

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO – PR

**APLICAÇÃO DO *World Class Maintenance* (WCM) NA MANUTENÇÃO
DE MÁQUINAS DE COLHEITA DA MADEIRA**

Carlos César Cavassin Diniz

IRATI – PR

2016

Carlos César Cavassin Diniz

**APLICAÇÃO DO *World Class Maintenance* (WCM) NA MANUTENÇÃO
DE MÁQUINAS DE COLHEITA DA MADEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Colheita Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes
Orientador

Prof. Dr. Gabriel de Magalhães Miranda
Coorientador

Prof. Dr. Henrique Soares Koehler
Coorientador

IRATI – PR

2016

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

DINIZ, Carlos César Cavassin.

D585a Aplicação do *World Class Maintenance* (WCM) na manutenção de máquinas de colheita da madeira / Carlos César Cavassin Diniz. – Irati, PR : [s.n], 2016.

97 f.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes

Coorientador: Prof. Dr. Gabriel de Magalhães Miranda

Coorientador: Prof. Dr. Henrique Soares Koehler

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Área de concentração em Colheita Florestal. Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR.

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Processador *harvester*. 3. Empresa Klabin.
4. Óleo hidráulico – consumo. I. Lopes, Eduardo da Silva. II. Miranda, Gabriel de Magalhães. III. Koehler, Henrique Soares. IV. UNICENTRO. V. Título.

CDD 634.98



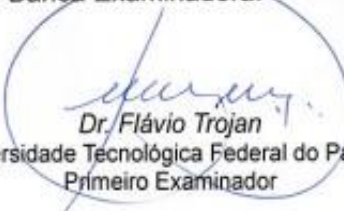
TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 99


Carlos César Cavassin Diniz

“Aplicação do *World Class Maintenance* (WCM) na manutenção de máquinas de colheita da madeira”


Dissertação aprovada em 16/12/2016, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:




Dr. Flávio Trojan
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Primeiro Examinador



Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert
Universidade Federal do Paraná
Segundo Examinador



Dr. Antônio José Vinha Zanuncio
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Terceiro Examinador



Dr. Eduardo da Silva Lopes
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR
2016

Home Page: <http://www.unicentro.br>

“Não há nada no mundo que esteja melhor repartido do que a razão: todos estão convencidos de que a tem de sobra”.

René Descartes

A

Deus

AGRADEÇO.

Aos meus queridos e amados pais Amauri
Diniz e Beatris C. C. Diniz, à minha irmã
Amábele Cavassin Diniz Alessi e à minha
noiva Cintia R. Longhini.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Em especial ao Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes, pela valiosa orientação, amizade, estímulo, paciência e confiança no desenvolvimento e conclusão deste trabalho;

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e ao Departamento de Engenharia Florestal, pelo acolhimento e possibilidade de realização deste trabalho;

Ao Engenheiro Mecânico José Eduardo Paccola pelo aceite em participar deste trabalho colaborando com valiosas orientações e sugestões;

Ao Prof. Dr. Jean Alberto Sampietro pela amizade e sugestões no trabalho;

Ao Prof. Dr. Gabriel de Magalhães Miranda pela coorientação, amizade e confiança;

Ao Prof. Dr. Henrique Soares Koehler pela coorientação, sugestões e correções do trabalho;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pelos ensinamentos durante o curso;

À Klabin S.A. pelo grande apoio, interesse e concessão de suas áreas, permitindo que este trabalho pudesse ser realizado;

Ao Altair Negrello Junior, Cristiano Freitas Lopes, Eduardo C. Kremer, Rubya Bieber, Hellen Oliveira e Rodrigo A. da Silva pelo apoio e amizade durante a realização do trabalho;

Aos amigos Fernando Passos e Jailson Crovador pela amizade e auxílio durante os dois anos de pesquisa;

Aos grandes amigos de laboratório e CENFOR, Felipe Martins de Oliveira, Paulo Candido da Silva, Emanuel de Andrade, Carla Krulikowski Rodrigues, Matheus Kaminski Candido Silva, Millana Pagnussat e demais colegas pela amizade, colaboração, sugestões e momentos de descontração;

Em especial ao meu pai Amauri Diniz e minha mãe Beatris C. C. Diniz que não mediram esforços em me ajudar durante toda a vida;

À minha noiva Cintia Ribelato Longhini, que apoiou e incentivou em todos os momentos com carinho e amor; e

Enfim, a todos que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
3.1. Importância do setor florestal	4
3.3. Colheita de madeira	5
3.3.1. Conceito.....	5
3.3.2. Sistemas de colheita da madeira.....	6
3.3.3. Principais máquinas utilizadas na colheita florestal	7
3.4. Manutenção Mecânica	8
3.4.1. Conceito.....	8
3.4.2. Importância da manutenção.....	9
3.4.3. Histórico da manutenção	9
3.4.4. Índices abordados na manutenção	11
3.4.5. Tipos de manutenção	13
3.4.6. Indicadores de desempenho.....	14
3.4.7. Programas de manutenção	15
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1. Caracterização da área de estudo	21
4.2. Sistema de colheita e máquinas avaliadas	21
4.3. Descrição dos processos de manutenção	23
4.4. Análise comparativa dos processos de manutenção	32
4.4.1. Disponibilidade mecânica.....	32
4.4.2. Consumo médio de óleo hidráulico	33
4.4.3. Estimativa do custo de manutenção.....	33
4.5. Análise dos indicadores do processo WCM	35
4.5.1. Tempo médio entre falhas (MTBF).....	35
4.5.2. Tempo médio de reparo (MTTR)	35
4.5.3. Índice de proativa (IPR)	35
4.5.4. Índice de reativa (IRE)	36

4.6.	Análise das boas práticas aplicadas à manutenção WCM	36
4.7.	Análise estatística	39
5.	RESULTADOS	40
5.1.	Análise técnica e de custos dos processos de manutenção mecânica	40
5.1.1.	Disponibilidade mecânica.....	40
5.1.2.	Consumo de óleo hidráulico	42
5.1.3.	Custo de manutenção.....	43
5.2.	Análise do processo de manutenção WCM	48
5.2.1.	Tempo médio entre falhas (MTBF).....	48
5.2.2.	Tempo médio de reparo (MTTR)	50
5.2.3.	Índice de proativa (IPR)	51
5.2.4.	Índice de reativa (IRE)	53
5.3.	Boas práticas na manutenção de máquinas florestais	55
6.	CONCLUSÕES	65
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
8.	ANEXOS.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação das gerações da manutenção mecânica.....	10
Figura 2. Pilares da TPM durante a primeira fase.	16
Figura 3. Pilares da TPM a partir da segunda fase.	16
Figura 4. Componentes de um programa de manutenção centrada em confiabilidade.	18
Figura 5. Pilares da <i>World Class Maintenance</i> – WCM.	18
Figura 6. Medidas fundamentais para o sistema de gerenciamento da WCM.	19
Figura 7. Pirâmide de manutenção por meio da melhoria contínua.	20
Figura 8. Localização da região de estudo.	21
Figura 9. Linha do tempo dos processos de manutenção adotados pela companhia.....	23
Figura 10. Veículo utilizado na manutenção mecânica do processo Tradicional.	23
Figura 10. Veículos utilizados para o abastecimento das máquinas.....	24
Figura 12. Caminhão pipa utilizado na lavagem dos equipamentos móveis.....	24
Figura 13. Veículo de apoio para atendimento dos mecânicos às máquinas.....	25
Figura 14. Mecânico realizando atividade de manutenção.....	25
Figura 15. Área de vivência utilizada pelos colaboradores da colheita florestal e manutenção.	26
Figura 16. Almoxarifado central adotado pela empresa.....	26
Figura 17. Estrutura da oficina central	27
Figura 18. Veículo de apoio responsável por abastecer os módulos com reposições de peças.	28
Figura 19. Carreta de pequeno porte utilizada nas atividades de solda.....	29
Figura 20. Carreta baú equipada com almoxarifado de campo.	29
Figura 21. Área administrativa do módulo de colheita da madeira.....	30
Figura 22. Oficina presente no módulo com WCM.	30
Figura 23. Circulo dinâmico de indicadores de desempenho.....	37
Figura 24. Circulo dinâmico de indicadores de desempenho correspondente à produção (a), finanças (b), compras (c), armazenamento, e (d) e recursos humanos (e).	38
Figura 25. Disponibilidade mecânica das máquinas de colheita da madeira submetida aos processos de manutenção mecânica Tradicional e WCM.	41
Figura 26. Consumo médio de óleo hidráulico (COH) das máquinas de colheita da madeira submetida aos processos de manutenção mecânica Tradicional e WCM.	42

Figura 27. Custo médio por unidade produzida da manutenção mecânica das máquinas submetidas aos processos de manutenção Tradicional e WCM.	44
Figura 28. Distribuição percentual dos itens componentes dos custos de manutenção do <i>feller buncher</i> (a), <i>skidder</i> (b) e <i>harvester</i> (c) nos processos Tradicional (1) e WCM (2).	45
Figura 29. Tempo médio entre falhas no processo de manutenção WCM nos estágios de implantação, amadurecimento e estabilização.....	49
Figura 30. Tempo médio de reparo nos estágios de amadurecimento e estabilização das máquinas submetidas ao processo de manutenção WCM.	51
Figura 31. Índice de proativa nos estágios de implantação, amadurecimento e estabilização das máquinas no processo de manutenção WCM.	53
Figura 32. Índice de reativa nos estágios de implantação, amadurecimento e estabilização das máquinas no processo WCM.....	55
Figura 33. Indicadores finais nos níveis técnico, gestão e avançada referentes às boas práticas aplicado no processo WCM.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das máquinas avaliadas no sistema de colheita de madeira <i>full tree</i>	22
Tabela 2. Nível de desenvolvimento das boas práticas da equipe de manutenção.....	39
Tabela 3. Custo médio por hora trabalhada com manutenção mecânica das máquinas de colheita da madeira nos processos de manutenção Tradicional e WCM.	47
Tabela 4. Indicadores de boas práticas do avaliadas pela equipe multidisciplinar da manutenção.....	56
Tabela 5. Indicadores de boas práticas do aspecto técnico avaliadas pela equipe multidisciplinar da manutenção.....	58
Tabela 6. Indicadores de boas práticas do aspecto de gestão avaliadas pela equipe multidisciplinar da manutenção.....	60
Tabela 7. Indicadores de boas práticas do aspecto avançado avaliadas pela equipe multidisciplinar da manutenção.....	62
Tabela 8. Nível das boas práticas alcançado pela companhia.	64

RESUMO

Carlos César Cavassin Diniz. Aplicação do *World Class Maintenance* (WCM) na manutenção de máquinas de colheita da madeira

Este trabalho objetivou avaliar a aplicabilidade da ferramenta *World Class Maintenance* (WCM) na manutenção de máquinas de colheita da madeira, por meio da comparação de indicadores pertinentes entre os processos de manutenção tradicional e WCM. A pesquisa foi realizada na empresa Klabin S. A., localizada no município de Telemâco Borba, Paraná. Foi realizada uma análise comparativa entre os processos de manutenção Tradicional e WCM por meio dos seguintes indicadores: disponibilidade mecânica, consumo de óleo hidráulico e custos de manutenção no sistema de colheita da madeira *full tree* composto pelas máquinas *feller buncher*, *skidder*, e processador *harvester*. Em seguida, procedeu-se uma análise dos indicadores específicos do processo WCM, que foram o tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio de reparos (MTTR), índice de proativa (IPR) e índice de reativa (IRE) nos níveis de estágios de implantação, amadurecimento e estabilização. Por fim, aplicou-se a metodologia de boas práticas afim de obter-se o nível de conhecimento do setor de manutenção, por meio de entrevistas aplicadas na forma de questionários, envolvendo um total de 36 indicadores com mais de 300 boas práticas contemplando os níveis técnico, de gestão e avançados. Os resultados indicaram que a disponibilidade mecânica e o consumo de óleo hidráulico foram superiores no processo de manutenção WCM, com diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Os custos no processo WCM apresentaram uma média de R\$ 0,08/m³ acima do processo Tradicional, não diferindo significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Apesar disso, o processo WCM mostrou-se viável na manutenção de equipamentos florestais, pois trata-se de um processo em que aplica-se práticas preventivas de manutenção, podendo ser atingido maior segurança e produção das operações florestais e estabilidade de processo, obtendo maior vida útil dos equipamentos. Os indicadores tempo médio entre falhas (MTBF) e tempo médio de reparos (MTTR) foram de 34,5 e 2,9 horas, respectivamente, representando em média 34,5 horas entre ocorrência de algum tipo de falha, com tempo de reparo de 2,95 horas. O índice de manutenção proativa (IPR) apresentou nos três equipamentos estudados um aumento a partir do estágio de amadurecimento, mostrando-se significativamente superior pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Após a aplicação da metodologia de boas práticas, identificou-se que o nível de manutenção da empresa encontra-se no primeiro nível de classe mundial, podendo tal resultado ser melhorado no futuro a partir da identificação dos problemas operacionais na busca pela melhoria contínua do processo.

ABSTRACT

Carlos Cezar Cavassin Diniz. *Application of World Class Maintenance (WCM) in the maintenance of wood harvesting machines*

This work object to evaluate the applicability of the tool World Class Maintenance (WCM) in the maintenance of wood harvester machine, through the pertinent comparison indicator between the process of the Traditional maintenance and WCM. The searching was realized in the company Klabin S.A., located in Telemaco Borba, Parana. It was realized the comparative analysis between the process of maintenance through the available mechanic operators, consume of hydraulic oil and costs of the machine maintenance feller buncher, skidder and harvester processor (Traditional and WCM). Following, it was proceeded an analysis of the specific WCM process, like: medium time between failures (MTBF), medium time to repair (MTTR), index of proactive (IPR) and index of reactive (IRE) in the levels of implantation stages, amateurishness and stabilization. By the end it was applied the methodology of good practice to get a knowledge level of the maintenance sector through the questionnaire applied involving 36 indicators in a total with more than 300 good practicing in three levels, being: technic and human management. The results indicated that the available mechanic and the hydraulic oil consume were superior in the maintenance process WCM, with the significant difference by the test of Tukey ($P < 0,05$). However, the costs in the process WCM presents an average of R\$ 0,08/m³ above the Traditional process, not significantly defined by the test of Tukey ($P < 0,05$). The process WCM showed useful in the maintenance of the forest equipment, so it applies the preventive maintenance practices, that can get bigger secure and production of the forest operation and process stability, and yet, getting the obtainment of bigger useful life of the equipment. The indicators medium time between failures (MTBF) and medium time to repair (MTTR) were 34,5 and 2,9 hours respectively, that means, the average to each 34,5 hours the equipment represented some kind of fail, with the time of repairing of 2,95 hours. The index of proactive maintenance (IPR) presented the three studied equipment an increasing after the amateurishness stage, showing significantly superior by the test of Tukey ($P < 0,05$). After the application of the methodology of good practicing, It was identified that the level of maintenance of the company found in the first level world class, that it could get better result in the future after the identification of the operative problems in getting better in the continuation of the process.

1. INTRODUÇÃO

A mecanização da colheita de madeira no Brasil modernizou-se a partir do início da década de 1990, com a abertura do mercado brasileiro à importação de máquinas de elevada tecnologia e produtividade, proporcionando, assim, melhorias nas condições de trabalho, maior segurança, elevados ganhos de produtividade e redução dos custos de produção.

Apesar do processo contínuo de evolução tecnológica, a colheita da madeira em conjunto ao transporte possui grande importância em termos econômicos dentro da cadeia produtiva da madeira, representando em torno de 50% ou mais do custo final da madeira posto na indústria (MACHADO, 2014). E por ser um processo que envolve o uso de máquinas e equipamentos de tecnologias complexas, exige um modelo de gestão de manutenção eficiente e mão de obra especializada, permitindo a manutenibilidade dos ativos presentes nas operações florestais.

Quanto às classificações de manutenção existentes destaca-se a manutenção corretiva, que envolve a correção de uma falha; a manutenção preventiva, quando não existe uma falha e os serviços são realizados em intervalos de tempo predeterminados ou mediante critérios estabelecidos pelo fabricante; e a manutenção preditiva que baseia-se no monitoramento de parâmetros causadores das falhas das máquinas (VIANA, 2014).

A manutenção das máquinas florestais pode ser considerada como um ponto estratégico para o sucesso da colheita de madeira, exigindo um planejamento detalhado, mão de obra especializada e um modelo de gestão eficiente e confiável. Neste aspecto, alguns fatores como histórico das falhas, peças disponíveis em estoque, treinamento dos mecânicos e operadores, metodologias de manutenção, entre outros, devem ser avaliados e considerados para assegurar a máxima capacidade produtiva das máquinas e com baixos custos, garantindo um retorno ótimo dos investimentos.

Dentre os processos modernos de manutenção, cita-se o *World Class Maintenance* (WCM), que tem por objetivo alcançar a manutenção de classe mundial por meio da liderança de processos e a mudança de cultura no que diz respeito aos métodos de manutenção (YAMASHINA, 2000). A WCM permite detectar aspectos críticos no processo produtivo que afetam diretamente nos ganhos durante a operação, como na identificação da causa raiz de determinada falha, e desta forma, a falha em questão tenderá a não ocorrer novamente.

Na fase de planejamento, a WCM não utiliza o conceito das manutenções corretivas, sendo que cada máquina possui um cronograma detalhado de atividades de manutenção a serem desenvolvidas, fazendo com que a manutenção proativa (preventiva, preditiva, corretiva planejada e de oportunidade) assumam um papel principal.

Por isso, para que seja alcançada a manutenção de classe mundial, torna-se necessário que os métodos e as técnicas de manutenção acompanhem o desenvolvimento das tecnologias das máquinas disponíveis no mercado. Desta forma, é fundamental a realização de estudos para obtenção de informações e entendimento das relações entre as variáveis que influenciam o processo, possibilitando a obtenção de maior vida útil dos ativos bem como o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo geral avaliar a aplicabilidade da ferramenta *World Class Maintenance* (WCM) na manutenção de máquinas de colheita da madeira, identificando os potenciais ganhos para as operações florestais e redução de custos.

