método crítico-crônico permite uma atuação proativa por parte dos gestores, em que diferentes estratégias de manutenção possam ser adotadas em função dos quadrantes. Por exemplo, para um problema crítico, o gestor deve focar em inspeções preditivas para evitar paradas corretivas, direcionar esforços no treinamento dos executantes, desenvolvimento de técnicas de setup rápido, planejamento de parada, e preparação antecipada de materiais em estoque. Para um problema crônico o gestor deve analisar o recurso disponível e combinar as variáveis, que tem maior influência no processo para tomar a decisão com foco na menor perda de produção, utilizando técnicas de engenharia para aumentar a confiabilidade do equipamento e processo, reduzindo assim a taxa de falha. A análise simplificada da metodologia proposta pode ser observada na Figura 9.

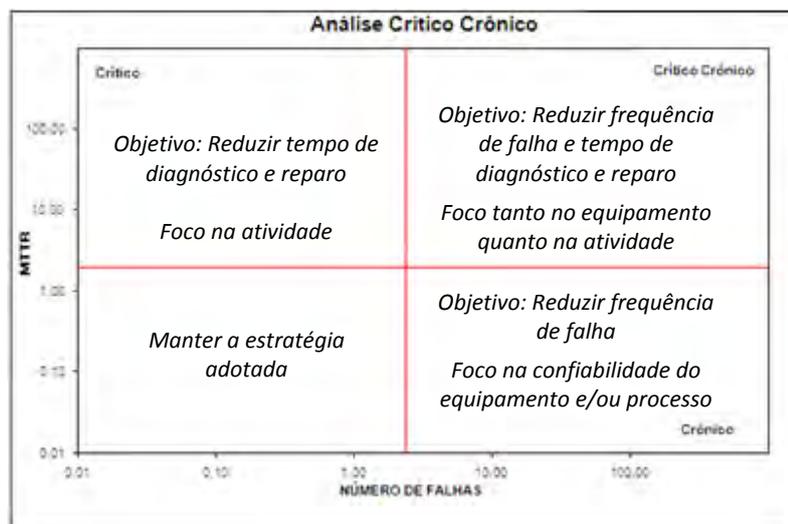


Figura 9. Análise simplificada da metodologia.

A estratégia para tomada de decisão baseado no modelo proposto é versátil e pode ser combinada com a árvore de valor, obtendo combinações do tipo: Impacto em Produção vs. MTBF. Outra aplicação é a geração do gráfico com os eixos Lead Time vs. Vida útil do componente, definindo assim diferentes estratégias de estoque em função dos quadrantes. Na prática, qualquer variável que represente criticidade pode ser correlacionada com outra que represente a frequência.

Podem ser observados outros ganhos através da utilização desta metodologia, tais como baixo custo de implantação, menor estrutura técnica de manutenção e de apoio, gestão eficaz do conhecimento e da informação, suportando os treinamentos das equipes.

5 CONCLUSÃO

A estratégia de apontamento de paradas proposta reduz a quantidade de dados inseridos manualmente no sistema, aumentando assim a confiabilidade do processo e proporciona embasamento aos gestores para tomada de decisão.

Recomenda-se a utilização da metodologia em todos os setores de manutenção (aeronáutico, automobilístico, siderurgia e mineração) para suporte à tomada de decisão dos gestores, uma vez que permite uma visualização clara dos pontos de atuação críticos e crônicos.

Informações confiáveis e instantâneas no sistema de gestão permitem aos profissionais da área agir de forma eficaz, solucionando assim os problemas relevantes no menor tempo possível. Com isso, pode-se evitar o método da tentativa e erro, obtendo ganhos de produtividade e redução de custos, melhorando a eficiência da organização.

Ressalta-se a importância da utilização de ferramentas de engenharia consolidadas, tais como Manutenção Centrada em Confiabilidade e Avaliação da Incerteza, na definição dos intertravamentos dos equipamentos, permitindo definir os pontos críticos com maior assertividade.

As decisões tomadas pelo gestor são provenientes da base de dados disponível e esta, por sua vez, depende do modelo de apontamento de paradas e do nível de automação do processo. Neste sentido, caso a base de dados não seja confiável a qualidade das ações tomadas será comprometida. Por esta razão é importante ter critério na utilização de histórico de falhas de outras organizações e processos na

tomada de decisão, visto que o histórico está associado à cultura organizacional, ao processo, à tecnologia empregada e às pessoas envolvidas.

Agradecimentos

Agradecemos a Anglo American nas pessoas dos gestores Rodrigo Vilela, Marcelo Gomes, Fernando Lage, Marcos Duarte, Luciano Lobão, Gustavo Cunha, Adilson Leite, José Maria Gomes e João Tarcísio que gentilmente contribuíram com sugestões e apoio necessário para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Kardec, Alan. Nascif, Júlio. (2010). Manutenção Função Estratégica, Qualitymark Editora Ltda – Rio de Janeiro, p 64; 107.
- 2 Knights, Peter F., "*Analysing Breakdowns*", Mining Magazine, Vol. 181 No.3, pp.165-71, September, 1999.
- 3 Azevedo, Celso (2012). Se as máquinas falassem, editora – cidade, p.64; 48-49.
- 4 Ribeiro, J.L.D. (1981). A engenharia da qualidade e a função de perda de Taguchi. In Coletânea de artigos sobre controle de qualidade e confiabilidade. DECIV/PPGEP – UFRGS, p 66-77.
- 5 Ian Anthony Pepper, Austin Cagney, Anthony Prylowski. Plant information management system. Patente US7155450.
- 6 NEMA, National Electrical Manufacturing Association. ICS-3/1978.
- 7 MESA, "MES explained: A High Level Vision", MESA International, White Paper 6, 1997.
- 8 NASA-STD-8729.1 – National Aeronautics and Space Administration
- 9 Rushton, A., Oxley, J. and Croucher, P. 2000. The handbook of logistics and distribution management. 2nd ed. London: Kogan Page. ISBN 978-0-7494-3365-9.