

APLICAÇÃO DO QUICK RESPONSE MANUFACTURING (QRM) PARA A REDUÇÃO DO TEMPO DE MANUTENÇÕES PROGRAMADAS EM UMA SUBESTAÇÃO TRANSMISSORA DE ENERGIA ELÉTRICA

Me. Jader Alves de Oliveira – Eletronorte

jader.oliveira@eletronorte.gov.br

Me. Tatiana Kimura Kodama – Universidade Federal de São Carlos

Kimura.tatiana@gmail.com

Me. Fernando Jose Gomez Paredes - Universidade Federal de São Carlos

fgomez@uca.edu.sv

Prof. Dr. Moacir Godinho Filho – Universidade Federal de São Carlos

moacir@dep.ufscar.br

Resumo

A crescente demanda por energia elétrica devido ao crescimento populacional no Brasil faz com que, tanto as empresas geradoras quanto as empresas transmissoras de energia elétrica, operem suas redes com o mínimo de interrupções possíveis. O objetivo desta pesquisa é mostrar como a aplicação da abordagem Quick Response Manufacturing (QRM) propõe a redução dos tempos de manutenção programada para a função transmissão de energia elétrica. O método utilizado na pesquisa foi estudo de caso, cuja unidade de análise foi a Subestação Conversora de Araraquara devido a sua importância na transmissão de energia na região. Verificou-se que a empresa estudada poderá obter vantagens significativas com a adoção desta abordagem.

Os resultados esperados por meio da implantação da proposta mostram uma redução de 58% no lead time em relação ao tempo total de intervenção projetado inicialmente.

Palavras-chave: Manutenção Programada, Quick Response Manufacturing (QRM), Setor de transmissão de energia elétrica, redução lead time

Abstract

The growing demand for electricity due to population growth in Brazil means that both generating, and transmission companies operate their networks with as few interruptions as possible. The objective of this research is to show how the application of the Quick Response Manufacturing (QRM) approach proposes the reduction of the scheduled maintenance times for the power transmission function. The method used in the research was a case study, whose unit of analysis was the Araraquara Converter Substation due to its importance in the transmission of energy in the region. It was verified that the studied company can obtain significant advantages with the adoption of this approach. The expected results through the implementation of the proposal show a 58% reduction in lead time compared to the total projected intervention time initially.

Keywords: Scheduled Maintenance, Quick Response Manufacturing (QRM), Energy transmission sector, Lead time reduction

Introdução

Os dados apresentados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) apontam que nos últimos anos houve um crescimento demográfico no Brasil. De acordo com as projeções realizadas pelo instituto, a população brasileira deve crescer aproximadamente 6,9% nos próximos 13 anos. O crescimento populacional é acompanhado pelo aumento da demanda de recursos, tal como a energia elétrica. Campos, Do Lago Ramos e Azevedo (2015), constataram que o consumo de energia elétrica prevista para o mercado brasileiro é crescente.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) com o intuito de atender essa crescente demanda por energia elétrica possui um planejamento estratégico de curto, médio e longo prazo para o país, tanto na geração quanto na transmissão de energia elétrica. A esse cenário, soma-se o fato do Brasil apresentar grandes dimensões

territoriais em que os grandes novos aproveitamentos hidroelétricos estão distantes dos principais centros de consumo. Esses fatores fazem com que os estudos para o desenvolvimento de novas tecnologias na transmissão de energia elétrica a longas distâncias sejam essenciais para o desenvolvimento do país.

As empresas de transmissoras de energia elétrica enfrentam desafios para a realização das manutenções, pois a interrupção da transmissão de energia elétrica demanda um volume considerável de recursos e o tempo é um fator crucial. O fator tempo torna-se crucial considerando que o tempo de manutenção não programada é traduzido na redução da receita pela indisponibilidade da Função Transmissão (FT) e impacta o Sistema Interligado Nacional (SIN). Somando-se a isso, todas as intervenções nas funções de transmissão devem ser analisadas e autorizadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

A abordagem *Quick Response Manufacturing* (QRM) pode contribuir para o setor de transmissão de energia elétrica por meio da redução dos prazos de intervenção junto ao ONS em desligamentos programados, pois o foco principal dessa abordagem é a redução do *lead time*. De acordo com Soulé et. al (2016), a aplicação da abordagem QRM ganha destaque na redução do *lead time* e, conseqüentemente, no desenvolvimento dessa prioridade competitiva. Nesse caso específico, a redução do *lead time* resulta na redução da perda financeira por indisponibilidade da função denominada de parcela variável.