Especificamente, objetivou-se:

- a) Realizar uma análise técnica e de custos dos processos de manutenção tradicional e WCM em máquinas de colheita da madeira;
- b) Analisar o comportamento dos indicadores de desempenho no processo de manutenção WCM; e
- c) Avaliar o nível de desenvolvimento da equipe de manutenção em relação às boas práticas no processo de manutenção WCM.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Importância do setor florestal

O setor florestal brasileiro destaca-se principalmente pela sua ampla diversidade de bens e serviços, atuando fortemente para o crescimento da economia do país. Segundo o Relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBA, 2016), o setor de florestas plantadas reúne uma grande quantidade de empresas, investidores e empreendedores que atuam no mercado brasileiro, desde o fornecimento de insumos e máquinas como na prestação de serviços especializados como produção e plantio, colheita, transporte e transformação da madeira.

De acordo ainda com o IBA (2016), o setor de florestas plantadas alcançou R\$ 69,1 bilhões, aumentando 3,0% em relação ao ano anterior (IBA, 2015). Entretanto, o governo brasileiro não tem dado a devida atenção ao setor, visto que países como Canadá, Suécia, Finlândia e Chile, têm o setor florestal altamente desenvolvido, com contribuição para a formação do PIB chegando a 30% (SILVA *et al.*, 2012). No âmbito social, o setor vem contribuindo com a geração de empregos diretos e indiretos em diversas áreas, sendo que em 2014, contribuiu em torno de 610 mil empregos diretos, sendo estimados aproximadamente 4,23 milhões de postos de empregos resultantes do efeito renda (IBA, 2015).

Em relação à contribuição ambiental, o setor de florestas plantadas exerce grande influência sobre o solo, a água e os valores estéticos e paisagísticos das florestas. Em função disso, várias empresas vêm trabalhando para a sustentabilidade dos ecossistemas, com atendimento as legislações por meio de Áreas de Preservação Permanente (APP's), Áreas de Reserva Legal (RL), a criação de Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RPPN's) bem como a formação de corredores ecológicos (TRINDADE *et al.*, 2012).

3.2. Mecanização florestal

A mecanização no setor florestal pode ser considerada relativamente recente no Brasil, pois, somente a partir da década de 1990, com a abertura do mercado brasileiro à importação de máquinas de alta tecnologia, ocorreu a modernização do setor, que passou a utilizar máquinas exclusivamente de aplicação florestal e de elevada tecnologia.

A colheita de madeira durante anos dependeu da adaptação de equipamentos agrícolas e industriais (MACHADO, 2014). Até a década de 40, não havia o emprego de máquinas, sendo comum o uso de métodos manuais para realização das atividades de colheita da madeira, sendo que em seguida, as empresas começaram a utilizar métodos parcialmente mecanizados, visando à obtenção de maior produtividade.

O desenvolvimento das operações de colheita florestal iniciou-se de forma mais efetiva a partir da década de 70, com a produção de maquinários de porte leve e médio, com destaque para as motosserras profissionais, os tratores agrícolas equipados com pinça hidráulica traseira (mini *skidder*) e os tratores florestais autocarregáveis. Na década de 1980 surgiram os primeiros *feller buncher* de tesoura e de sabre, com ganhos significativos de produtividade, redução de mão de obra e acidentes de trabalho (MACHADO, 2014).

Entretanto, somente na década de 1990, a colheita de madeira tomou um novo impulso, com a abertura do mercado nacional à importação de máquinas de elevada tecnologia e produtividade advindos de outros países (MACHADO, 2014). Segundo Lopes (2001) o avanço da mecanização trouxe vários benefícios às empresas florestais, como redução da dependência de mão de obra, melhoria nas condições de trabalho, fornecimento regular e crescente de madeira, aumento de produtividade e redução de custos de produção.

3.3. Colheita de madeira

3.3.1. Conceito

A colheita de madeira pode ser definida como o trabalho executado desde o preparo das árvores para a derrubada até o transporte para o local de consumo final, fazendo-se o uso de técnicas e padrões estabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final (CONWAY, 1976; TANAKA, 1986).

Existem diversos métodos e sistemas de colheita da madeira disponíveis, variando conforme a espécie florestal, a idade do povoamento, a finalidade do produto e as condições gerais da área trabalhada, sendo que para cada grupo de condições específicas existe um método ou sistema de colheita da madeira mais apropriado (SILVA *et al.*, 2003).

As etapas da colheita de madeira podem ser subdivididas em (MACHADO, 2014):

a) Corte:

Representa a primeira etapa da colheita de madeira, tendo grande influência na realização das próximas operações, podendo ser subdividida nas fases de derrubada, desgalhamento, destopamento, descascamento (opcional), traçamento e pré-extração (empilhamento ou enleiramento).

b) Extração:

Representa a movimentação da madeira do local de corte até a margem do talhão ou estrada, carreador ou pátio intermediário. Pode ser feita por meio de arraste (contato total ou parcial da madeira com o solo), baldeio (transporte da madeira sobre uma plataforma), suspensão (por meio de cabos aéreos, balões ou helicópteros) e transporte direto (por meio de caminhão).

3.3.2. Sistemas de colheita da madeira

Entende-se por sistema de colheita da madeira como um conjunto de operações perfeitamente integradas e organizadas entre si, permitindo um fluxo constante de madeira, evitando-se pontos de estrangulamento e levando os equipamentos à sua máxima utilização (SALMERON, 1981).

Häggröm e Lindroos (2016), Ackerman *et al.* (2014) e Mousavi *et al.* (2012), utilizam o conceito de método de colheita da madeira, sendo um conjunto de operações que podem ser realizadas de forma mecanizada, parcialmente mecanizada ou manual, utilizando-se de máquinas e ferramentas de grande, médio ou pequeno porte.

Conforme a classificação da FAO (1978), os sistemas de colheita da madeira são classificados a partir da forma ou estado em que a madeira é extraída do interior do povoamento, podendo ser citados os principais utilizados no Brasil:

a) Sistemas de toras curtas (*cut to length*):

Neste sistema a árvore é cortada e processada no local de derrubada, sendo a madeira transportada para margem do talhão, estaleiro ou pátio temporário na forma de toras com menos de seis metros de comprimento. Segundo Malinovski (2007), o sistema de colheita de toras curtas é composto, basicamente, por duas máquinas: *harvester* e *forwarder*, onde a primeira realiza o corte e processamento das árvores e a segunda, a extração da madeira.

b) Sistemas de toras longas (*tree length*):

Neste sistema a árvore é parcialmente processada (derrubada, desgalhada e destopada) no interior do talhão e, em seguida, levada na forma de fuste para a margem da estrada, estaleiro ou o pátio temporário, com mais de seis metros de comprimento para o processamento final.

c) Sistemas de árvores inteiras (*full tree*):

Neste sistema a árvore é apenas derrubada no interior do talhão, sendo em seguida, arrastada para a margem do talhão, estaleiro ou pátio intermediário, onde é realizado o processamento completo da madeira (desgalhamento, destopamento e traçamento). É composto basicamente pelas máquinas: *feller buncher*, *skidder* e processador, onde a primeira realiza a derrubada das árvores, a segunda a extração por meio do arraste, enquanto a última realiza o processamento da madeira na margem do talhão ou pátio intermediário.

3.3.3. Principais máquinas utilizadas na colheita florestal

No Brasil, as maiores empresas produtoras de madeira disponibilizam das mais modernas tecnologias para a colheita de madeira. Machado *et al.* (2014) cita ainda que na colheita da madeira existe uma grande variedade de máquinas e equipamentos disponíveis nas mais diversas finalidades, sendo as principais:

a) *Feller Buncher*:

Trata-se do trator florestal responsável pela derrubada e empilhamento das árvores, podendo acumular ou não em seu cabeçote as árvores. No mercado é possível encontrar vários modelos e denominações, em razão da sequência de atividades realizadas pela máquina (LIMA e LEITE, 2014). Quanto ao tipo de rodados, pode ser de pneus ou esteiras, sendo mais comumente usado de esteiras devido à necessidade de maior estabilidade na operação.

O cabeçote acumulador é um implemento que varia quanto ao conjunto de corte, podendo ser: tesoura de dupla ação (guilhotina), sabre ou disco. Além disso, possui “braços” acumuladores que são acionados após o corte das árvores, firmando-as no cabeçote até atingir a sua capacidade máxima, justificando o nome dado a máquina.

b) *Skidder*:

Trata-se do trator florestal arrastador equipado com uma pinça hidráulica, sendo uma máquina articulada normalmente com rodados de pneus com tração 4x4, 6x6 ou 8x8. Possui ainda lâmina frontal, auxiliando no nivelamento das toras e limpeza dos estaleiros. Os *skidders* podem ser denominados como: *grapple skidder*, *clambunk skidder* e *chocker skidder* sendo este último comumente utilizado em regiões de alta declividade.

c) *Harvester*:

Trata-se do trator florestal colhedor, com a função de realizar simultaneamente as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento (quando necessário) e

empilhamento da madeira. Constitui-se de uma máquina base e um implemento, podendo o material rodante ser de esteira ou pneus, e quando de pneus, com tração 4x4, 6x6 e 8x8.

De acordo com Machado *et al.* (2014) o cabeçote *harvester* possui um sistema informatizado de mensuração para o corte programado dos sortimentos utilizados, podendo ainda vir com configuração de descascar a madeira por meio das “facas”.

d) Forwarder:

Trata-se do trator florestal auto-carregável, possuindo um chassi articulado, rodados de pneus com tração 6x6, 8x8 e 10x10. Possui uma caixa de carga com capacidade de carga variando de 10 a 25 toneladas, grua hidráulica para realização do carregamento da madeira com abertura da garra variando de 0,35 a 1,00 m² e alcance de 6,85 a 7,8 m.

3.4. Manutenção Mecânica

3.4.1. Conceito

A manutenção define-se como a combinação de todas as atividades administrativas e técnicas para manter um equipamento, instalação e outros ativos físicos no ambiente de trabalho (MUCHIRI *et al.*, 2010). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994) considera a manutenção como um conjunto de ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a permanecer de acordo com uma condição preestabelecida.

Kardec *et al.* (2002) apontam que a manutenção possui a função de restabelecer as condições originais dos equipamentos. Além disso, possui a função de garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações, atendendo ao processo de produção ou serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados.

Paccola (2011) infere que, a manutenção além de propiciar a confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos, constitui em administrar as equipes e demais recursos que estão disponíveis na empresa e na área de manutenção. De forma a atingir as metas, não basta apenas ter uma boa equipe de profissionais, ferramentas, peças de reposição e demais insumos a disposição, mas preciso ter um conjunto de ações estruturadas para que todos os recursos sejam mobilizados em direção ao cumprimento do principal desafio que é atingir as metas de manutenção previamente estabelecidas.

3.4.2. Importância da manutenção

Considerando o cenário global, as empresas da iniciativa privada buscam a excelência empresarial para garantir a competitividade e as mudanças tecnológicas que ocorrem em alta velocidade. A manutenção, como uma das atividades fundamentais do processo produtivo, existe para que, não sejam necessárias intervenções para correção (KARDEC *et al.*, 2002).

No Brasil, Kardec e Nascif (2013) afirmam que o custo de manutenção por faturamento bruto das empresas foi de 4,11% entre os anos de 1995 a 2011. Após publicação do Documento nacional de 2013 da Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos – ABRAMAN, o valor médio deste custo entre 1995 a 2013 subiu para 4,17%, expondo a importância do custo de manutenção nas operações.

Dario *et al.* (2014) mencionam que, além de continuar reduzindo o custo de manutenção, é necessário dar prioridade ao aumento da disponibilidade e confiabilidade, visto que estes são fatores fundamentais para o rendimento dos processos das empresas.

Por isso, para que a disponibilidade e a confiabilidade ocorram, torna-se necessário o uso de indicadores de mensuração, verificando se está adequado às metas e aos prazos propostos. Kardec *et al.* (2002) alegam ainda que não se gerencia o que não se mede, logo, os autores citam que, além dos indicadores operacionais é necessário medir a moral e a motivação do grupo de colaboradores, garantindo maior confiabilidade dos indicadores operacionais.

No setor florestal, especificamente na colheita de madeira, que se utiliza de máquinas e equipamentos modernos, de elevada tecnologia, produtividade e custos, torna-se de fundamental a atuação da manutenção como função estratégica, de modo a garantir elevada disponibilidade dos equipamentos, produtividade e baixos custos de produção.

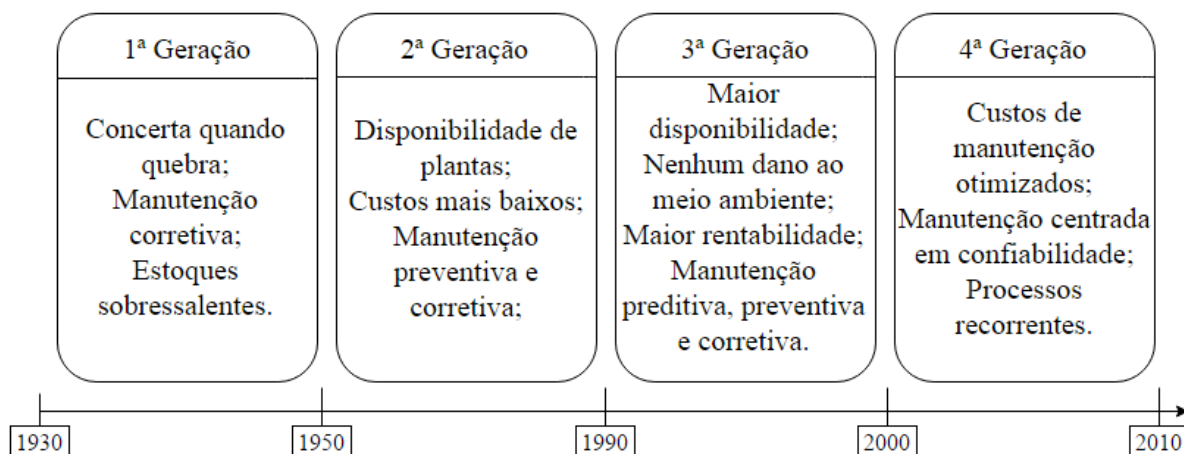
3.4.3. Histórico da manutenção

É possível afirmar que o processo de globalização da economia contribuiu significativamente para a modernização das indústrias. Com isso, a manutenção dos ativos nas empresas passou a ser de fundamental importância para a garantia do retorno esperado dos investimentos.

Monchy (2003) cita que grande parte das referências de manutenção ocorreram no final do século XVIII, quando a sociedade aumentou a produção de bens de consumo, com o advento da Revolução Industrial. Entretanto, somente a partir da Segunda Guerra Mundial, a manutenção se firmou como necessidade absoluta, quando então houve um extraordinário

desenvolvimento de técnicas de organização, planejamento e controle para a tomada de decisão (VIANA, 2014).

Trojan e Marçal (2010) apontam que a manutenção pode ser representada por quatro gerações distintas (FIGURA 1).



Fonte: Adaptado de Trojan e Marçal, 2016.

Figura 1. Representação das gerações da manutenção mecânica

A primeira geração teve início durante a Segunda Guerra Mundial, com duração até em 1950, tendo como premissa a manutenção corretiva. Nesta época, a tecnologia utilizada era simples, de pouca redundância e a manutenção propriamente dita era realizada somente após a ocorrência da falha, com a necessidade de grandes estoques de peças (SIQUEIRA, 2005).

A partir de 1950, inicia-se a segunda geração da manutenção mecânica, que tinha como base a manutenção preventiva e corretiva. Nesta geração de manutenção, a iniciativa privada começou a adquirir tecnologias semi-automatizadas, de forma a aumentar sua produção e competitividade, e deste modo, passou-se a adotar manutenções de ordem preventiva, com trocas sistematizadas de componentes e revisões gerais programadas (PINTO e XAVIER, 1998).

A terceira geração ocorreu entre os anos de 1990 e 2000, sendo aplicadas políticas e filosofias como a manutenção preditiva, realizada de acordo com as informações recebidas durante o monitoramento de parâmetros e indicativos de ocorrência da falha (FONTES e MACHADO, 2014). Além disso, nesta geração ocorreu o uso intensivo de tecnologias automatizadas e investimentos de capital, de maneira a aumentar a disponibilidade dos ativos físicos, a vida útil dos componentes e a melhoria na qualidade dos serviços de manutenção.

Com início no ano de 2000, tendo como foco a gestão dos ativos e a manutenção pró-ativa, a quarta geração da manutenção destaca-se pelo uso de técnicas refinadas e de filosofias de manutenção como a manutenção produtiva total (TPM) e a manutenção centrada em confiabilidade (RCM). Nesta geração, a manutenção fundamentava-se no planejamento estratégico, ou seja, antes do projeto ser revisado, quando ocorre um programa de manutenção informando os períodos das intervenções, como reapertos, inspeções e lavagens, afim de substituir as manutenções reativas. A partir desta geração, a Engenharia de Manutenção assume um papel fundamental no processo, de modo a otimizar os recursos disponíveis, alinhando aos objetivos estratégicos corporativos com as atividades de campo (MOUBRAY, 2000).

3.4.4. Índices abordados na manutenção

De acordo com Viana (2014), existem seis índices de “Classe Mundial” aplicados à manutenção e utilizados por grande parte dos países. Entretanto, o mesmo autor infere outros oito indicadores de importância, que serão abordados com algumas terminologias pertinentes (FONTES e MACHADO, 2014), (KARDEC *et al.*, 2002), (MONCHY, 2003), (TAVARES, 2000), e (XAVIER, 2000), (LIMA, 1993),

- Defeito: É a ocorrência de desvios em itens que não impedem seu funcionamento, podendo em curto ou longo prazo transformarem-se em uma falha.
- Falha: Término da capacidade de um ativo desempenhar a função requerida (NBR 5462 – 1994), sendo que após a falha, o bem entra em estado de pane.
- Pane: É um estado de um item em falha, ou seja, quando o equipamento deixa de funcionar.
- *Benchmark*: Medida, referência ou nível de desempenho reconhecido como padrão de excelência de um processo.
- *Benchmarking*: É a atividade de comparar os resultados de uma empresa com os líderes de mercado do mesmo segmento, objetivando identificar oportunidades de melhorias.
- Disponibilidade: Aptidão de um ativo de encontrar-se em perfeitas condições de uso, a fim de desempenhar determinada função de acordo com as condições preestabelecidas durante um dado intervalo de tempo.
- Confiabilidade: Capacidade de um item de desempenhar uma função requerida sob condições especificadas durante um intervalo de tempo.
- Manutenibilidade: Capacidade de um item ser mantido ou relocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, ou ainda, quando a

manutenção é realizada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios descritos.