A FT Pólo transmite a energia de forma contínua pelos polos e a sua indisponibilidade acarreta em deduções do pagamento base. O pagamento base é a remuneração associada à disponibilidade das FT e as deduções por indisponibilidade são realizadas de acordo com as regras do setor de elétrico definidas pela resolução 270 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2007).

A Subestação Conversora de Araraquara 600kV CC / 500kV CA, localizada no Estado de São Paulo, possui manutenções periódicas necessárias para atender a garantia do fabricante. Considerando-se que a tais manutenções programadas indisponibilizam uma grande quantidade de equipamentos devido a inspeção em várias frentes. Dessa forma, este estudo busca avaliar a viabilidade técnicoeconômica dos desligamentos programados dos pólos de conversão através da redução de *lead time* por meio da abordagem QRM e com resultado almeja-se a redução da perda de receita por parcela variável.

1. Quick Response Manufacturing

A Competição Baseada no Tempo (*Time Based Competition* – TBC) é um dos paradigmas estratégicos da Gestão de Operações e foi inicialmente proposto por Stalk e Hout (1990). Esse paradigma enfatiza a redução no tempo de desenvolvimento e de produção dos produtos. Uma metodologia derivada desse paradigma é conhecida como *Quick Response Manufacturing* (QRM) desenvolvida por Suri (1998) que reconhece o tempo como um recurso limitado. De acordo com Godinho Filho e Fernandes (2005), o QRM pode ser classificada como uma abordagem que busca encontrar soluções para os paradigmas da chamada manufatura responsiva.

Essa abordagem não se limita apenas a manufatura, pois não se trata de uma estratégia de chão de fábrica. De acordo com Suri (1998), o QRM é uma estratégia unificada para a empresa toda. A estratégia QRM descrita por Suri (2010) pode ser sintetizada em quatro conceitos chave: (a) entender e explorar o poder do tempo; (b) alterar a estrutura organizacional para atingir a redução do *lead time*; (c) utilização dos conceitos e ferramentas de dinâmica de sistemas e; (d) focar a redução do *lead time* na empresa como um todo.

O QRM utiliza-se do termo *lead time*, definido classicamente como, o tempo decorrido entre a realização do pedido pelo cliente até o recebimento deste pedido pelo cliente. No entanto, essa definição não ilustra a possibilidade de entender e eliminar desperdícios do sistema e nem indica o modo pelo qual o atendimento do pedido é realizado (ERICKSEN; STOFLET; SURI, 2007).

As organizações atentam-se a custos e a utilização de algumas métricas; porém, o tempo tem sido desconsiderado como uma fonte de melhoria para métricas organizacionais (TREVILLE, 1994). Uma ferramenta coerente para a medição do tempo originada pela abordagem QRM é o *Manufacturing Critical-path Time* (MCT). Soulé et. al (2016) corrobora com Suri (2010) afirmando que o MCT é uma métrica para *lead time* que foca nos resultados e na forma como esses são alcançados; é a típica quantidade de tempo no calendário do caminho crítico a partir do tempo decorrente entre a criação de um pedido na manufatura, no qual este flui através do caminho crítico até que a primeira peça deste pedido seja entregue ao cliente. O objetivo do MCT é identificar as maiores oportunidades de melhorias, a fim de detectar as principais causas de longos

lead times e, conseqüentemente os maiores direcionadores de desperdícios do sistema como um todo (ERICKSEN, et al. 2005).

A implementação do QRM requer pensar em termos de minimização de *lead time*. Deve-se atingir a mentalidade de gestão ideal para alcançar a “economia de rapidez”, deve-se mudar do pensamento baseado no custo para um pensamento baseado no tempo (SURI, 1998).

2. Descrição do objeto de estudo e problema de pesquisa

A subestação conversora de Araraquara iniciou sua operação comercial em novembro de 2013. A subestação recebe energia gerada pelo complexo hidroelétrico do Rio Madeira em Porto Velho, Rondônia através da maior linha de transmissão em corrente contínua do mundo, com cerca de 2.400 quilômetros de extensão.

A Subestação Araraquara tem como principal função converter a energia recebida de Porto Velho na tensão de 600kV em corrente contínua para corrente alternada na tensão de 500kV e assim disponibilizá-la para o SIN.

A empresa fabricante dos equipamentos da Subestação exige inspeções periódicas para atender a garantia dos mesmos. No entanto, interromper a FT é um imperativo para a realização da manutenção. O problema encontra-se no cliente ONS que possui como umas das suas premissas básicas: a redução das horas indisponíveis durante as intervenções com desligamentos programados por parte das concessionárias. As FTs com os maiores valores de receita na Subestação são os polos, e os seus desligamentos indisponibilizam simultaneamente uma grande quantidade de equipamentos instalados em locais diferentes.

A Subestação é composta por 2 polos conversores e cada hora de interrupção programada corresponde a uma perda de receita para a empresa de aproximadamente 40 mil reais por polo. Já as interrupções não programadas, ocasionadas por falhas ou por horas extras autorizadas pelo ONS acarretam uma perda de mais de 600 mil reais/hora por polo desligado. A tabela 1 mostra os valores relacionados a perdas na receita da empresa provenientes de desligamentos na função transmissão.

Tabela 1 - Valores de perda de receita por desligamentos programados e falhas

| Função transmissão | Por hora | | Por minuto | |
|----------------------------------|---------------|----------------|------------|---------------|
| | Programado | Outros | Programado | Outros |
| Polo 1 | R\$ 40.151,49 | R\$ 602.272,29 | R\$ 669,19 | R\$ 10.037,87 |
| Polo 2 | R\$ 40.151,49 | R\$ 602.272,29 | R\$ 669,19 | R\$ 10.037,87 |
| Grupos de filtros GF1 (FH11_C12) | R\$ 6.690,49 | R\$ 100.357,29 | R\$ 111,51 | R\$ 1.672,62 |
| Grupos de filtros GF2 (FH21_C22) | R\$ 6.690,50 | R\$ 100.357,50 | R\$ 111,51 | R\$ 1.672,63 |
| Grupos de filtros GF3 (FH31_C32) | R\$ 6.690,51 | R\$ 100.357,71 | R\$ 111,51 | R\$ 1.672,63 |
| Grupos de filtros GF1 (FH41) | R\$ 6.690,53 | R\$ 100.357,92 | R\$ 111,51 | R\$ 1.672,63 |
| Módulo Geral | R\$ 770,14 | R\$ 11.552,08 | R\$ 12,84 | R\$ 192,53 |

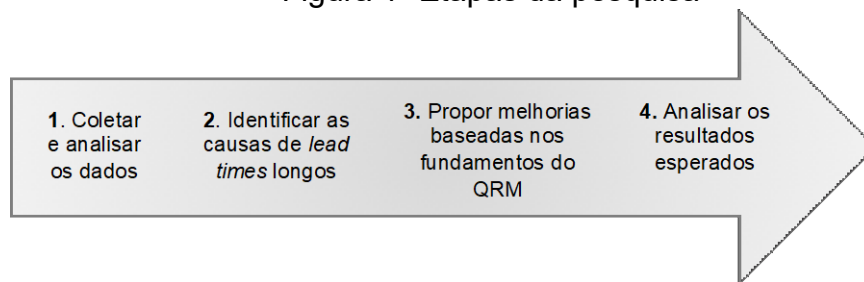
Fonte: Documento de Referência do ONS: AMSE_31/12/2013

Segundo o manual do fabricante de equipamento (ABB Suécia), três planos de manutenção são necessários e envolvem grandes desligamentos: anual; bianual e; trianual. A operação da empresa iniciou-se em novembro de 2013, como supracitado e, ainda não foi realizada nenhuma manutenção programada, sendo o foco deste estudo a primeira manutenção anual dos polos que está prevista para ser realizada em novembro de 2014. A manutenção anual programada prevê a manutenção de 6 diferentes equipamentos, sendo eles: 6 bi válvulas (12 válvulas no total); 2 filtros de corrente contínua; 3 reatores de alisamento; 15 para-raios das válvulas; 3 capacitores de radiofrequência e; 1 capacitor da barra de neutro. O foco deste estudo centra-se na manutenção programada anual

3. Método de Pesquisa

A pesquisa realizada utilizou o método de estudo de caso (YIN, 2005). O estudo de caso foi realizado em uma empresa de materiais transmissora de energia elétrica, selecionada por meio de uma abordagem não probabilística e intencional (PATTON, 1990). Neste estudo, foram realizadas visitas, coleta de dados e entrevistas. A visita foi acompanhada por um guia, cuja finalidade era explanar sobre o processo de manutenção da empresa. Durante as visitas foi possível entender o processo de manutenção estudado como um todo. A execução da estratégia QRM para a redução do *lead time* por meio da implementação de um projeto seguiu as quatro etapas propostas por Suri (1998) e encontra-se ilustrado na Figura 1.