- **Reparo:** Trabalho de ordem corretiva executada para recompor as características originais de um ativo para readequá-lo às finalidades para o qual foi destinado, em função do tempo de operação e/ou uso inadequado do equipamento.
- **Inspeção:** Tarefa de ordem preventiva objetivando a verificação técnica de parâmetros, propriedades relativas ao desempenho ou estado dos componentes de um equipamento ou instalação.
- **Mean Time Between Failures – MTBF:** Definido como o número de horas disponíveis que determinado ativo possui para operação sendo dividido pelo número de manutenções corretivas que ocorreu no período.
- **Mean Time To Repair – MTTR:** Representa a média do tempo em que determinado ativo físico, item, equipamento ou instalação em falha leva para ser reparado, obtido pela razão da soma dos tempos consumidos com reparos pelo número de vezes que se efetuaram tais manutenções.
- **Mean time to failures – MTTF:** Refere-se a certos componentes que não sofrem reparos, ou seja, após a falha, são descartados e substituídos por novos, possuindo um MTTR igual a zero. Deste modo, este índice tem como objetivo mensurar componentes que não sofreram reparos.
- **Disponibilidade física da máquina:** Relação entre as horas totais ou efetivamente trabalhadas em relação às horas disponíveis para o trabalho.
- **Custo de manutenção por faturamento:** Formada pelos gastos com pessoal, material e contratação de serviços externos, depreciação e perda de faturamento.
- **Custo de manutenção por reposição:** Relação entre o custo total de manutenção de um ativo em relação ao seu valor de mercado quando novo, sendo calculado para equipamentos de alta criticidade e devendo possuir um valor abaixo de 6% no período de um ano para ser considerado como aceitável.
- **Backlog:** Refere-se ao tempo em que a equipe de manutenção deverá trabalhar para executar os serviços pendentes, ou ainda, o período de tempo que os pedidos de manutenção aguardam na fila para atendimento, sendo obtido pela relação entre a taxa de chegada e a taxa de atendimento.
- **Retrabalho:** Representa o percentual de horas trabalhadas em OM (ordens de manutenção) encerradas, que foram reabertas por qualquer motivo, objetivando verificar a qualidade da manutenção, estando a manutenção adequada com índices igual a zero.

- Índice de corretiva: Representa o percentual de tempo de manutenções corretivas realizadas durante um período, sendo capaz de fornecer a real situação entre o planejado e programado, sendo aceitáveis valores abaixo de 25%.
- Índice de preventiva: Representa o oposto do índice de corretiva, sendo que quanto maior o valor, melhor para a manutenção, visto que a máquina terá suas paradas programadas.
- Treinamento na manutenção: Corresponde ao percentual de colaboradores atuantes na manutenção dedicados aos treinamentos pelo total de colaboradores do setor de manutenção.

3.4.5. Tipos de manutenção

A gestão estratégica caminha da manutenção corretiva não planejada para a engenharia de manutenção, onde os tipos de manutenção adotados pelas empresas estão diretamente relacionados aos resultados alcançados (KARDEC *et al.* 2002). Existem inúmeras classificações quanto aos tipos de manutenção, podendo se dividir em:

a) Manutenção corretiva ou reativa:

Consiste na intervenção necessária para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador e ao meio ambiente. Trata-se de uma intervenção aleatória, sendo mais conhecida nas fábricas como “apagar incêndios” (VIANA, 2014). Também pode ser definido como todo trabalho de manutenção realizada em uma máquina, equipamento, sistema operacional, unidade ou item para corrigir falhas funcionais, eventualmente chamadas de panes, podendo ou não ser planejadas (BRANCO FILHO, 2004). De acordo com Fontes e Machado (2014), o uso desta manutenção deve passar por uma análise econômica criteriosa, justificando somente quando o custo do reparo for menor em relação à prevenção da ocorrência da falha.

b) Manutenção preventiva ou proativa:

Segundo Branco Filho (2004), a manutenção preventiva é todo o serviço realizado em máquinas que não estejam em falha, realizados antes de sua ocorrência. Quando ocorre este tipo de manutenção, o ativo está em condições operacionais, podendo ou não estar com defeito. Este tipo de manutenção pode ser tratado ainda como manutenção proativa, onde a manutenção busca inferir diretamente nas causas das falhas e não apenas nos sintomas. Fitch (2008) declara que o objeto principal da manutenção proativa é estender a vida útil da máquina, otimizando o tempo de operação dos ativos.

Xavier (2014) destaca que este modelo de manutenção é de grande importância estratégica para as empresas, pois é a manutenção que garante a disponibilidade dos equipamentos e instalações com confiabilidade, segurança e custos adequados.

c) Manutenção preditiva:

Este modelo de manutenção visa determinar o período exato em que deverá ser realizado uma intervenção mantenedora, utilizando o máximo da vida útil do componente. Kardec, *et al.* (2002) consideram como toda e qualquer atividade de monitoramento capaz de fornecer dados suficientes para realização de uma análise de parâmetros que permitam acompanhar as condições dos componentes do equipamento no decorrer do tempo, permitindo a definição do momento ótimo de intervenção.

A manutenção preditiva torna-se então um método que usa a condição operacional real do equipamento para a otimização de sua operação. Neste sentido, Viana (2014) menciona que utilizando este tipo de manutenção, é possível evitar perdas de tempo desnecessárias com desmontagens para inspeções, fazendo com que o equipamento tenha uma disponibilidade operacional garantida.

d) Manutenção detectiva:

Este tipo de manutenção busca detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção, visando oferecer maior confiabilidade dentro das operações (Xavier, 2014). O autor cita ainda que à medida que aumenta a utilidade de instrumentação de comando, controle e automação nas indústrias, maior é a necessidade da manutenção detectiva, visando a garantia da confiabilidade dos sistemas de produção.

3.4.6. Indicadores de desempenho

Toda atividade e processo de uma empresa necessitam de controle, e por isso, torna-se necessário o emprego de indicadores capazes de fornecer informações confiáveis para auxiliar na tomada de decisões. Braidotti Junior (2015) expõem que os indicadores de desempenho são definidos como uma combinação de fatores econômicos, organizacionais e técnicos na forma de índices e percentuais que permitem mostrar o desempenho dos serviços.

De acordo com o mesmo autor, a função dos indicadores de desempenho é indicar as oportunidades de melhoria contínua dentro de cada processo produtivo, de modo a otimizar as operações. Para Fortes *et al.* (2009), o principal objetivo das organizações da iniciativa privada é obter maior lucratividade, e deste modo, a forma mais simples e prática para alcançar tal objetivo é reduzindo desperdícios em todos os setores do processo produtivo.

Neste contexto, o uso de indicadores de desempenho é uma das ferramentas usadas para mensurar o desempenho de determinado trabalho, permitindo comparar os resultados com a meta estabelecida, possibilitando melhorias no setor de trabalho.

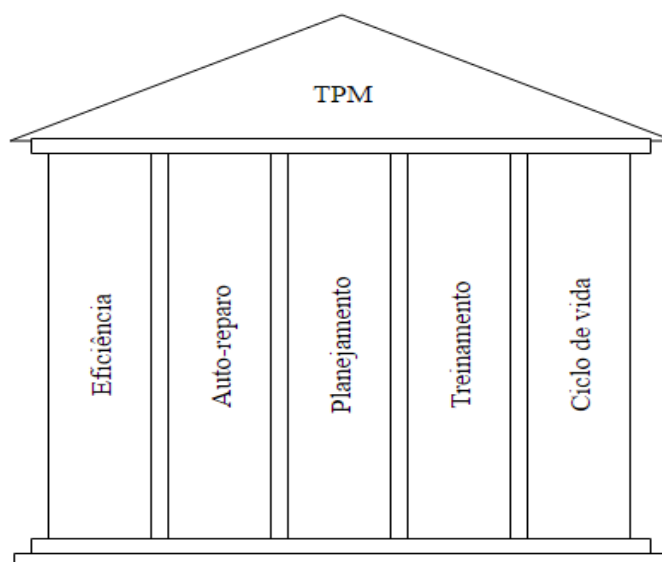
3.4.7. Programas de manutenção

3.4.7.1. *Total productive maintenance* – TPM

A *Total Productive Maintenance* (TPM) ou a *Total Production Management* é um conjunto de atividades onde o compromisso é voltado para o resultado, buscando atingir a máxima eficiência do processo produtivo, bem como maximizar a vida útil dos ativos de modo a atingir a perda zero (Yamaguchi, 2005). Viana (2014) determina que a partir do momento em que há um planejamento e programação para a realização de serviços por parte dos operadores, temos uma atividade mantenedora presente no organismo produtivo, caracterizando a TPM.

A TPM é um método de gestão das atividades de manufatura, sendo difundido principalmente pelos estudos publicados por Seiichi Nakajima durante a década de 1980, cujos objetivos principais foram melhorar a eficácia e aumentar o tempo de vida útil dos equipamentos, eliminando desperdícios no processo de produção (KOCH, 2007). Suzuki (1994) defende que a TPM tem como base a participação de todos os membros da empresa, desde a alta gerência até os colaboradores de campo. Neste contexto, Takahashi e Osada (2000) comentam que este programa envolve principalmente os operadores na manutenção de suas próprias máquinas, com suporte do departamento central de manutenção, aumentando o nível de motivação e comprometimento com o estado das máquinas em operação.

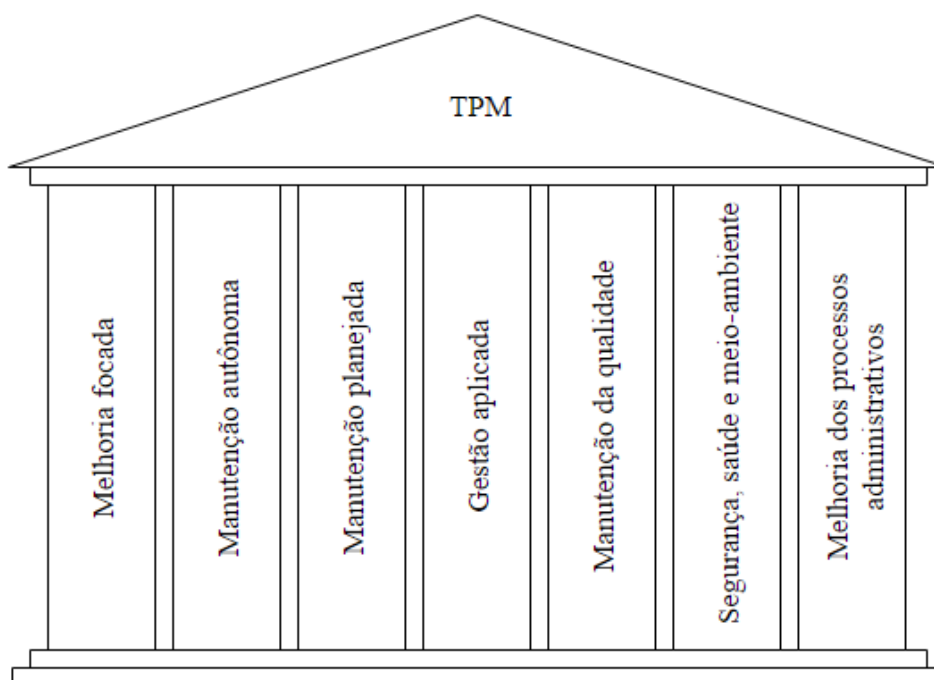
De acordo com o JIPM (2000) o TPM é representado por três fases, onde a primeira iniciou-se no Japão, cujo foco principal era atingir a quebra zero, tendo como alicerce cinco pilares (FIGURA 2).



Fonte: Adaptado de Yamaguchi, 2005.

Figura 2. Pilares da TPM durante a primeira fase.

A segunda fase surgiu a partir de 1989, caracterizando-se como uma evolução da primeira fase, que passou a possuir oito pilares (FIGURA 3), buscando a perda zero em um contexto global.



Fonte: Adaptado de Biasotto, 2006.

Figura 3. Pilares da TPM a partir da segunda fase.

A terceira fase, segundo JIPM (2000), caracteriza-se pela satisfação total da empresa aliada ao rendimento e redução dos custos, tendo como alicerce os oito pilares representados na Figura 2. O principal objetivo é a melhoria da estrutura da empresa como um todo,

envolvendo todos os processos (ativos, produção, colaboradores, clientes, etc.) buscando o rendimento operacional global.

Paccola (2011) expõem que a TPM pode ser aplicada em todas as áreas de uma empresa e não somente na manutenção, uma vez que aproxima as áreas de operação e manutenção, normalmente muito conflituosas. Segundo o mesmo autor, tudo o que não se transforma em produto com qualidade para ser entregue deve ser encarado como desperdício, inclusive o tempo que costuma ser uma variável que sofre muitas perdas.

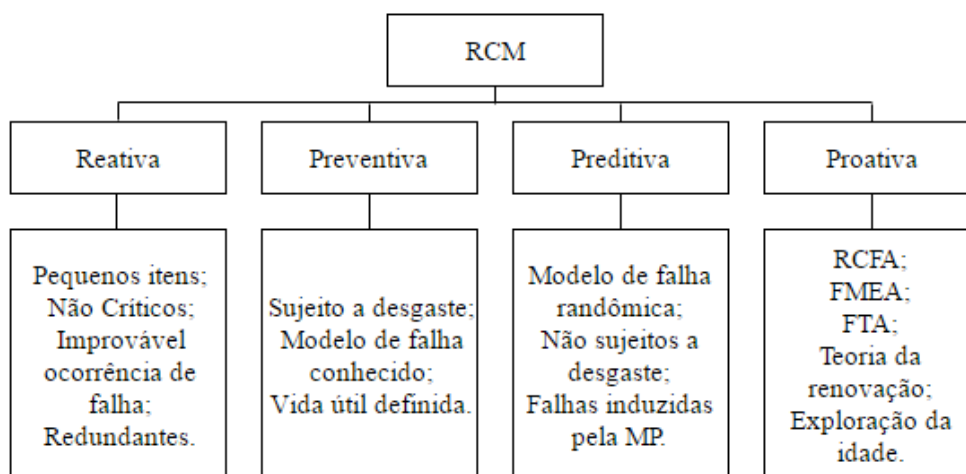
3.4.7.2. *Reliability centered maintenance* – RCM

A *Reliability Centred Maintenance* ou Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) teve origem em meados da década de 80 nas indústrias aéreas e acabou expandindo para os mais diversos ramos de atividades da iniciativa privada. Avelar (2013) frisa que este programa de manutenção tem como paradigma a “preservação da função do sistema”, logo, as principais preocupações operacionais são de analisar falhas, probabilidades de recorrências, definição de procedimentos, critérios de priorização baseados em fatores econômicos e práticas eficientes e seguras, envolvendo o custo-benefício no combate às falhas.

De acordo com Avelar (2013), a RCM objetiva definir um processo sistemático de análise que garanta a confiabilidade e a segurança da operação com o menor custo possível. Seixas (2002) diz que trabalhando a RCM, é possível avaliar a criticidade das falhas e identificar as consequências significantes que afetam a segurança, a disponibilidade ou o custo. Deste modo, o uso desta metodologia permite selecionar as tarefas adequadas de manutenção direcionadas para cada tipo de operação.

No cenário atual, a maioria das companhias aplicam diferentes estratégias e métodos de manutenção de modo a integrá-las, possibilitando otimizar a operacionalidade e a eficiência da instalação e dos equipamentos.

Sendo assim, Seixas (2002) propõem que dentro da RCM existe um modelo de manutenção mais adequando a ser aplicado, como pode se visto na Figura 4.

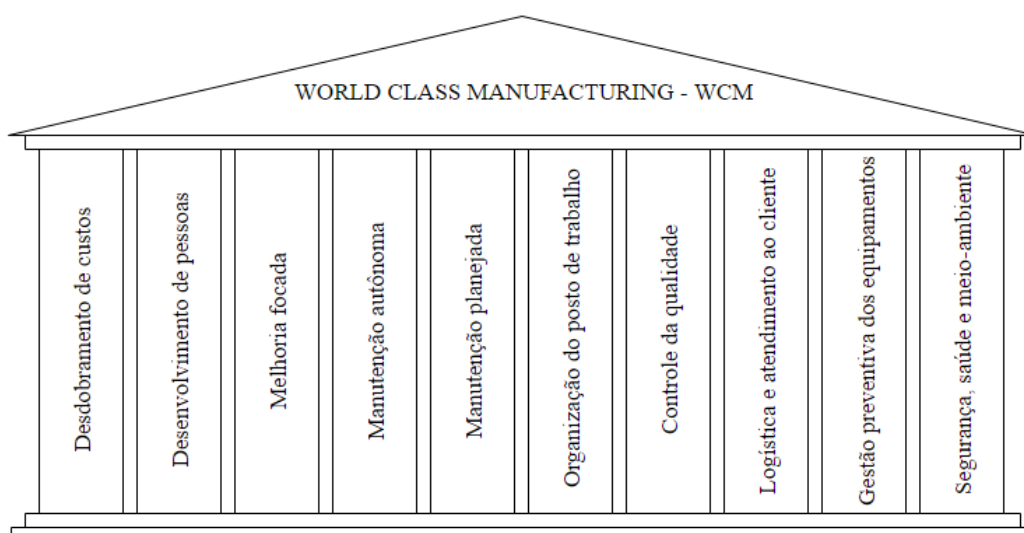


Fonte: Adaptado de Seixas (2002).