Figura 1- Etapas da pesquisa



Fonte: Adaptado de Suri (1998)

4.1. Coleta e análise de dados

A empresa não possui registros e/ ou dados históricos das atividades de manutenção na Subestação Araraquara. Portanto, o mapeamento inicial macro de todas as atividades de manutenção do polo foi baseado nos tempos de execução estimados pelo fabricante e nas adequações necessárias da área de segurança para trabalhos do setor elétrico, conforme exigências da norma regulamentadora NR-10, de 07 de dezembro de 2004 do Ministério do Trabalho e Emprego. Dessa forma, parte dos tempos foram estimados conforme dados informados pelo fabricante e alguns através de simulações em campo com a equipe de manutenção local.

Inicialmente foram mapeadas todas as tarefas a serem executadas durante a manutenção, identificando a infraestrutura necessária para realizá-las, tais como: máquinas; equipamentos; ferramentas especiais; materiais de consumo; equipe de especialistas; equipe de apoio; entre outros. Além dos tempos de execução das tarefas, os tempos de deslocamento de recursos também devem ser considerados. Os tempos de execução das tarefas, movimentação de recursos e *start-up* foram obtidas através de simulações em campo, no qual foram medidos e registrados todos os tempos envolvidos. O Quadro 1 apresenta as tarefas a serem executadas durante a manutenção anual dos reatores e o Quadro 2 apresenta as tarefas a serem executadas durante a manutenção anual das biválvulas.

Quadro 1 - Tarefas a serem executadas durante a manutenção anual dos reatores

| Item | O Que Fazer? |
|------|--|
| 1 | Verifique a superfície do enrolamento e a superfície dos isolantes no que diz respeito à contaminação e, se necessário limpe a superfície. |
| 2 | Verifique o acabamento da superfície do reator (pintura ou revestimento de proteção de silicone) e, se necessário, retoque pequenas imperfeições. |
| 3 | Verifique a superfície do enrolamento no que diz respeito a vestígios de descargas elétricas ou linha de fuga de descargas elétricas. Os caminhos de fuga surgem como vestígios de linhas enegrecidas em forma de árvore frequentemente nas extremidades do enrolamento. |
| 4 | Verifique o aperto dos suportes radiais das armações superiores e inferiores dos enrolamentos e se existente, as escoras de fixação desses suportes. Se necessário reapertar as conexões aparafusadas com o torque adequado. |
| 5 | Verifique aleatoriamente os torques de aperto das conexões aparafusadas utilizadas para montar os isolantes e os suportes do reator, se necessário aperte as conexões aplicando os torques adequados conforme anexo II. |
| 6 | Verifique a extremidade superior do enrolamento e canais de arrefecimento no que diz respeito a corpos estranhos, tais como folhas ou ninhos de pássaros. |
| 7 | Verifique as conexões de aterramento no que diz respeito à corrosão e o aperto dos parafusos dessas conexões. |
| 8 | Limpeza dos reatores com a utilização de jatos d'água. |

Fonte: Manual do fabricante (ABBSuécia)

Quadro 2 - Tarefas a serem executadas durante a manutenção anual das biválvulas

| Item | O Que Fazer? |
|------|--|
| 1 | MÓDULOS DE TIRISTORES |
| | Verificar a tubulação de refrigeração interna da válvula quanto à existência de gotas d'água e outros indicativos de vazamentos. Verificar as conexões quanto a indicativos de mal contato. |
| 2 | CAPACITORES E RESISTORES |
| | Verificar estado geral dos capacitores e resistores do circuito divisor e de amortecimento, substituindo os que apresentarem sinais de danos; Verificar a inexistência de conexões folgadas |
| 3 | ISOLADORES E PÁRAIOS |
| | Verificar estado geral dos isoladores e para raios efetuando a limpeza com álcool isopropílico e pano de morim quando necessário; |
| 4 | SALA DE VÁLVULAS |
| | Efetuar a limpeza de todo o piso |
| 5 | INSPEÇÃO FINAL (ANUAL) |
| | Verificar a inexistência de objetos estranhos (ferramentas, instrumentos, etc.) e limpeza da área. |

Fonte: Manual do fabricante (ABBSuécia)

Para a execução da manutenção são requeridos quatro plataformas e 16 pessoas distribuídos nas seguintes funções: técnicos, supervisores e coordenadores. Conforme citado anteriormente, o número de técnicos, supervisores e coordenadores foi calculado com base no manual fornecido pelo fabricante e nas adequações

necessárias para se ajustar à norma regulamentadora de procedimentos de segurança para o trabalhador (NR-10).

As atividades de manutenção do sistema requerem o desligamento parcial do bipolo, indisponibilizando, simultaneamente, uma grande quantidade de equipamentos instalados em locais diferentes. A Figura 2 apresenta a disposição dos equipamentos através de uma vista superior da planta. Os números correspondem, respectivamente: (1) biválvulas; (2) para-raios das válvulas localizados na sala de válvulas; (3) capacitores de radiofrequência; (4) reatores de alisamento; (5) filtros de corrente contínua; (6) capacitor da barra de neutro.

Figura 2 - Disposição dos equipamentos



Fonte: Elaborado pelos autores

4.2 Identificação das causas do longo *lead time*

Após a coleta e análise dos dados, passou-se para a fase de levantamento das causas do longo *lead time* através da elaboração do MCT que foi baseado nas tarefas a serem executadas com seus respectivos tempos de execução e recursos requeridos para o plano de manutenção anual conforme apresentado na Figura 4.

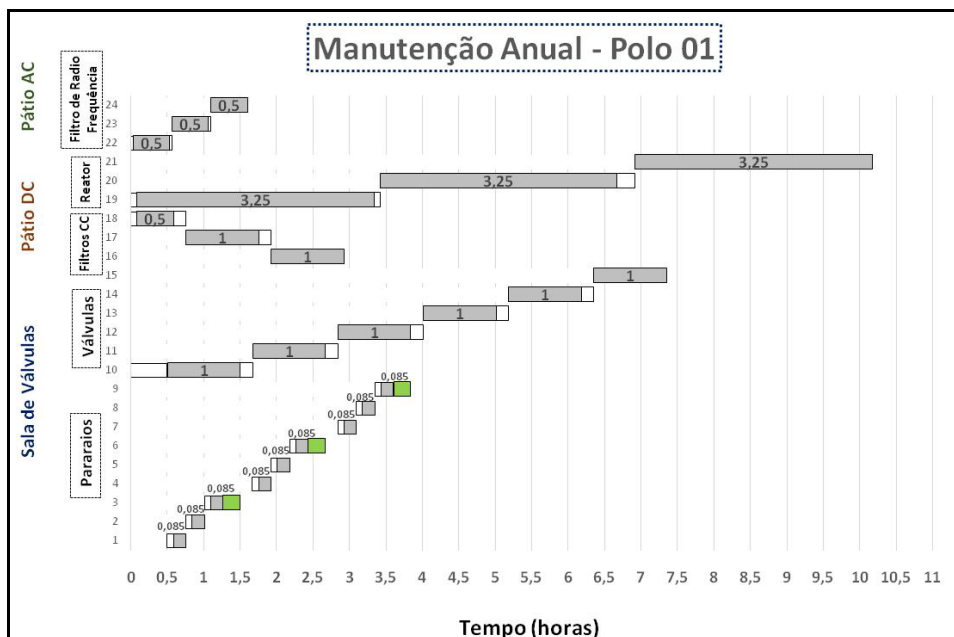
Na Figura 4, a cor cinza representa o “*touch time*”(agrega valor ao processo), os espaços em branco representam os tempos de preparação e deslocamento da plataforma, enquanto a cor verde representa tempos de espera da plataforma. As tarefas estão divididas em três grandes frentes de trabalho: sala de válvulas, Pátio AC e Pátio DC (ver Figura 3) e conforme Figura 4 pode-se verificar as principais áreas trabalhando de forma paralela e com atividades em série dentro de cada frente de inspeção.

Figura 3 - Visão Subestação



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 4 - MCT inicial para o Plano de Manutenção Anual



Fonte: Elaborado pelos autores

Na sala de válvulas é alocada uma plataforma, a qual posiciona uma dupla de técnicos nas válvulas e durante a inspeção das válvulas a mesma plataforma é utilizada para realizar a inspeção nos para-raios das válvulas com outra dupla. Vale ressaltar que durante a manutenção de uma válvula é feita a manutenção de três para-raios. No pátio DC, uma plataforma posiciona uma dupla de técnicos que realizarão a manutenção dos reatores, enquanto que outra posiciona a dupla dos filtros e a dupla do capacitor. Todas as tarefas anteriores também foram sequenciadas em série. Em cada uma das duas frentes de trabalho anteriores haverá um supervisor da empresa fabricante. Finalmente, no pátio AC a manutenção dos filtros de radiofrequência é feita em serie por uma dupla utilizando uma plataforma. O plano anterior requer uma mão de obra total de 12 técnicos, 2 supervisores e 2 coordenadores gerais da manutenção, um dos quais representa à subestação elétrica e o outro é representante do fabricante dos equipamentos.