Figura 4. Componentes de um programa de manutenção centrada em confiabilidade.

3.4.7.3. World class maintenance – WCM

O conceito de WCM foi desenvolvido por Hayes e Wheewright em 1984, baseado nas boas práticas empregadas por empresas alemã, americana e japonesa, que destacavam-se em suas áreas de atuação (Schonberger, 1986). Entretanto, o Dr. Hajime Yamashina, membro do *Royal Swedish Academy of Engineering Sciences* e professor da Universidade de Kyoto, difundiu o programa WCM em empresas automobilísticas em meados da década de 2000, focado no contexto de Manufatura de Classe Mundial, sendo a manutenção um dos principais pilares de sustentação do programa (FIGURA 5).



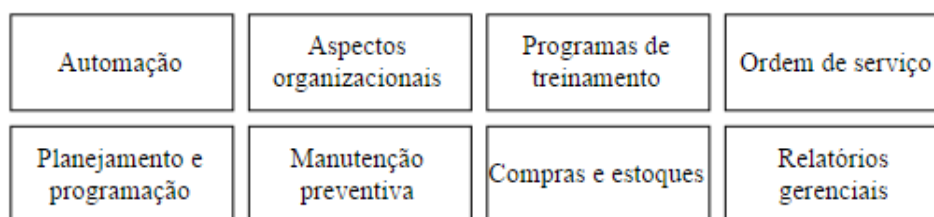
Fonte: Adaptado de Yamashina, 2000.

Figura 5. Pilares da *World Class Maintenance* – WCM.

Yamashina (2000) discorreu sobre os desafios para alcançar a manufatura de classe mundial, concluindo que o primeiro passo é a implantação bem sucedida da TPM, sendo que a manutenção dentro das empresas é fundamental para otimização dos recursos.

Biassoto (2006) revela sobre a necessidade de estabelecer parâmetros como um meio de comparação (*benchmarking*) entre as empresas na busca de ocupar espaço entre as melhores do mundo, utilizando-se então, a expressão Manutenção de Classe Mundial. Wireman (1991) por sua vez, afirma que muitas empresas reconhecem a manutenção de seus ativos como atividade crítica, de modo a buscarem a Manutenção de Classe Mundial para assegurar a disponibilidade dos equipamentos, a produção com qualidade, a entrega dos produtos dentro do prazo a preços competitivos.

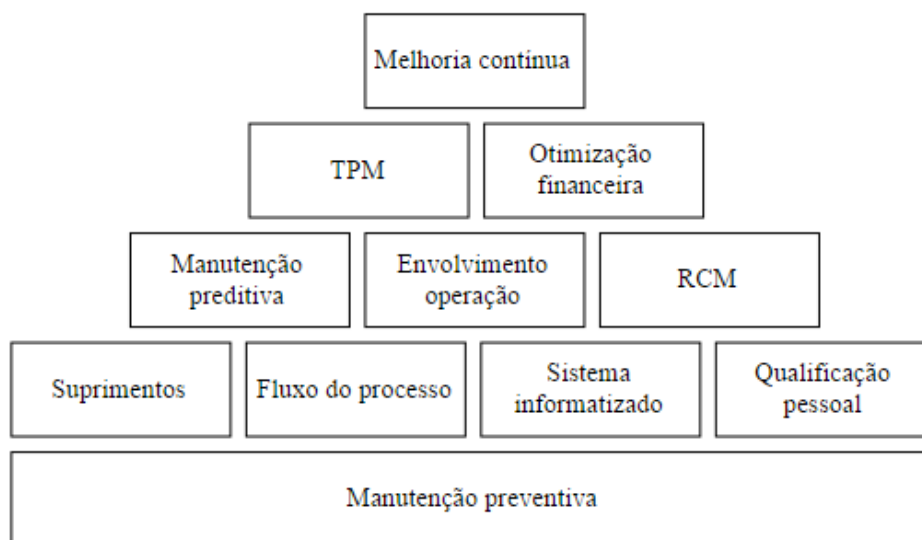
De acordo com Lima *et al.* (2010), a Manutenção Classe Mundial é um sistema em que a organização alia liderança com processos robustos e uma cultura colaborativa para assegurar que a visão e o senso de propriedade dos métodos de manutenção permeiem por toda a organização. Por isso, Wireman (1990) propõe um sistema de gerenciamento da manutenção de forma a minimizar os custos por meio de oito aspectos críticos, possibilitando ganhos durante o processo (FIGURA 6).



Fonte: Adaptado de Wireman, 1990.

Figura 6. Medidas fundamentais para o sistema de gerenciamento da WCM.

Entretanto, após oito anos de sua proposta original, Wireman (1998) revisou e incorporou outros temas relevantes propondo um conjunto fundamental para o gerenciamento da manutenção, como os programas de RCM, TPM, melhoria contínua, etc. O autor ainda organizou de forma hierárquica as metodologias, onde o ápice é a “Melhoria Contínua” (FIGURA 7).



Fonte: Adaptado de Wireman, 1998.

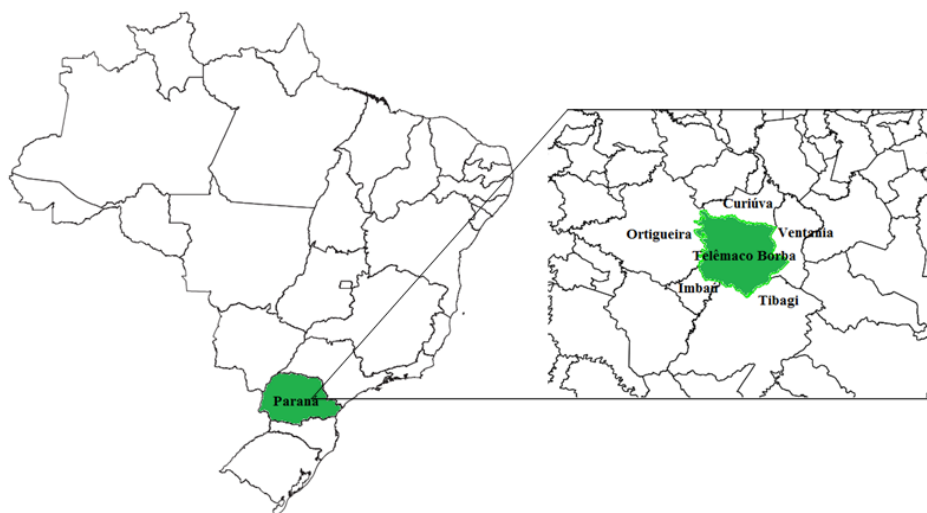
Figura 7. Pirâmide de manutenção por meio da melhoria contínua.

No Brasil, Xavier (2000) relatou que a manutenção é considerada de terceiro mundo por alguns motivos, tais como: alta taxa de retrabalho, falta de pessoal qualificado, convivência com problemas crônicos, falta de estoque, número elevado de serviços não previstos, histórico de manutenção inexistente ou não confiável, abuso de "gambiarras", total falta de tempo para qualquer coisa, dentre outros. De acordo com o autor, uma grande diferença entre o nosso país e outros que obtiveram excelentes resultados, refere-se ao fato que eles conhecem e fazem, enquanto nós conhecemos, mas não fazemos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na empresa Klabin S.A., localizada no município de Telêmaco Borba, estado do Paraná, entre as coordenadas 24°19'26'' S e 50°36'57''W, com altitude média de 750 m (FIGURA 8).



Fonte: IBGE, 2015.

Figura 8. Localização da região de estudo.

Segundo a classificação de KÖPPEN, o clima predominante na região de estudo é definido como uma transição entre Cfa e Cfb, subtropical úmido, com calor moderado, verões quentes e úmidos e inverno frio, com temperatura média de 16,3 °C no mês mais frio e 23,2 °C no mês mais quente, com chuvas regulares e precipitação média anual entre 1.478 e 1.700 mm (TREWARTHA e HORN, 1980; BARBOSA *et al.*, 2007).

4.2. Sistema de colheita e máquinas avaliadas

O sistema de colheita da madeira da empresa que serviu de base do estudo foi de árvores inteiras (*full tree*), sendo o módulo composto por dois *feller buncher*, responsáveis pela derrubada e empilhamento das árvores na forma de feixes no interior do talhão, dois *skidders*, responsáveis pelo arraste das árvores do interior até a margem do talhão e dois processadores *harvesters*, responsáveis pelo processamento das árvores na margem do talhão (TABELA 1).

Tabela 1. Características das máquinas avaliadas no sistema de colheita de madeira *full tree*.

Máquina	Especificações
<p><i>Feller buncher</i></p> 	<p>Atividade: Derrubada e empilhamento das árvores</p> <p>Marca: <i>Tigercat</i> Modelo: L870 C</p> <p>Motor: Cummins QSL9 Tier III (diesel)</p> <p>Potência nominal: 300 hp/224 Kw</p> <p>Peso operacional: 38 t</p> <p>Material rodante: Esteiras com nivelamento</p> <p>Modelo implemento: ST 5702</p> <p>Diâmetro máximo de corte: 585 mm</p> <p>Área útil de corte: 0,5 m²</p>
<p><i>Skidder</i></p> 	<p>Atividade: Extração das árvores</p> <p>Marca: <i>Tigercat</i></p> <p>Modelo: 635 D</p> <p>Motor: Cummins QSC8.3 Tier III (diesel)</p> <p>Potência nominal: 250 hp/180 kW</p> <p>Peso operacional: 22,7 t</p> <p>Material rodante: Pneus dianteiros 30,5x32 e traseiros 28Lx26</p> <p>Tração: 6x6</p> <p>Área útil da garra: 1,95 m²</p>
<p>Processador <i>harvester</i></p> 	<p>Atividade: Processamento das árvores</p> <p>Marca: <i>John Deere</i></p> <p>Modelo: 903 K</p> <p>Motor: John Deere 6081H, Tier II (diesel)</p> <p>Potência nominal: 294 hp/219 kW</p> <p>Peso operacional: 33,4 t</p> <p>Material rodante: Esteiras</p> <p>Alcance máximo da lança: 10,34 m</p> <p>Modelo implemento: Waratah 625 B</p> <p>Diâmetro máximo de corte: 750 mm</p> <p>Nº Facas desganhadoras: 4</p> <p>Nº Sabres: 2</p>

Fonte: *Tigercat e John Deere*, 2015.

As máquinas estudadas operaram em dois turnos diários de aproximadamente seis horas para cada turno, durante 30 dias do mês, totalizando 399,5 horas programadas para realizar as atividades de corte, extração e processamento da madeira.

4.3. Descrição dos processos de manutenção

A pesquisa foi realizada a partir de dados coletados em campo e de registros obtidos na empresa, referente ao período de 2014 a 2016, dentro do módulo de colheita da madeira *full tree*. No ano de 2014, a empresa adotou o processo de manutenção denominado Tradicional, enquanto que no ano de 2015 passou-se a adotar o processo de manutenção *World Class Maintenance* – WCM (Figura 9).

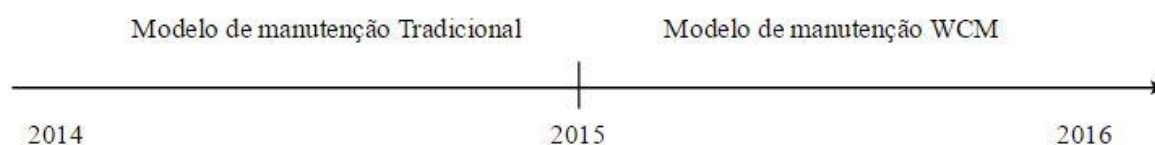


Figura 9. Linha do tempo dos processos de manutenção adotados pela companhia.

No processo de manutenção Tradicional, foram adotadas algumas atividades específicas com a seguinte estrutura:

a) Caminhão oficina:

Veículo equipado com bancadas, máquina de solda, morsa, furadeira e demais acessórios para manutenção. O veículo conta ainda com gerador de energia e compressor de ar, sendo comumente utilizado para serviços de manutenção mais técnicos ou revisões dos equipamentos, além da confecção de mangueiras e da revitalização de alguns componentes (quando possível) retirados das máquinas (FIGURA 10).



Figura 10. Veículo utilizado na manutenção mecânica do processo Tradicional.

b) Caminhão comboio:

Veículo equipado com tanque de diesel e lubrificante para abastecimento diário das máquinas no campo. Para o atendimento em locais de difícil acesso, com chuva e estrada

danificada a empresa buscou a adaptação de uma máquina depreciada até então utilizada na operação de baldeio, sendo encontrado em alguns módulos operacionais (FIGURA 11).



Figura 11. Veículos utilizados para o abastecimento das máquinas.

c) Caminhão pipa:

Veículo equipado com tanque de água e aditivos para a limpeza das máquinas no campo (FIGURA 12). Vale ressaltar que este veículo não permanece em tempo integral nos módulos de colheita, necessitando o agendamento para tal atividade.



Figura 12. Caminhão pipa utilizado na lavagem dos equipamentos móveis.

d) Carro de apoio:

Veículo de apoio para atendimento dos mecânicos (FIGURA 13), sendo de pequeno porte ou caminhonete com tração 4x4, capaz de acessar locais de difícil acesso. Este veículo pode possuir guincho e caixa de ferramentas de uso comum para facilitar o serviço dos mecânicos no campo.



Figura 13. Veículo de apoio para atendimento dos mecânicos às máquinas.

e) Mecânico:

Colaborador responsável pelas atividades de manutenção das máquinas nos módulos operacionais de colheita da madeirada (FIGURA 14).



Figura 14. Mecânico realizando atividade de manutenção.

f) Supervisor de manutenção:

Gestor responsável por liderar as frentes de trabalho acompanhando todas as operações ligadas à manutenção dos equipamentos móveis.

g) Área de vivência:

Local onde os colaboradores da colheita e manutenção florestal realizam suas refeições e trocas de turno (FIGURA 15).



Figura 15. Área de vivência utilizada pelos colaboradores da colheita florestal e manutenção.

h) Almojarifado central:

Local onde são estocadas as principais peças dos equipamentos florestais, tais como: pneus, mangueiras, correias e demais peças que permitam estoque, ou seja, peças de giro com baixa vida útil (FIGURA 16). E como existem algumas peças de maior vida útil e custo, em parceria com o almojarifado, a empresa ainda conta com lojas *in company* dos principais fornecedores, sendo uma alternativa para reduzir o custo da operação como um todo.



Figura 16. Almojarifado central adotado pela empresa.

i) Oficina central (MANF):

Local destinado a realização das grandes manutenções, como trocas de material rodante. É neste local que permanecem os veículos de apoio e a equipe de gestores responsáveis pelo planejamento das atividades de manutenção (FIGURA 17).



Figura 17. Estrutura da oficina central

As atividades realizadas pela manutenção no processo Tradicional foram:

a) Manutenção corretiva ou reativa:

Atividade realizada para a correção imediata de alguma falha ou pane que ocorra em campo nos equipamentos, como mangueiras estouradas, pinos quebrados, ajustes de folgas, troca de rolamentos, entre outros trabalhos que podem ocorrer no trabalho.

b) Manutenção preventiva de lubrificação:

São as conhecidas revisões realizadas para a troca de óleos hidráulicos e filtros, sendo realizadas conforme os manuais dos próprios equipamentos ou definidas pelo setor de manutenção.

c) Manutenção corretiva programada:

Manutenção mecânica realizada esporadicamente por uma equipe específica preferencialmente no período da noite, onde as máquinas encontram-se paradas, sendo realizadas atividades mais robustas como a solda de material rodante por exemplo.

d) Abastecimento e lubrificação:

Operação realizada pelo caminhão comboio, em que diariamente os colaboradores abastecem as máquinas com óleo diesel e lubrificam todos os pontos da máquina base e do implemento com graxa.

e) Lavagem:

Atividade voltada à limpeza dos equipamentos realizada esporadicamente conforme a solicitação dos gestores responsáveis pelos módulos de colheita da madeira.

Em busca de otimizar os recursos e a possibilidade de prolongar a vida útil de seus ativos, a empresa iniciou no ano de 2015 a implantação do processo de manutenção WCM.

.Com isso, o módulo de colheita da madeira passou por uma mudança estrutural, tanto nas atividades quanto na infraestrutura de campo. Entretanto, alguns elementos como caminhão comboio, caminhão pipa, carro de apoio, mecânicos, supervisores de manutenção, área de vivência, almoxarifado central e oficina central continuaram fazendo parte da estrutura da manutenção e do módulo de colheita de madeira.

Desta forma, o módulo passou a contar também com:

a) *Milk run*:

Veículo de apoio utilizando para a reposição do estoque semanal dos almoxarifados em campo, bem como a entrega de itens de manutenção preventiva mecânica (FIGURA 18). Este veículo era responsável ainda pelo recolhimento de peças que sofreram algum tipo de avaria que ainda poderiam ser restaurados para uso.



Figura 18. Veículo de apoio responsável por abastecer os módulos com reposições de peças.

b) *Carreta de solda*:

Carreta de pequeno porte para realização de pequenos trabalhos de solda (trabalhos de baixa complexidade), equipado com gerador de energia, máquina de solda e demais componentes necessários para realização do trabalho (FIGURA 19).



Figura 19. Carreta de pequeno porte utilizada nas atividades de solda.

c) Almojarifado de campo:

Inserido no interior de uma carreta baú com disposição interna para almojarifado de campo, setor administrativo, oficina e área de vivência. O almojarifado de campo contém as peças mais utilizadas pela manutenção (FIGURA 20). Vale ressaltar que é realizado o dimensionamento das peças presentes em campo, tendo assim, somente o necessário para as atividades de manutenção. É realizada ainda a atualização semanal de todos os componentes, considerando o nível de criticidade de cada peça e equipamento.



Figura 20. Carreta baú equipada com almojarifado de campo.

d) Administrativo:

Compartimento anexo ao almojarifado de campo, equipado com computador ligado a rede para o profissional responsável pela atualização do estoque de campo, lançamentos de PM (Manutenções reativas) no sistema e outras atividades pertinentes a manutenção e colheita de madeira (FIGURA 21).