3.3. Propostas de melhorias e Resultados esperados

Nesta seção apresenta-se e avalia-se diversas propostas que visam reduzir o tempo necessário para a realização das atividades de manutenção anual do sistema, as quais implicam no desligamento de um dos polos, mantendo a transmissão pela

operação monopolar e não bipolar como ocorre normalmente. Avaliações de diversos cenários, considerando diversas possibilidades e limitações na utilização de recursos são apresentadas com o objetivo de avaliar impactos técnicos e econômicos no sistema. O objetivo principal da aplicação do QRM é reduzir o tempo requerido para a manutenção programada da função de transmissão dos polos da Subestação.

Com base no MCT inicial, foram propostas e avaliadas distintas alternativas que poderiam ser utilizadas para reduzir o tempo total de intervenção, o qual inicialmente foi de mais de 10 horas. As propostas de melhoria são resumidas na Quadro 3.

Quadro 3 - Propostas de melhoria para a redução do tempo de manutenção

| Proposta de melhoria | Princípio, estratégia e/ou ferramenta QRM utilizada | Descrição |
|---|---|---|
| Quantificação do “touch time” real. | Repensar como realizar as atividades, com foco na minimização do lead time. | Discussões juntamente com o fabricante sobre os tempos fornecidos para as distintas atividades de manutenção. Nessas discussões foi questionada a veracidade dos tempos do manual de manutenção. Além disso, foram feitas simulações em campo para tentar quantificar com maior precisão os tempos das tarefas. |
| Paralelização da inspeção na sala de válvulas. | Dinâmica de sistemas. | Utilizando o princípio ‘converter tarefas de sequenciais para paralelas’ foi proposta a alocação de uma dupla de inspeção adicional na sala de válvulas, o que permite realizar a manutenção de duas válvulas simultaneamente. |
| Redistribuição das tarefas no pátio DC. | Repensar como realizar as atividades, com foco na minimização do lead time | Mudou-se a alocação das plataformas às atividades no pátio DC, de modo a minimizar e simplificar a distância percorrida pela equipe através do pátio. |
| Limpeza dos reatores com a utilização de jatos d’água | Eliminar tarefas que não agregam valor ao processo | Verificou-se que o motivo da limpeza era indicada para situações de salinidade e poluição atmosférica. No caso em questão, essa atividade pode ser retirada. |

Fonte: Elaborado pelos autores

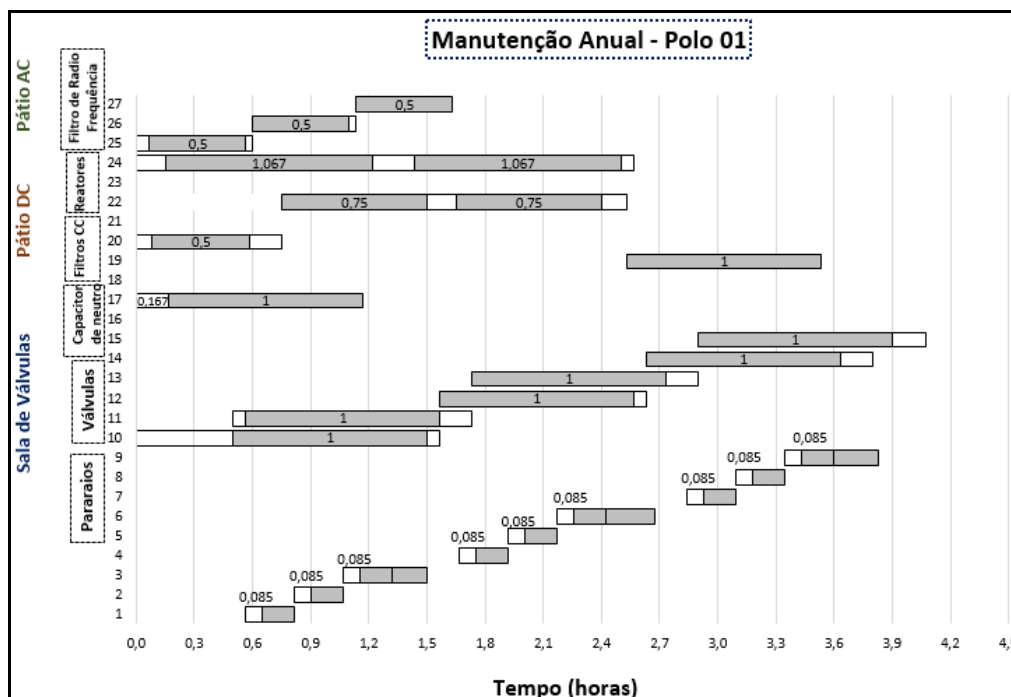
Em relação à primeira proposta, o tempo de manutenção dos reatores de alisamento foi reduzido devido à eliminação da tarefa 8 (limpeza dos reatores com a utilização de jatos d’água) que pode ser observado na Figura 4. De acordo com o fabricante, esse tipo de limpeza é mais indicado para situações de salinidade e poluição atmosférica. Desta forma, em função das condições locais foi acordado entre fabricante e subestação elétrica a eliminação desta tarefa. Com isso, o tempo da manutenção dos reatores passou de 195 minutos para 64 minutos.

A segunda proposta de melhoria surge a partir de simulações feitas em campo, as quais permitiram observar a movimentação excessiva de alguns recursos. Inicialmente, uma dupla de técnicos executa as tarefas de manutenção de dois reatores localizados um do lado do outro. Ao finalizar estas tarefas, a plataforma de elevação leva a dupla até o reator faltante, atravessando o pátio DC, o que resulta em um alto tempo de deslocamento de técnicos e plataforma. Para contornar este problema,

algumas tarefas no pátio DC são redistribuídas: uma dupla de técnicos se encarrega exclusivamente das tarefas dos dois reatores localizados um do lado do outro. O outro reator é realocado à dupla de técnicos encarregados dos filtros, os quais estão mais próximos do reator. Desta forma elimina-se a necessidade de deslocamento entre os reatores e minimiza-se a movimentação total das plataformas.

Finalmente, como última proposta de melhoria, uma nova dupla de técnicos será capacitada e treinada para executar tarefas de manutenção na sala de válvulas, de modo a paralelizar as atividades de manutenção dentro da sala. Inicialmente, a plataforma posiciona uma dupla em uma válvula e, em seguida, posiciona a outra dupla em outra válvula. Após posicionar as duplas nas válvulas, a plataforma fica livre e pode ser utilizada para as inspeções dos para-raios. O anterior gera uma redução de quase 50% do tempo de intervenção na sala de válvulas. É preciso destacar que várias simulações em campo foram realizadas com o objetivo de determinar com maior precisão os tempos de duração das tarefas. Neste caso, verificou-se que o tempo utilizado é realmente de 60 minutos para cada bi válvula. Ao considerar as melhorias propostas, o novo MCT para o plano de manutenção anual é apresentado na Figura 5.

Figura 5. Mapeamento do MCT com base nas propostas de melhoria



Fonte: Elaborado pelos autores

Destaca-se que a quantidade de técnicos só foi alterada na sala de válvulas (acrescentando uma dupla), enquanto o número de plataformas permaneceu a mesma. Nota-se que no pátio AC a manutenção dos filtros permaneceu igual ao plano inicial tendo em vista que essa atividade não é crítica em relação ao tempo total de intervenção.

O plano de manutenção atual requer apenas mais dois técnicos em relação ao plano inicial, mantendo-se a quantidade de coordenadores e supervisores, totalizando 14 técnicos, 2 supervisores e 2 coordenadores gerais da manutenção.

Os resultados da análise do MCT com as propostas de melhorias indicam que o tempo do desligamento para realizar a manutenção pode ser reduzido em cerca de 58% em relação ao tempo total de intervenção projetado inicialmente. Os custos envolvidos na manutenção estão representados em três itens principais: perda de receita da subestação por desligamento de equipamentos, aluguel de plataformas de elevação e horas extras trabalhadas (por se tratar de desligamento nos finais de semana). A Tabela 2 apresenta um comparativo entre o custo inicial de manutenção programada e o custo adotando as melhorias propostas por meio do QRM.