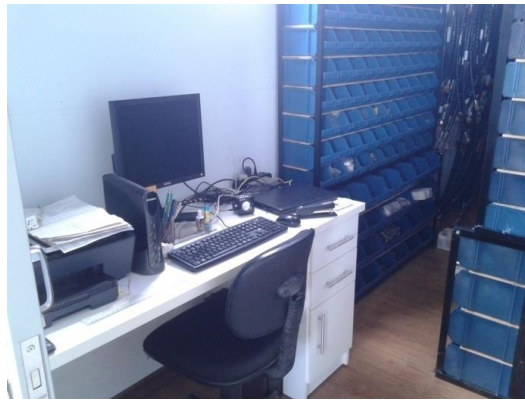


Figura 21. Área administrativa do módulo de colheita da madeira.

e) Oficina:

Localizado na parte traseira da carreta com acesso ao almoxarifado. A oficina de campo é equipada com bancadas, morsa, furadeira, afiador de corrente, manuais, procedimentos operacionais e acessórios para manutenção (FIGURA 22).



Figura 22. Oficina presente no módulo com WCM.

f) Mecânico líder:

Colaborador responsável por realizar e inspecionar as atividades de manutenção realizadas em campo, bem como alinhar todas as atividades pendentes e realizadas ao supervisor de manutenção, visto que o mesmo era responsável por mais de um módulo operacional.

g) Assistente técnico:

Colaborador responsável pela análise dos dados referentes aos consumos de óleos lubrificantes e combustíveis como também dos custos relacionados à atividade de manutenção.

h) Supervisor de manutenção PCM:

Colaborador responsável em administrar todas as informações pertinentes aos indicadores de DM, MTBF e MTTR, como também os índices de manutenções proativas e reativas.

i) Engenheiro de manutenção florestal:

Gestor que avaliava todos os resultados obtidos pela manutenção, atuando diretamente com os supervisores de manutenção, PCM, assistente técnico e coordenação. Vale ressaltar que é por meio deste trabalho que existe a possibilidade de buscar a melhoria contínua da operação como um todo.

Assim como a estrutura organizacional da manutenção, as atividades realizadas também sofreram mudanças, sendo que algumas atividades que já existiam sofreram melhorias como abastecimento e lubrificação, lavagem e manutenções reativas.

Neste sentido, com o processo de manutenção WCM, passou-se a adotar novas atividades, tais como:

a) Abertura de PM:

Documento em que o operador inicia a abertura para registrar uma falha ou pane do equipamento. É neste documento que irão todas as informações pertinentes a quebra do equipamento, como horímetro no momento da falha ou pane, hora do dia que a peça quebrou, tempo de reparo e outras informações para a base de dados.

b) Manutenção preventiva mecânica:

Consiste em um ciclo de manutenções realizadas em um total de oito semanas em todas as máquinas do módulo avaliado, ou seja, cada máquina possuía um dia e horário específico para a realização desta manutenção. Como mencionado, este ciclo compreendeu um total de oito semanas, sendo que após há oitava semana, voltou-separa há primeira semana.

A cada semana corrente na pesquisa foram avaliados diversos componentes pelos mecânicos e se necessários, estes componentes são substituídos, evitando assim que o equipamento venha sofrer uma falha ou pane, necessitando então a abertura de uma PM.

c) Revisões estratégicas:

Atividade realizada durante o terceiro turno (momento em que a atividade de colheita florestal encontra-se parada), realizada por equipes compostas por mecânicos e soldadores.

Este tipo de atividade ocorre em um intervalo de aproximadamente três semanas, onde as equipes visitam o módulo durante dois dias, realizando trabalhos mais pesados e complexos como soldas.

Existe ainda outra equipe de profissionais responsáveis pelas atividades que não podem ser realizadas em campo, como trocas de material rodante. Estas manutenções são agendadas e realizadas na oficina central (MANF), onde existem ferramentas adequadas para estas atividades.

d) Análise de falhas:

Com a finalidade de buscar a causa raiz e a melhoria contínua, a análise de falhas é uma atividade em que ocorre a participação de uma equipe multidisciplinar, composta por pessoas que conhecem o processo e outras pessoas que conhecem o método, para que haja rodadas produtivas de discussão em busca da causa raiz e da solução definitiva do problema.

Como pode ser observado, com a implantação do programa WCM, a estrutura do módulo de colheita da madeira passou a contar com alguns novos elementos e atividades, podendo ser citado, o almoxarifado em campo e a realização das manutenções preventivas semanais. Também é possível notar que com esta mudança alguns elementos e atividades deixaram de fazer parte da estrutura da manutenção, como o caminhão oficina e a confecção de mangueiras em campo.

4.4. Análise comparativa dos processos de manutenção

A comparação dos processos de manutenção Tradicional e WCM foi realizada a partir dos índices de disponibilidade mecânica, consumo médio de óleo hidráulico e custos de manutenção das máquinas de colheita da madeira, sendo que as máquinas possuíam horímetro semelhante. Foram coletadas informações por um período de um ano para o processo Tradicional e um ano para o processo WCM. Também foram obtidos dados sobre o grau de utilização e produtividade das máquinas do sistema de colheita da madeira submetido em cada processo de manutenção, de forma a obter custo de manutenção por unidade produzida.

4.4.1. Disponibilidade mecânica

A disponibilidade mecânica é definida como a percentagem do tempo de serviço programado em que a máquina esteve disponível para realizar determinada atividade, desconsiderando o tempo em manutenção, expressa pela seguinte expressão:

$$DM = \frac{HT - HM}{HT} \times 100$$

Onde: *DM* = Grau de disponibilidade mecânica (%); *HT* = Horas de trabalho; e *HM* = Horas de manutenção.

4.4.2. Consumo médio de óleo hidráulico

O consumo médio de óleo hidráulico foi calculado pela razão entre a quantidade de óleo hidráulico consumido pela máquina em relação ao número total de horas trabalhadas, obtido por meio da expressão:

$$COH = \frac{LOH}{H}$$

Onde: *COH* = Consumo médio de óleo hidráulico (litros/hora); *LOH* = Quantidade de óleo hidráulico consumidos no mês (litros); e *H* = Quantidade de horas trabalhadas no mês.

4.4.3. Estimativa do custo de manutenção

Foram obtidos os custos de manutenção das máquinas em ambos os processos de manutenção, contemplando os custos de pessoal, materiais, serviços externos e apoio.

a) Custo de pessoal

O custo de pessoal inclui as despesas com salários, encargos sociais e benefícios fornecidos pela empresa, como participação no lucro, despesas com os treinamentos e reciclagens da equipe de manutenção. Os valores totais mensais foram divididos pela quantidade de horas trabalhadas pelo módulo de colheita da madeira.

$$CP = \frac{SL + EN + BN + TR}{HT}$$

Onde: *CP* = Custo de pessoal (R\$/hora); *SL* = Salários (R\$); *EM* = Encargos (R\$); *BN* = Benefícios (R\$); *TR* = treinamentos e reciclagens (R\$) e *HT* = Quantidade de horas trabalhadas no mês.

b) Custo de materiais

É o custo referente à reposição de peças, consumo de água, capital imobilizado, gestão dos almoxarifados e do setor de compras. Para obtenção deste custo foram obtidos os valores

mensais do setor de manutenção divididos pelas respectivas horas trabalhadas durante o período de avaliação.

$$CMT = \frac{MT}{HT}$$

Onde: *CMT* = Custo de materiais (R\$/hora); *MT* = Materiais (R\$) e *HT* = Quantidade de horas trabalhadas no mês.

c) Custo de serviços externos

O custo de serviços externo referiu-se aos valores mensais dos contratos com as empresas terceirizadas para execução de serviços, tais como: lavagem das máquinas, soldas, análise de óleos e demais atividades, que foram então divididos pelas respectivas horas trabalhadas durante o período de avaliação.

$$CSE = \frac{CT}{HT}$$

Onde: *CSE* = Custo de serviços externos (R\$/hora); *CT* = Contratos de terceiros (R\$) e *HT* = Quantidade de horas trabalhadas no mês.

d) Custo de apoio

O custo de apoio referiu-se aos insumos utilizados pelos equipamentos que compõem a infraestrutura de manutenção, como os veículos de apoio, caminhão comboio, carreta de solda, almoxarifado, entre outros. Os valores referentes aos custos destes itens foram divididos pelas horas trabalhadas durante o período de avaliação, sendo em seguida subdividido pelas máquinas componentes do sistema de colheita da madeira.

$$CA = \frac{CI}{HT}$$

Onde: *CA* = Custo de apoio (R\$/hora); *CI* = Custo dos insumos e *HT* = Quantidade de horas trabalhadas no mês.

e) Custo total de manutenção

O custo total de manutenção foi obtido pelo somatório dos custos de pessoal, de materiais, custo de serviços e custos de apoio, sendo calculado pela expressão:

$$CM = CP + CMT + CSE + CA$$

Onde: *CM* = Custo de manutenção (R\$/he); *CP* = Custo de pessoal (R\$/he); *CMT* = Custo de materiais (R\$/he); *CSE* = Custo de serviços (R\$/he) e; *CA* = Custo de apoio (R\$/he).

4.5. Análise dos indicadores do processo WCM

Os indicadores do processo de manutenção WCM foram avaliados por um período de 18 meses, referente aos estágios de amadurecimento e de estabilização. O indicador MTTR foi avaliado por um período de 10 meses, pois no período de implantação do processo de manutenção WCM, a empresa não realizava mensuração do mesmo.

Os dados foram estratificados em três períodos de avaliação, sendo eles: implantação, amadurecimento e estabilização do processo de manutenção WCM, sendo considerados seis meses para cada período de avaliação.

4.5.1. Tempo médio entre falhas (MTBF)

O MTBF é definido pela relação entre o total de horas disponíveis de trabalho para a máquina ou equipamento em relação ao número de manutenções corretivas realizadas no período, obtido pela seguinte expressão:

$$MTBF = \frac{HTD}{MC}$$

Onde: *MTBF* = Tempo médio entre falhas (horas); *HTD* = Horas de trabalho disponíveis; e *MC* = número de manutenções corretivas realizadas.

4.5.2. Tempo médio de reparo (MTTR)

O MTTR é definido pela relação entre as horas destinadas para a realização das manutenções corretivas de determinada máquina ou equipamento em relação ao número de manutenções corretivas realizadas no período de avaliação, sendo obtido pela seguinte expressão:

$$MTTR = \frac{HMC}{MC}$$

Onde: *MTTR* = Tempo médio de reparo (horas); *HMC* = Horas de manutenção corretiva; e *MC* = número de manutenções corretivas realizadas.

4.5.3. Índice de proativa (IPR)

O índice de manutenção proativa foi obtido pela razão entre o tempo de manutenções proativas e o tempo total de manutenções realizadas em cada máquina ou equipamento, sendo determinado pela seguinte expressão:

$$IPR = \frac{TMPR}{TTM} \times 100$$

Onde: *IPR* = Índice de reativa (%); *TMPR* = Tempo de manutenções proativas (horas); e *TTM* = Tempo total de manutenções (horas).

4.5.4. Índice de reativa (IRE)

O índice de manutenção reativa foi obtido por meio da relação entre o percentual de manutenções reativas realizadas em cada máquina ou equipamento pelo tempo total de manutenções realizadas no período, determinada pela seguinte expressão:

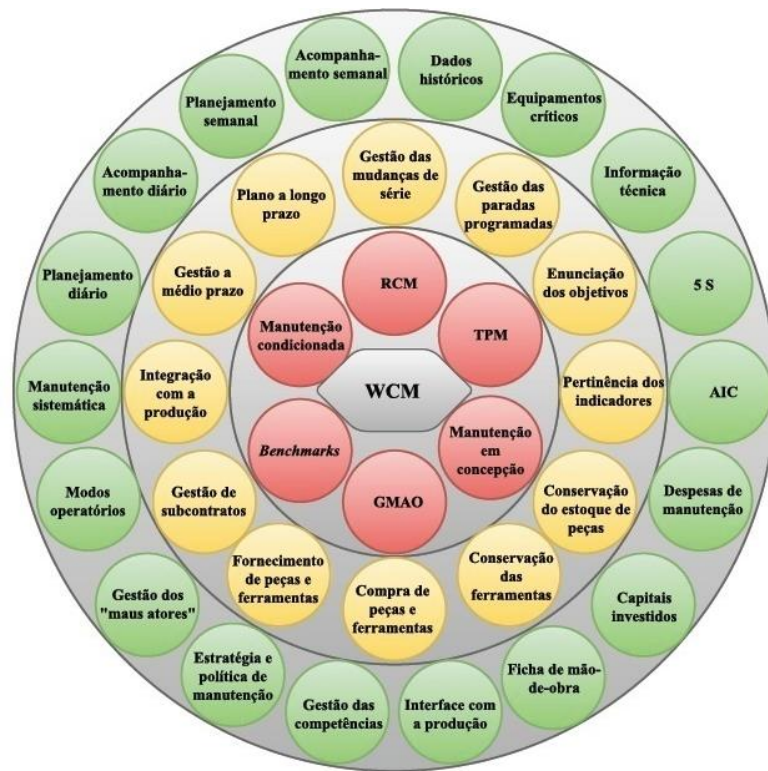
$$IRE = \frac{TMR}{TTM} \times 100$$

Onde: *IRE* = Índice de reativa (%); *TMR* = Tempo de manutenções reativas (horas); e *TTM* = Tempo total de manutenções (horas).

4.6. Análise das boas práticas aplicadas à manutenção WCM

Foi realizada a análise do processo de manutenção WCM por meio da aplicação da metodologia de boas práticas. O método consiste de um círculo dinâmico, que inclui 36 indicadores de desempenho e mais de 400 boas práticas classificadas em três níveis distintos (Figura 23).

Por meio desta ferramenta foi possível avaliar o nível em que a equipe de manutenção da empresa se encontrava, se estava ou não enquadrada dentro do nível de “Classe Mundial”, além da identificação das possíveis melhorias necessárias no processo WCM.



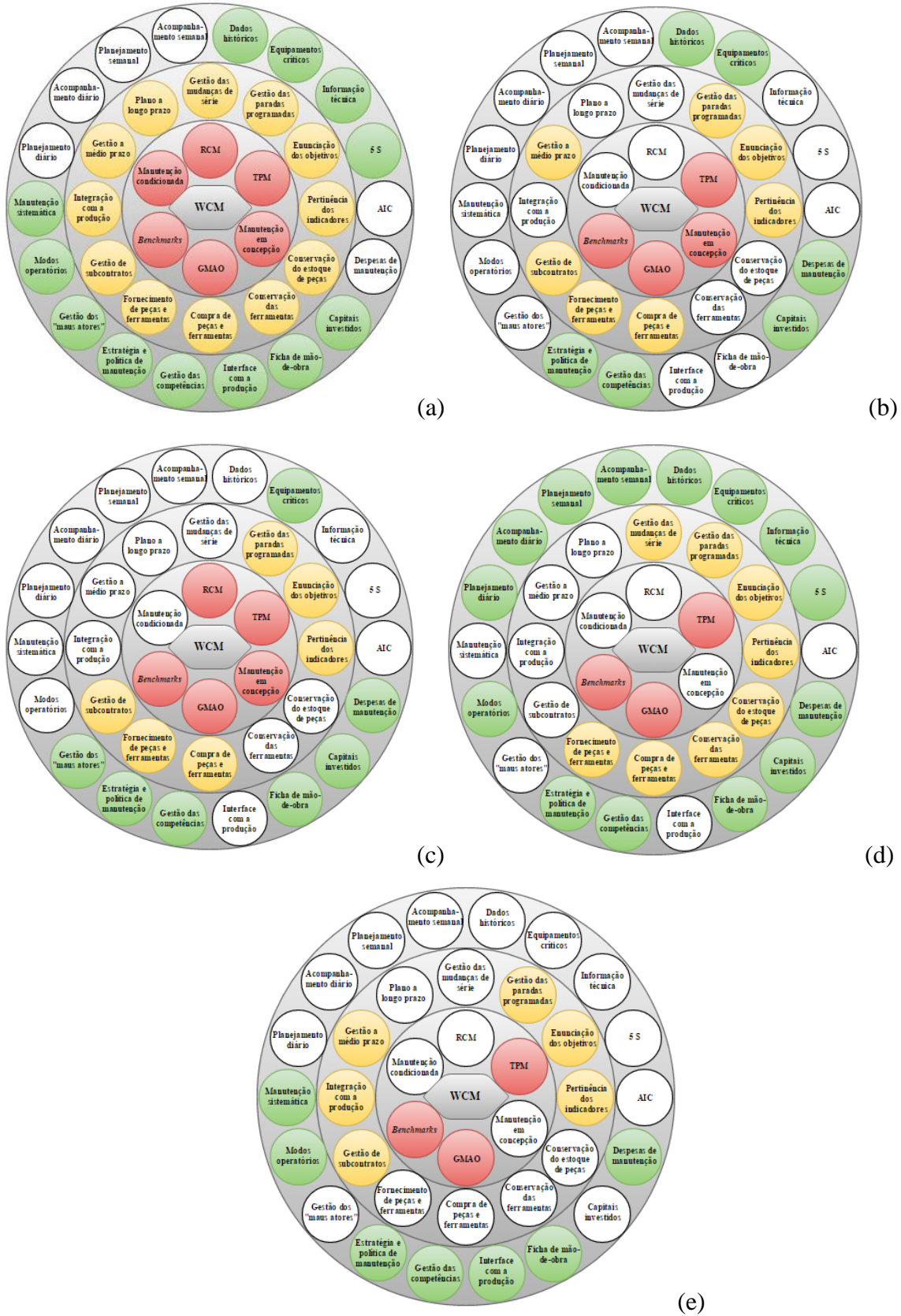
Fonte: Adaptado de Cuignet (2006).

Figura 23. Círculo dinâmico de indicadores de desempenho.