Tabela 1: Custos totais Plano inicial *versus* Plano proposto

| Descrição | Plano inicial | Plano proposto |
|---|--|---|
| Perda de receita | $(10,5h+2h) \times R\$40.000 = R\500.000 | $(4h+1h) \times R\$40.000 = R\200.000 |
| Aluguel de plataformas (4 plataformas) | R\$ 32.000 | R\$ 32.000 |
| Estimativa de horas extras | R\$ 20.000 | R\$ 8.000 |

Fonte: Elaborado pelos autores

No plano inicial, as 10,5 horas representam o desligamento programado e 2 horas representam a “folga” para a garantia de confiabilidade ao se tratar de um desligamento de longa duração. Essa ‘folga’ para o plano inicial se deve à falta de conscientização dos trabalhadores para esse tipo de atividade. No entanto, no plano proposto, pode-se observar que a “folga” é de apenas 1 hora, pois através do QRM atingiu-se um menor tempo de intervenção projetado e por consequência, uma maior confiabilidade durante a execução da manutenção. Ressalta-se ainda, que cada hora

de desligamento não programado representa um custo de R\$ 600.000 para a subestação elétrica em contraste com os R\$ 40.000 por cada hora de desligamento programado. Portanto, o tempo de “folga” afere maior segurança, pois permite contornar eventualidades não contempladas no plano que poderiam aumentar o tempo de intervenção.

4. Conclusões

As proposições de melhorias com base na abordagem QRM apontam uma redução de aproximadamente 58% em relação ao tempo de intervenção inicial. Ressalta-se que o mapeamento foi realizado com base no manual de manutenção fornecido pelo fabricante. Essa pesquisa demonstra como uma abordagem com foco na redução do tempo no setor de transmissão de energia traz não só benefícios com relação a redução do lead time, mas um ganho financeiro e a melhoria do planejamento das atividades e otimização dos recursos.

Finalmente, deve-se lembrar que apesar dos ganhos potenciais obtidos através das propostas de melhoria, ainda existe uma outra barreira na redução do *lead time* durante a manutenção. De acordo com os princípios do QRM, pode-se afirmar que o maior obstáculo é o *mind-set*, pois para concretizar a manutenção em um pouco mais de 4 horas são necessários a conscientização e o treinamento da equipe envolvida.

Um passo para pesquisas futuras é a comparação entre as propostas teóricas e as implementações, pois as pesquisas empíricas contribuem para reduzir o *gap* entre a teoria e a prática.

Referências:

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa 270, de 26 de Junho de 2007.

CAMPOS, Fred Leite Siqueira; DO LAGO RAMOS, Fabio; AZEVEDO, Beatriz Marcondes. Análise de viabilidade econômica regulatória à criação de cooperativa de consumo de energia elétrica—o caso do setor elétrico brasileiro na segunda década do século XXI. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 3, p. 966-987, 2016.

ERICKESSEN, P. D.; SURI, R. EL-JAWHARI, B.; ARMSTRONG, A. J. Filling the gap: rethinking supply management in the age of global sourcing and lean. APICS, February, 2005.

ERICKSEN, P. D.; STOFLET, N. J.; SURI, R. Manufacturing Critical-path Time (MCT): The QRM Metric for Lead Time. April, 2007.

GODINHO Filho, M. FERNANDES. F.C.F. Paradigmas Estrategicos de Gestao da Manufatura (PEGEMs) elementos chave e modelo conceitual. Gestao & Producao. São Carlos v.12, n.3, p.333-346, 2005

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acessado em 04 maio de 2017

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora NR-10**, de 07 de Dezembro de 2004.

ONS, OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. Procedimento de rede – Submódulo 16.2 Acompanhamento de

manutenção de equipamento e linhas de transmissão, de 05 de Agosto de 2009.

PATTON, Michael Quinn. **Qualitative evaluation and research methods**. SAGE Publications, inc, 1990.

SOULÉ, Fernanda Veríssimo et al. Proposta de redução de lead time na linha de produtos termoeletrônicos de uma pequena empresa familiar do interior paulista. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 1, p. 278-312, 2016.

STALK, G. **Competing Against Time: How Time-Based Competition is Reshaping Global Markets**. The Free Press, NY, 1990.

SURI, R. It's about time: the competitive advantage of quick response manufacturing. Productive Press, 2010.

SURI, R., Quick Response Manufacturing. A Companywide Approach to Reducing Lead Times, Productivity Press, 1998.

TREVILLE, S. Using rapid modeling to make kaizen work more effectively. APICS The Performance Advantage, October 1994.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 3^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2005