As boas práticas foram subdivididas em três classes, contemplando aspectos técnicos, de gestão e práticas de manutenção avançada (humanas). Os aspectos técnicos da manutenção encontram-se no círculo exterior, definidas como fundamentais para o desenvolvimento sólido e sustentável das boas práticas para os demais grupos. As boas práticas relacionadas à gestão da manutenção estão localizadas no círculo intermediário, sendo indispensáveis para o desenvolvimento do processo de manutenção mecânica. Por fim, as boas práticas do círculo interior estão relacionadas às boas práticas avançadas, tais como TPM e RCM, sendo estas responsáveis pela garantia do desempenho de “Classe Mundial”, que é o grande objetivo das empresas (CUIGNET, 2006).

Inicialmente foi realizado um diagnóstico do processo de manutenção WCM, a partir de questionários (ANEXO 1) aplicados na forma de entrevistas ao pessoal ligado aos setores de produção, compras, finanças, armazenamentos e recursos humanos, contemplando informações pertinentes às suas respectivas áreas de atuação na empresa.

Foi utilizado o círculo dinâmico em cada setor da empresa, sendo as boas práticas aquelas que influenciam o índice de desenvolvimento destacadas pelas cores vermelho (círculo interior), amarelo (círculo intermediário) e verde (círculo exterior), conforme ilustrado na Figura 24.



Fonte: Adaptado de Cuiquet (2006).

Figura 24. Circulo dinâmico de indicadores de desempenho correspondente à produção (a), finanças (b), compras (c), armazenagem, e (d) e recursos humanos (e).

Após a mensuração individual de todas as boas práticas, foi definida a situação atual de cada indicador dentro do círculo dinâmico. A avaliação final constituiu-se da média ponderada de cada um dos círculos, sendo em seguida realizada a classificação em cinco níveis de desenvolvimento (Tabela 2), onde o nível 1 referiu-se à manutenção no primeiro nível de classe mundial, podendo chegar até o nível 5, classificados como índice de desenvolvimento ótimo.

Tabela 2. Nível de desenvolvimento das boas práticas da equipe de manutenção.

Níveis de manutenção	Percentual de acertos das boas práticas (%)		
	Técnica	Gestão	Avançada
1	< 60	-	-
2	> 60	-	-
3	> 80	> 60	-
4	> 80	> 80	> 50
5	> 80	> 80	> 80

Fonte: Adaptado de Cuignet (2006).

4.7. Análise estatística

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial, onde foram testados seis tratamentos com 12 repetições. Os tratamentos, representaram a combinação de três máquinas (*feller buncher*, *skidder* e processador *harvester*), aplicadas a dois processos de manutenção (Tradicional e WCM).

Para os indicadores MTBF, IPR e IRE do processo de manutenção WCM foi aplicado o mesmo tipo de delineamento, porém foram testados nove tratamentos com seis repetições. Os tratamentos representam a combinação de três máquinas (*feller buncher*, *skidder* e processador *harvester*), aplicadas a três estágios (implantação, amadurecimento e estabilização). Para o indicador MTTR, foi realizado o mesmo tipo de análise, entretanto, foram aplicados um total de seis tratamentos com cinco repetições, sendo que os tratamentos representam a combinação das três máquinas já mencionadas aplicadas a dois estágios (amadurecimento e estabilização).

Os resultados foram submetidos à análise de variância. Inicialmente as variâncias dos tratamentos foram avaliadas quanto a sua homogeneidade pelo teste de Bartlett. As variáveis cujas variâncias mostraram-se homogêneas tiveram os efeitos dos tratamentos testados por meio do teste de F. Quando os resultados revelaram existir diferenças estatisticamente significantes entre médias de tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS

5.1. Análise técnica e de custos dos processos de manutenção mecânica

A análise técnica e de custos dos processos de manutenção mecânica definidas pelos índices de disponibilidade mecânica, consumo médio de óleo hidráulico e custos de manutenção das máquinas de colheita da madeira são descritas a seguir.

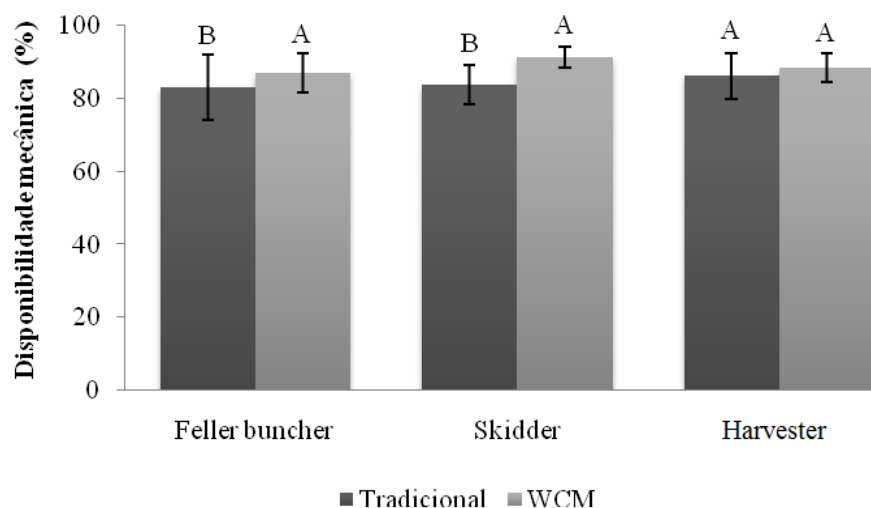
5.1.1. Disponibilidade mecânica

Houve o aumento nos índices de disponibilidade mecânica das máquinas de colheita da madeira submetida ao processo de manutenção WCM (FIGURA 25, ANEXO 2). A máquina que evidência tal resultado foi o *skidder*, apresentando a maior diferença entre os processos de manutenção, atingindo uma disponibilidade mecânica de 91% no processo WCM, sendo 8% superior ao processo de manutenção Tradicional, com diferença significativa entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A disponibilidade mecânica do *feller buncher* foi de 83% e 87%, nos processos de manutenção Tradicional e WCM, respectivamente, apresentando diferença significativa entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) (ANEXO 2). Os resultados da disponibilidade mecânica do *feller buncher* ficaram abaixo dos obtidos por Pereira *et al.* (2015), Oliveira (2013), e Simões (2008) com 93%, 96% e 92% respectivamente. Entretanto, tratam-se de valores obtidos em estudos realizados em curto período de tempo, enquanto que neste estudo, os dados foram obtidos por um período de um ano em cada processo estudado, permitindo a obtenção de resultados com maior confiabilidade.

Quanto ao *processador harvester*, a disponibilidade mecânica foi de 86% no processo de manutenção Tradicional e de 89% no WCM, não apresentando diferença significativa entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) (ANEXO 1). Contudo, tal resultado é de extrema relevância, podendo ser explicado pela pouca variação da atividade, pois se trata de uma operação em que a máquina trabalhava estacionada e com poucos deslocamentos na margem da estrada. Com isso, os riscos de danos causados na máquina devido à presença de tocos e obstáculos dispostos sobre o terreno foram reduzidos.

Os valores de desvio padrão (S) foram considerados baixos, logo, é possível afirmar que a variabilidade dos índices de disponibilidade mecânica apresentaram uma regularidade no período avaliado, evidenciando a estabilidade e confiabilidade do processo.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 25. Disponibilidade mecânica das máquinas de colheita da madeira submetida aos processos de manutenção mecânica Tradicional e WCM.

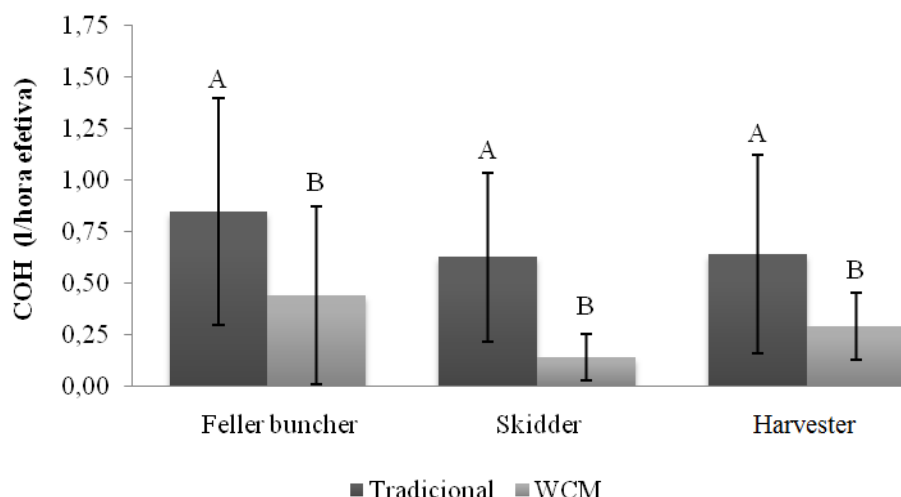
Este aumento médio de 5% na disponibilidade mecânica das máquinas submetidas ao processo de manutenção WCM, ocorreu em função do processo de manutenção Tradicional não serem empregadas as paradas das máquinas para realização de manutenção preventiva, com exceção das trocas de óleos, filtros e algumas lubrificações. Além disso, outros fatores que contribuíram para o aumento da disponibilidade mecânica foram o treinamento dos mecânicos, o controle dos estoques de peças, a aquisição de novas ferramentas, a maior disponibilidade de materiais e as análises de falhas recorrentes que permitiram melhorar os controles das peças substituídas.

As máquinas estudadas possuíam uma disponibilidade mensal para o trabalho de 399,51 horas, descontados os horários de almoço, café e trocas de turno. Desta forma, com os resultados de disponibilidade mecânica obtida para ambos os processos de manutenção mecânica, teve uma variação de 16,07 horas para o *feller buncher*, 30,07 horas para o *skidder* e 8,31 horas para o *harvester*. Fixando uma produtividade de 116 m³, 56 m³ e 92 m³ para o *feller buncher*, *skidder* e *harvester*, respectivamente, obteve-se um total de 4.312,31 m³ produzidos a mais no processo de manutenção WCM durante um mês de operação, atingindo 51.747,75 m³ durante um ano de trabalho, evidenciando, assim, a importância da implantação da manutenção WCM nas operações de colheita da madeira.

5.1.2. Consumo de óleo hidráulico

Houve uma redução no consumo médio de óleo hidráulico das máquinas no processo de manutenção WCM (FIGURA 26 / ANEXO 3). Desta forma, o processo de manutenção WCM mostrou maior eficiência em relação ao processo Tradicional, uma vez que houve a redução média de 0,40 litros de óleo hidráulico por hora trabalhada, representando uma redução mensal de 117,36; 137,25 e 101,45 litros no *feller buncher*, *skidder* e *harvester*, respectivamente, representando aproximadamente R\$ 2.500,00 nas três máquinas avaliadas j em um mês de operação e de até R\$ 30.000,00 em um ano.

No Anexo 3, é possível visualizar que os resultados apresentados para interação dos fatores Máquinas e Processos de manutenção não foram significativos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), resultado este, devido ao coeficiente de variação obtido. Também pode-se verificar que a variável apresentou diferença significativa para os fatores principais Máquinas e Processos pelo teste de Tukey ($P < 0,01$), indicando que há diferença no consumo de óleo hidráulico entre as máquinas e entre os processos.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 26. Consumo médio de óleo hidráulico (COH) das máquinas de colheita da madeira submetida aos processos de manutenção mecânica Tradicional e WCM.

Outro aspecto importante a ser destacado refere-se à baixa variação no consumo das máquinas no processo WCM (0,28 litros/hora), enquanto na manutenção Tradicional, houve uma variação média de 0,48 litros por hora trabalhada, acarretando em uma redução média de 49% no consumo de óleo hidráulico. Tal variação pode ser explicada pela realização de manutenções preventivas no processo de manutenção WCM, onde foi verificada a existência de mangueiras e/ou reparos com defeitos, que foram então substituídos, e desta forma, foi

possível reduzir a ocorrência e a quantidade de vazamentos de óleo hidráulico, além do treinamento dos operadores, conscientizando-os para este indicador, reduzindo os casos com mangueiras e cilindros.

A máquina que apresentou maior consumo de óleo hidráulico foi o *feller buncher* (FIGURA 26). Tal comportamento pode ser explicado pela necessidade dos movimentos para execução da derrubada e empilhamento das árvores e deslocamento por terrenos adversos. Outro aspecto do maior consumo do *feller buncher* e *harvester* refere-se a disposição do sistema hidráulico das máquinas, que em relação ao *skidder* encontram-se em sua maioria desprotegidas, além de possuírem uma potência nominal no motor mais elevada, 300 hp para o *feller buncher* e 294 hp para o *harvester*, enquanto o *skidder* possui 250 hp. O peso operacional das máquinas é outra variável que explicou tal comportamento, haja vista que o trator florestal *skidder* é em torno de 10 toneladas mais leve que o *harvester* e 16 toneladas que o *feller buncher*.

Oliveira (2013), Pereira (2011) e Rocha *et al.* (2009) observaram valores médios acima do obtido neste trabalho. Entretanto, para obter tal resultado, os autores estimaram o mesmo a partir do consumo de óleo diesel, o que torna este índice pouco confiável.

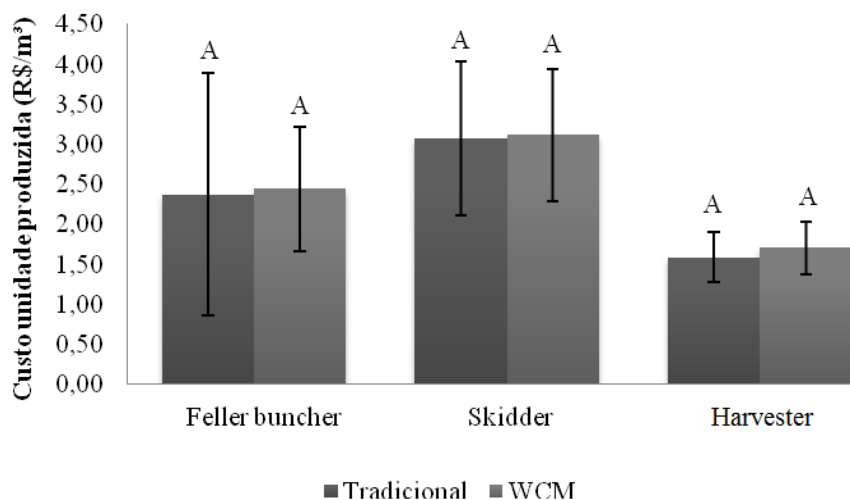
5.1.3. Custo de manutenção

É possível notar um aumento de 2% no custo por unidade produzida das máquinas no processo WCM, entretanto, tais resultados não foram significativos em relação à manutenção Tradicional pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) (FIGURA 27).

É muito importante ressaltar que, o aumento no custo de manutenção por unidade produzida de 2% representou uma diferença no mês de R\$ 0,07/m³, R\$ 0,05/m³ e R\$ 0,12/m³ para o *feller buncher*, *skidder* e *harvester*, respectivamente. Fixando uma produção mensal para o *feller buncher* de 29.000 m³, tem-se uma diferença de R\$ 2.030,00 no custo de manutenção entre os processos estudados. Para o *skidder*, foi atingida uma diferença de R\$ 700,00 fixando uma produção de 14.000 m³. Já para o *harvester*, ao fixar uma produção de mensal de 23.000 m³, a diferença entre os custos de manutenção nos processos de manutenção Tradicional e WCM foi de R\$ 2.760,00 em um mês de operação, totalizando R\$ 5.490,00 nas três máquinas, sendo considerado um valor insignificante dentro da colheita da madeira.

Desta forma, apesar do aumento de 2% no custo de manutenção por unidade produzida, o processo WCM mostrou-se viável na manutenção de equipamentos florestais, pois são aplicadas práticas de manutenção preventiva, oferecendo assim, maior segurança na

produção das operações florestais e estabilidade do processo (refletido nos resultados anteriores), facilitando ainda a obtenção de maior vida útil das máquinas.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 27. Custo médio por unidade produzida da manutenção mecânica das máquinas submetidas aos processos de manutenção Tradicional e WCM.

É possível visualizar que os resultados apresentados para interação dos fatores Máquinas e Processos de manutenção não foram significativos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Verificou-se ainda que, a variável não apresentou diferença significativa para a interação do fator principal Processos de manutenção, enquanto o fator principal Máquinas apresentou diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,01$), indicando que há diferença entre os custos das máquinas avaliadas independente do processo de manutenção que está sendo aplicado.

O equipamento que apresentou o maior custo de manutenção por metro cúbico produzido foi o *skidder*, com R\$ 3,07/m³ e R\$ 3,12/m³, seguido do *feller buncher*, com R\$ 2,37/m³ e R\$ 2,44/m³ e do *harvester* com R\$ 1,59/m³ e R\$ 1,71/m³ nos processos de manutenção Tradicional e WCM, respectivamente. O fato de o *skidder* ter atingido um custo de manutenção por unidade produzida maior em relação às demais máquinas em ambos os processos de manutenção avaliados deveu-se ao fato de que a produção mensal da máquina em metros cúbicos foi inferior a produção do *feller buncher* e a do *harvester*.

É importante ainda ressaltar que, os valores de desvio padrão obtidos no processo de manutenção WCM foram menores em relação ao processo Tradicional, logo, a variabilidade dos custos apresentou regularidade, evidenciando a estabilidade e confiabilidade do processo.

Na Figura 28 são mostradas as participações percentuais dos itens que compõe o custo de manutenção das máquinas nos processos de manutenção Tradicional e WCM, que são:

material, serviço, pessoal e apoio. Em todas as máquinas estudadas e processos de manutenção, o maior percentual foi ocupado pelo custo de material.

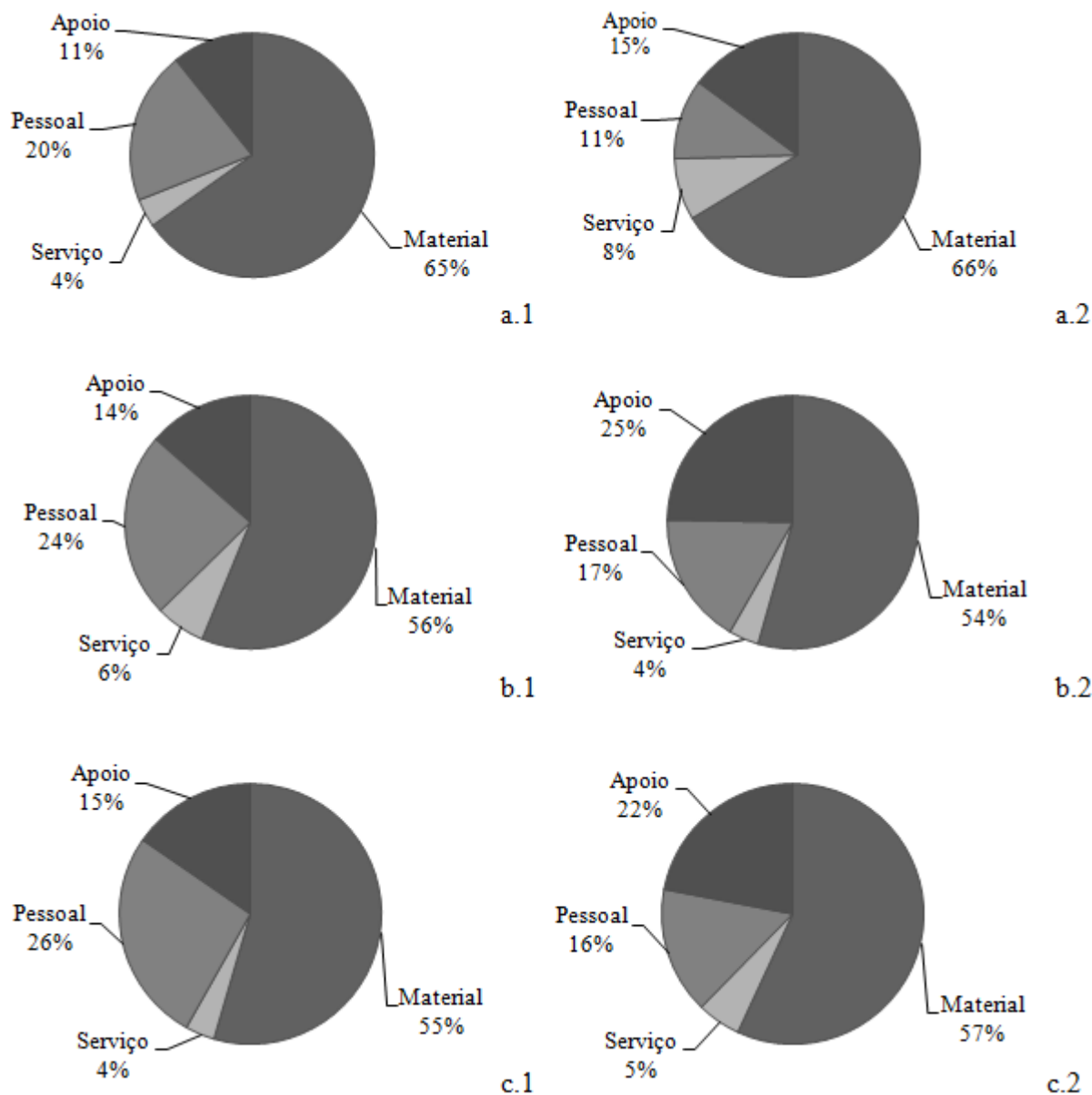


Figura 28. Distribuição percentual dos itens componentes dos custos de manutenção do *feller buncher* (a), *skidder* (b) e *harvester* (c) nos processos Tradicional (1) e WCM (2).

Os resultados apontaram um aumento nos custos de materiais do *feller buncher* e *harvester* no processo de manutenção WCM e pequena redução no *skidder*. Tal resultado pode ser explicado pelo fato das primeiras máquinas mencionadas apresentarem maior complexidade e tecnologia em termos de sistemas elétrico e hidráulico comparado ao *skidder*.

Analisando o *feller buncher*, as trocas que mais impactaram no aumento do valor médio do custo de materiais no processo WCM foram relacionadas ao material rodante,

dentes de corte (vídeas) e trocas de filtros, além do impacto de óleo diesel destacado no custo de material.

O *skidder* apresentou uma redução no percentual do custo médio de materiais no processo WCM, sendo que os itens que mais impactaram neste custo foram os combustíveis e as trocas de pneus. No processo Tradicional, as variáveis que contribuíram para o aumento no custo médio de materiais em relação ao processo de manutenção WCM foram as trocas de pneus, rolamentos de tandem e diferencial, que normalmente são itens de trocas pontuais, ou seja, possuem um MTBF superior em relação aos outros itens como as mangueiras, por exemplo, porém são itens que apresentam um alto investimento, impactando, portanto no custo de manutenção. Outro fator que colaborou para tal resultado foi o consumo de combustíveis, que é o item que possui maior influencia nos custos de materiais de todas as máquinas.

O consumo de combustível e alguns componentes como cilindro da roda medidora, motor do braço do rolo do cabeçote e sensor de diâmetro foram às variáveis que contribuíram fortemente para o aumento no percentual do custo médio de materiais do *harvester* no processo de manutenção WCM.

Na avaliação do percentual do custo médio de serviços, o *feller buncher* e o *harvester* foram as máquinas que apresentaram um aumento no custo de manutenção no processo WCM, explicado pelos trabalhos de montagem, furação de sapatas, recuperação de cilindros, acumulador, facas do cabeçote e recuperação de turbina do motor. Por outro lado, na avaliação do *skidder*, o processo de manutenção Tradicional apresentou um custo médio de serviços mais elevado em relação à manutenção WCM, explicado pelos serviços de substituição de filtros, verificação e posterior recuperação do motor e concertos realizados na garra da máquina.

Os custos de pessoal e apoio representaram em torno de 30% do custo total de manutenção, sendo que em todas as máquinas avaliadas no processo WCM houve um aumento no custo de apoio. Tal resultado pode ser explicado pelas atividades de manutenção preventivas realizadas nas máquinas, como atividades de lavagem, solda e manutenções de caráter mais complexo, como material rodante por exemplo.

Os custos médios totais por hora trabalhada de manutenção das máquinas estudadas são apresentados na Tabela 3, Anexo 5. Como pode ser observado, o processo de manutenção WCM apresentou custo médio por hora trabalhada superior em relação ao processo Tradicional, contudo, os resultados não apresentaram diferenças pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). No *feller buncher*, o custo médio de manutenção foi de R\$ 257,04 e R\$ 263,54 por hora trabalhada nos processos Tradicional e WCM, respectivamente. Tal resultado mostrou que

houve uma semelhança em relação aos valores obtidos por Oliveira (2013), com R\$ 259,50 por hora trabalhada, enquanto Simões (2008) e Rocha *et al.* (2009) encontraram valores abaixo comparado ao presente estudo, com R\$ 138,51 e R\$ 72,75 por hora trabalhada.

O custo médio de manutenção no processo WCM para o *skidder*, mostrou-se superior no processo WCM com R\$ 171,75 por hora trabalhada, aumentando em torno de R\$ 20,00 por hora trabalhada em relação ao processo Tradicional. Este resultado deveu-se principalmente aos custos de apoio, ou seja, aos serviços mais complexos com tempo de reparo (MTTR) mais elevados. Os valores obtidos para o custo de manutenção do *skidder* em ambos os processos estudados mostraram-se acima dos custos atingidos por Lopes *et al.* (2014) estudando o trator florestal *skidder* na extração de madeira, onde observaram um custo médio de manutenção de R\$ 102,30 por hora trabalhada, totalizando aproximadamente 50% do custo total da máquina.

Para o *harvester*, o custo de manutenção por hora trabalhada nos processos de manutenção avaliados foram em torno de R\$ 170,00 hora trabalhada, sendo que o processo WCM apresentou um custo de 7,5% superior em relação ao processo de manutenção Tradicional, devendo-se principalmente aos custos de materiais, serviço e apoio, ou seja, devido a compra de peças e componentes e aos trabalhos de manutenções corretivas realizadas na máquina. Simões *et al.* (2010) encontraram valor próximo a R\$ 85,00 por hora para o custo de manutenção, e Oliveira (2013) apresentou em seu escrito um valor de R\$ 128,70 por hora trabalhada, próximo ao obtido por Fernandes *et al.* (2013), com R\$ 126,50 hora trabalhada.

Tabela 3. Custo médio por hora trabalhada com manutenção mecânica das máquinas de colheita da madeira nos processos de manutenção Tradicional e WCM.

Itens de manutenção	Valores (R\$/he)					
	<i>Feller buncher</i>		<i>Skidder</i>		<i>Harvester</i>	
	Tradicional	WCM	Tradicional	WCM	Tradicional	WCM
Materiais	167,67	175,02	94,81	93,52	88,31	99,69
Serviço	9,71	21,40	10,81	6,59	5,91	9,51
Pessoal	52,04	27,89	40,16	29,20	42,74	27,42
Apoio	27,62	39,23	22,77	42,44	24,97	38,49
Custo total	257,04 A	263,54 A	168,55 A	171,75 A	161,93 A	175,10 A

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.2. Análise do processo de manutenção WCM

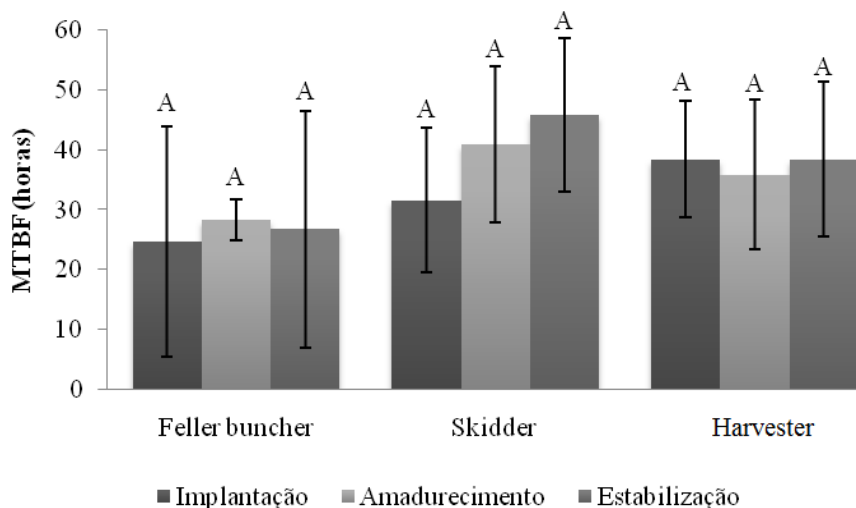
5.2.1. Tempo médio entre falhas (MTBF)

Em relação ao tempo médio entre falhas, houve um aumento no intervalo de ocorrência de falhas a partir do estágio de amadurecimento, sendo evidenciado principalmente no *skidder* (FIGURA 29). Tal resultado deveu-se, principalmente, às práticas de manutenção preventiva aplicadas nas máquinas avaliadas, ao treinamento dos mecânicos e operadores e ao estoque de peças existentes no almoxarifado, sendo que no período de transição entre os processos, ou seja, no estágio de implantação, os colaboradores ainda não possuíam treinamento adequado, bem como o almoxarifado de campo não possuía um dimensionamento ideal das peças necessárias para a atividade.

O *skidder* foi à máquina que apresentou o melhor comportamento da variável MTBF, apresentando crescimento no seu tempo entre falhas após cada estágio do processo de manutenção WCM. Contudo, é possível notar na fase de implantação que a máquina apresentava um MTBF inferior ao *harvester*, devido à própria característica da máquina, que por possuir um sistema mais fechado, sua manutenção tornava-se de maior complexidade. E para se ter acesso às partes internas da máquina, era necessário abri-lá, demandando muito tempo para manutenção, e desta forma, pelo fato do *skidder* ser uma máquina mais robusta, optou-se por dar mais atenção às demais máquinas.

O *feller buncher* foi a máquina que apresentou o menor MTBF em todos os estágios do processo WCM, seguido pelo *harvester* e *skidder*. Um dos aspectos que explicam tal comportamento está relacionado ao sistema hidráulico nas duas primeiras máquinas, que além de possuir um número maior de mangueiras, possuía um sistema hidráulico exposto. Outro fator que demandou atenção está na necessidade do *feller buncher* e do *harvester* realizarem mais movimentos para completar suas atividades, e com isso, houve com frequência a ocorrência de atritos e desgastes das mangueiras provocando constantes falhas no equipamento.

O *harvester* foi a máquina que apresentou maior regularidade para este indicador, variando em média três horas entre os estágios. Tal comportamento confirma os resultados obtidos para a máquina em sua disponibilidade mecânica, sendo a máquina que apresentou menor variação dos dados, explicado pela atividade não ser tão adversa quanto às demais atividades das outras máquinas. Portanto, de maneira geral, a máquina trabalhou em terrenos de pouca declividade e com árvores de volume que não variam dentro de um mesmo projeto, não exigindo mais do que a máquina suportava.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 29. Tempo médio entre falhas no processo de manutenção WCM nos estágios de implantação, amadurecimento e estabilização.

Portanto, pode-se afirmar de modo geral, que o MTBF variou entre 25 e 45 horas nas máquinas estudadas, sendo considerado um bom resultado, haja vista as condições adversas que as máquinas operam, trabalhando até 18 horas por dia durante todos os dias do ano. Almeida (2013) estudando algumas metodologias de manutenção em tratores agrícolas obteve um MTBF médio de 509; 239,3 e 122,5 horas em tratores de 135 CV, 115 CV e 100 CV, respectivamente. Entretanto, é importante lembrar que, além dos tratores possuírem pequeno porte, os mesmos realizavam operações leves, diferente das operações florestais em que as máquinas operavam em condições encontradas somente no âmbito florestal.

Pelos resultados apresentados na ANOVA (ANEXO 6), é possível visualizar que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) para o fator principal estágio, bem como para interação entre os fatores Máquinas e Estágios do processo de manutenção, explicado pela grande variação dos dados durante os meses estudados. É possível observar também que o fator principal máquina apresentou diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,01$), indicando que houve uma diferença no tempo médio entre as falhas das máquinas estudadas. Tal resultado deveu-se à grande diferença das máquinas quanto a sua estrutura, pois tratam-se de máquinas de esteiras (*feller buncher* e *harvester*) e pneus (*skidder*), com potências e pesos diferentes, além das atividades realizadas, que enquanto o *feller buncher* realizava a derrubada e empilhamento das árvores, o *skidder* realizava o arraste das árvores, e por fim, o *harvester* realizava o processamento das árvores.

5.2.2. Tempo médio de reparo (MTTR)

Para análise da variável tempo médio de reparo (MTTR) foram considerados somente os estágios de amadurecimento e estabilização, pois nos primeiros meses, devido à transição dos processos de manutenção não foi possível obter dados da referida variável.

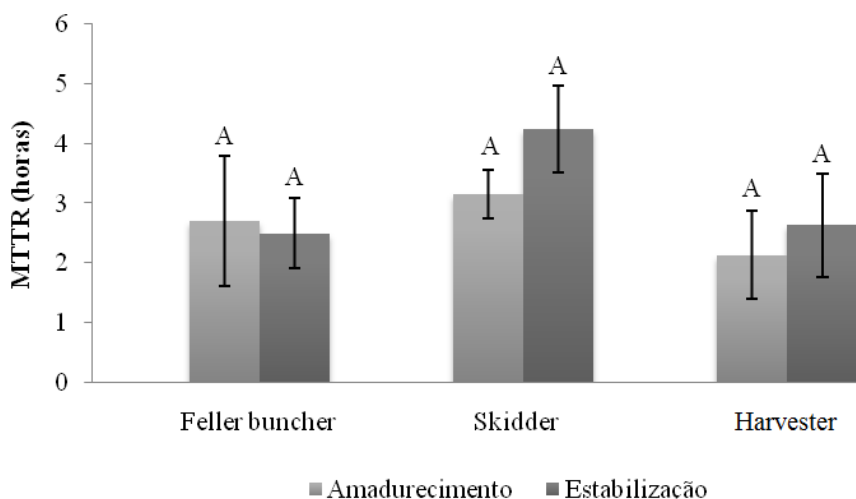
Na Figura 30 são mostrados os resultados do tempo médio de reparo (MTTR) para as três máquinas estudadas submetidas ao processo de manutenção WCM. O estágio de estabilização apresentou um aumento no tempo de reparo das falhas ocorridas nas máquinas estudadas, com exceção do *feller buncher*, mostrando-se 8,11% superior ao estágio de amadurecimento, contudo, tais resultados não apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Este aumento no tempo de reparo deveu-se ao fato de uma melhoria na qualidade das atividades de manutenção realizadas nas máquinas submetidas ao processo WCM. Um ponto que evidencia tal afirmação são os valores obtidos para o *skidder* e *harvester* na variável MTBF, pois para ambas as máquinas houve um aumento no tempo médio entre falhas.

O *feller buncher* demonstrou uma melhoria durante o estágio de estabilização no processo de manutenção, com desvio padrão de 0,59 em relação a 1,09 horas no período de amadurecimento, reduzindo cerca de 0,50 horas na realização dos reparos (FIGURA 30, ANEXO 7). Contudo ao verificar a variável MTBF (FIGURA 29) da mesma máquina, observa-se uma redução no tempo médio entre as falhas, indicando que as atividades de manutenção realizadas no *feller buncher* sofreram uma redução no que diz respeito à qualidade dos serviços.

O *skidder* apresentou um aumento próximo a 25% para a realização das atividades de manutenção no estágio de estabilização. Este aumento no tempo médio de reparos é explicado pelo aumento na qualidade das atividades de manutenção, possibilitando um aumento no tempo médio entre falhas (MTBF) e por consequência um aumento na disponibilidade mecânica da máquina. Outro fator que explica este aumento de 25% nos tempos de reparo está no fato do *skidder* ser uma máquina com um sistema protegido, ou seja, a maioria das mangueiras e peças encontram-se protegidas por chapas dificultando, assim, o trabalho dos mecânicos, que necessitam abrir alguns pontos para ter acesso as peças que necessitam ser substituídas ou verificadas.

O *harvester* também apresentou um aumento no MTTR, porém no estágio de estabilização, com incremento em torno de 3 horas em relação ao período de amadurecimento, indicando, portanto, uma melhoria na qualidade da manutenção da máquina. Vale lembrar que, o *harvester* é uma máquina moderna e complexa, que possui uma grande quantidade de

mangueiras, sistema elétrico diferenciado em relação às demais máquinas avaliadas devido ao seu cabeçote processador. Desta forma, além da máquina base, que já possui certa complexidade em relação aos serviços de manutenção, o cabeçote processador da máquina colaborou para que os trabalhos de manutenção demandem tempo e atenção dos mecânicos na realização de um trabalho de qualidade.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 30. Tempo médio de reparo nos estágios de amadurecimento e estabilização das máquinas submetidas ao processo de manutenção WCM.

De acordo com ANOVA (ANEXO 7), verificou-se que o fator principal Estágio e a interação entre os fatores Máquinas e Estágios não foram estatisticamente significantes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Ta resultado indicou que, independentemente dos estágios, o MTTR não apresenta grandes variações nos resultados, variando de 2 a 4 horas para realização das atividades. Constatou-se ainda que, o fator principal Máquina apresentou diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,01$), indicando que o tempo de reparo entre as máquinas teve diferença entre si, haja visto a diferença estrutural das máquinas estudadas, onde se tem máquinas de diferentes marcas, com configurações e mapeamento de mangueiras desiguais, máquinas de esteiras com e sem nivelamento, caso da *feller buncher* e *harvester*, e máquinas de pneus, como o *skidder*.

5.2.3. Índice de proativa (IPR)

Na Figura 31 é apresentado o comportamento do índice de proativa médio das máquinas avaliados nos estágios de implantação, amadurecimento e estabilização. Percebe-se

que a partir do estágio de amadurecimento, houve um aumento em torno de 30% no índice de proativa em todas as máquinas, com diferença significativa entre os estágios avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,01$). Tal resultado é explicado pelas inúmeras intervenções de manutenção preventiva no processo WCM, que ocasionaram uma redução no número de falhas das máquinas. Neste processo, sempre que as peças das máquinas, como por exemplo, mangueiras, reparos, pinos, etc, apresentaram desgaste, estas eram substituídas durante as manutenções preventivas, sendo realizadas em todas as semanas, diminuindo, portanto, a ocorrência de manutenções corretivas não programadas.

Outro ponto relevante que pode ser evidenciado na Figura 31 é a diminuição do índice de manutenções proativas no estágio de estabilização. Este comportamento evidencia a grande complexidade da manutenção das máquinas florestais, que são modernas, robustas e com elevada tecnologia. Desta forma, apesar de existir uma engenharia de manutenção no processo WCM, onde era realizado o planejamento das paradas e das atividades em que as máquinas estavam sendo submetidas, ocorriam diversas falhas que até então não se tinha o conhecimento, logo, não havia determinada peça ou componente no almoxarifado de campo, fazendo com que o índice de manutenção proativa apresentasse uma redução.

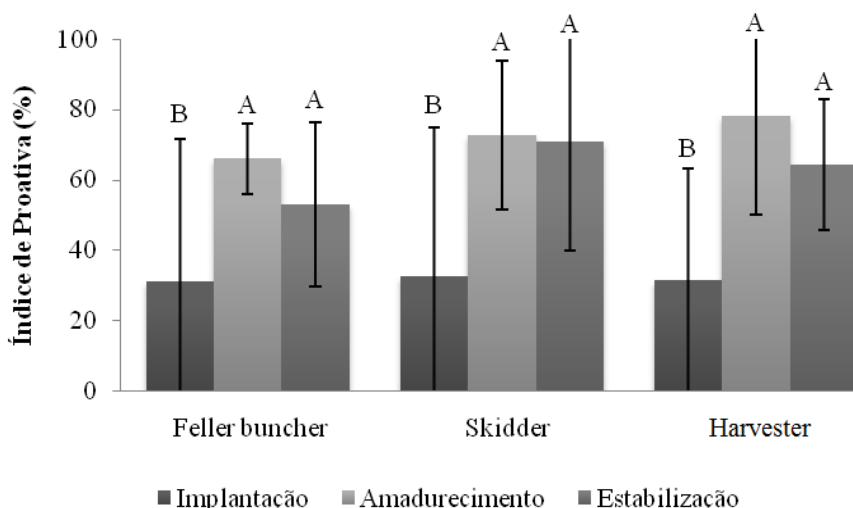
O *feller buncher* foi a máquina que apresentou o menor índice de manutenção proativa, mostrando a necessidade de maior atenção por parte dos gestores da manutenção. Tal resultado pode ser explicado principalmente pela exposição do sistema hidráulico da máquina, permitindo assim, contato com outras partes da máquina e com as próprias árvores, contribuindo para a ocorrência de desgaste e posterior ruptura das mangueiras, e fazendo, portanto, com que a máquina apresentasse uma falha.

O *skidder* foi a máquina que após o estágio de amadurecimento, apresentou a menor redução do IPR, mostrando ser mais confiável que as demais. Este comportamento deveu-se, além das características únicas da máquina quanto à proteção de seu sistema hidráulico e elétrico, ao treinamento dos mecânicos na realização das manutenções na máquina, confirmando pelos resultados de MTTR obtidos durante o processo de manutenção WCM.

O *harvester* apresentou um aumento em torno de 40% para realização das atividades de manutenção após a fase de transição entre os processos de manutenção estudados, explicado pelas ações de caráter preventivo realizado na máquina, evidenciando a redução no número de manutenções corretivas, que até então era pregada como cultura na companhia. A redução do IPR no estágio de estabilização pode ser explicada principalmente pelo sistema hidráulico e elétrico da máquina, com destaque para o cabeçote processador, que possuía vários componentes insignificantes em tamanho, porém que ao apresentarem falha podiam contribuir para a parada da máquina de grande porte, como por exemplo, um reparo do bloco

do cabeçote, responsável pela vedação do óleo hidráulico que alimentava os movimentos do cabeçote.

É importante destacar que, os valores de desvio padrão (S) obtidos no estágio de implantação foram maiores, indicando que a variabilidade dos resultados nos meses de transição entre os processos foi alta, não apresentando regularidade no primeiro estágio do processo de manutenção WCM.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 31. Índice de proativa nos estágios de implantação, amadurecimento e estabilização das máquinas no processo de manutenção WCM.

Os valores de Qui-Quadrado (χ^2) referente ao teste de Bartlett e os resultados da análise de variância dos dados da variável índice de proativa são apresentados no Anexo 8. Verificou-se que a variável em questão não apresentou diferença significativa pelo teste de Tukey ($<0,05$) para o fator principal Máquina bem como para a interação dos fatores Máquinas e Estágios, indicando que seus efeitos são independentes e que as manutenções de ordem preventiva se aplicam igualmente para todas as máquinas avaliadas. Um fator que explica o comportamento de tais resultados foi o coeficiente de variação obtido (ANEXO 8), ou seja, os valores de índice de manutenção proativa apresentaram grande dispersão entre os estágios avaliados.

5.2.4. Índice de reativa (IRE)

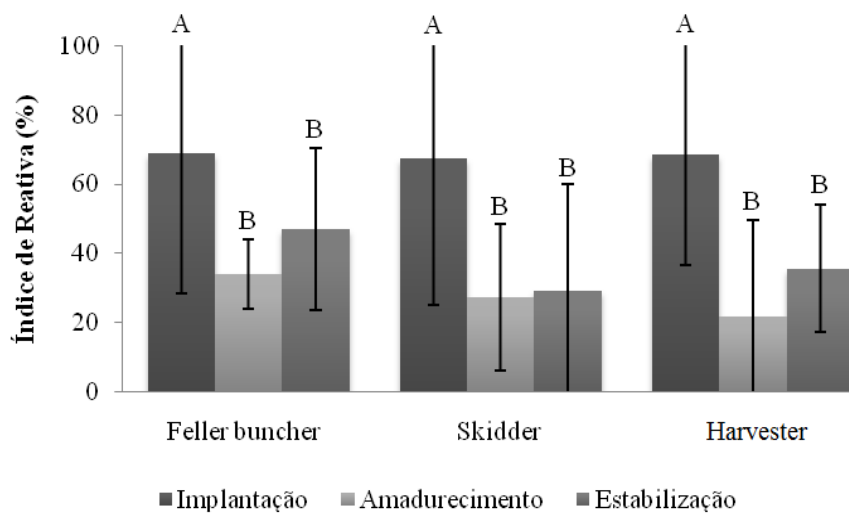
Os valores referentes ao índice de reativa do processo de manutenção WCM são ilustradas na Figura 32. Como pode ser observado, o comportamento do índice de reativa das máquinas avaliadas sofreu uma queda a partir do estágio de implantação, apresentando

diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,01$). É possível observar também um pequeno aumento no estágio de estabilização após a passagem do estágio de amadurecimento, explicado pela grande complexidade encontrada nas máquinas florestais no que diz respeito à sua manutenção, que apesar de possuir um estoque de peças baseado em um histórico, muitas vezes ocorrem falhas que até então não haviam ocorrido.

As máquinas *feller buncher* e *harvester* apresentaram um aumento acima de 10% em relação ao estágio de amadurecimento. Tal resultado deveu-se principalmente a falta de conhecimento sobre as máquinas, pois até então, não havia a preocupação por parte dos gestores em conhecer qual componente da máquina entrou em falha, simplesmente o substituíam para que a máquina voltasse a operar o mais rápido possível, visando sempre a produção.

Diferentemente do *feller buncher* e do *harvester*, o *skidder* apresentou após o estágio de amadurecimento um leve aumento no índice de reativa, indicando que a máquina em questão possuía a característica de resiliência, ou seja, a máquina adaptava-se e rapidamente ao processo de manutenção WCM, apresentando confiabilidade e segurança para atingir as metas estabelecidas pela produção e manutenção.

É importante ressaltar que, apesar do processo já encontrar-se no estágio de estabilização, de acordo com os resultados obtidos, fica clara a necessidade do acompanhamento dos indicadores e das atividades de análise de falhas buscando a melhoria contínua do processo de manutenção WCM.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 32. Índice de reativa nos estágios de implantação, amadurecimento e estabilização das máquinas no processo WCM.

Os resultados da análise de variância dos dados da variável índice de reativa são apresentados no Anexo 9. O fator principal Máquina e a interação dos fatores Máquinas e Estágios não apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), indicando que as manutenções de caráter proativo foram realizadas em todas as máquinas, evidenciando ainda que ao se realizar estas manutenções, foi possível reduzir o percentual de manutenções corretivas, que durante o processo de manutenção Tradicional eram pregadas como cultura.

5.3. Boas práticas na manutenção de máquinas florestais

Os resultados dos níveis de boas práticas técnicas, de gestão e avançadas avaliadas pela equipe multidisciplinar de manutenção são apresentados na Tabela 4. De maneira geral, é possível perceber que as categorias ficaram avaliadas entre 50% e 60%. Verificou-se que a equipe de produção, formada pelo pessoal que atuava no módulo de colheita avaliado foi que melhor avaliou as categorias. Tal resultado é explicado pelo fato de que, a equipe em questão em relação às demais equipes avaliadoras vivência em seu dia-a-dia o processo de manutenção WCM, participando de treinamentos, manutenções, inspeções, etc, permitindo um conhecimento mais detalhado do que realmente o processo de manutenção WCM prega como cultura.

As equipes de finanças e compras, responsáveis principalmente gerenciamento dos indicadores de custo mostraram sinergia no momento da avaliação das boas práticas presentes nos três níveis de manutenção, pois os resultados obtidos mostraram proximidade, contudo,

nota-se a necessidade de aprofundamento nos indicadores que envolvem a gestão dos capitais investidos no processo de manutenção WCM.

Quanto à equipe de armazéns, percebeu-se que a mesma não possuía conhecimento aprofundado acerca do processo de manutenção WCM, evidenciado pelas médias obtidas nos níveis de boas práticas. O resultado em questão pode ser explicado pela pouca comunicação entre os setores, seja na divulgação de resultados como também de metas e políticas a serem seguidas. Outro ponto que chama atenção é que o setor de armazéns junto com o setor de produção foram as equipes que avaliaram uma maior quantidade de indicadores, devido ao seu envolvimento com o processo de manutenção WCM como um todo, destacando a falta de sinergia entre as áreas da manutenção.

A equipe dos recursos humanos (RH) mostrou ser a equipe que possuía o menor conhecimento das boas práticas empregadas na manutenção de máquinas florestais, apesar da mesma equipe realizar as contratações dos colaboradores que trabalham no setor de manutenção. Desta forma, ficou claro que, de maneira geral, existe pouca sinergia, cooperação e comunicação entre os setores de manutenção, fazendo com que a evolução do processo de manutenção WCM caminhe com passos miúdos.

Tabela 4. Indicadores de boas práticas do avaliadas pela equipe multidisciplinar da manutenção

Níveis de Boas Práticas	Produção	Finanças	Compras	Armazéns	RH	Média (%)	Desvio Padrão
	Nível de conhecimento das Equipes (%)						
Técnico	74,30	48,09	62,61	38,85	27,42	50,25	18,62
Gestão	66,59	50,95	55,37	46,61	35,68	51,04	11,36
Avançado	75,89	52,60	48,65	22,22	18,40	43,55	23,67

Escala de cores: ■ Bom; ■ Regular; e ■ Ruim.

Na Tabela 5 pode ser visualizado os indicadores referentes às boas práticas de aspecto técnico, onde estão apresentados os percentuais e o desvio padrão entre as equipes avaliadoras entre cada indicador. Os indicadores que apresentaram os melhores resultados foram “acompanhamento a intervalos curtos”, “gestão dos maus atores”, “planejamento semanal” e “acompanhamento semanal” com 81,3%, 77,5%, 75% e 75%, respectivamente. Tais resultados são explicados pela realização das atividades de manutenção proativa, ou seja, as manutenções preventivas semanais aplicadas nas máquinas durante cada semana de trabalho deixando claro que com o processo de manutenção WCM, existe a aplicação da engenharia de manutenção focada no planejamento das atividades em curto e longo prazo.

Os indicadores “dados históricos”, “equipamentos críticos”, “informação técnica” e “gestão das competências” foram aqueles que apresentaram pior desempenho com 37,5%,

38,5%, 33,4% e 26%, respectivamente. Tais resultados indicam que apesar do processo de manutenção WCM já apresentar uma resposta positiva em relação ao processo de manutenção Tradicional, é necessário monitorar os parâmetros e indicadores de cada máquina em cada mês de operação possibilitando, assim, alimentar uma base de dados confiável que permita auxiliar na tomada de decisão dos gestores.

Um fator que auxilia no entendimento de tais resultados apresentarem uma média baixa está nos resultados obtidos para o indicador MTBF. Foi possível visualizar que no segundo estágio que o tempo entre falhas aumentou, que é um resultado positivo, contudo, no estágio de estabilização do processo o indicador apresentou uma queda (FIGURA 33). Como mencionado, um fator que colaborou para tal resultado foi à falta de um histórico confiável das falhas das máquinas, logo, apesar de existir um almoxarifado de campo, por vezes acabava faltando componentes como mangueiras e pinos, por exemplo, acarretando em paradas indesejáveis da máquina.

Um ponto prático que explica os baixos resultados obtidos para os indicadores avaliados foi que, principalmente no início do processo de manutenção WCM, apesar de existir os manuais das máquinas e a experiência dos colaboradores, não se tinha o conhecimento (no papel) das tarefas a serem realizadas em cada parada de manutenção preventiva. Portanto, não se conhecia quais realmente deveriam ser os itens a serem inspecionados em cada parada de modo a atingir confiabilidade na atividade, evitando perda de tempo com inspeções desnecessárias ou ainda deixando de inspecionar determinado item que possa entrar em falha. Mais uma vez ficou claro que as informações de dados históricos, criticidade dos equipamentos, informações técnicas e a gestão das atividades são de extrema importância, pois permitem elevar os índices da manutenção como um todo, possibilitando aumento da disponibilidade mecânica, aumento entre os tempos de falha, diminuição dos tempos de reparos e percentual de ações corretivas, possibilitando elevar os níveis da manutenção de classe mundial.

Tabela 5. Indicadores de boas práticas do aspecto técnico avaliadas pela equipe multidisciplinar da manutenção.

Boas Práticas de Manutenção Mecânica	Produção	Finanças	Compras	Armazéns	RH	Média	Desvio Padrão
	Nível de conhecimento das Equipes (%)						
Dados históricos	48,61	58,33	-	5,56	-	37,50	28,09
Equipamentos críticos	78,85	40,38	34,62	0,00	-	38,46	32,29
Informação técnica	66,67	-	-	0,00	-	33,33	47,14
5 S	71,43	-	-	35,71	-	53,57	25,25
Acompanhamento a intervalos curtos	81,25	-	-	-	-	81,25	-
Despesas de manutenção	-	55,36	69,64	78,57	25,00	57,14	23,46
Capitais investidos	55,56	44,44	88,89	66,67	-	63,89	18,98
Fichas de mão-de-obra	80,88	-	67,65	51,47	23,53	55,88	24,70
Interface com a produção	89,29	-	-	-	42,86	66,07	32,83
Gestão das competências	77,50	15,00	32,50	0,00	5,00	26,00	31,35
Estratégia e política de manutenção	77,50	75,00	67,50	0,00	30,00	50,00	33,87
Gestão dos maus atores	77,50	-	77,50	-	-	77,50	0,00
Modos operatórios	76,92	-	-	46,15	42,31	55,13	18,97
Manutenção sistemática	83,93	-	-	-	23,21	53,57	42,93
Planejamento diário	-	-	-	55,56	-	55,56	-
Acompanhamento diário	-	-	-	54,17	-	54,17	-
Planejamento semanal	-	-	-	75,00	-	75,00	-
Acompanhamento semanal	-	-	-	75,00	-	75,00	-

Escala de cores: ■ Bom; ■ Regular; e ■ Ruim.

Os indicadores referentes às boas práticas de aspecto de gestão são apresentados na Tabela 6. Como pode ser observado, os indicadores que apresentaram os melhores resultados foram “plano a longo prazo”, “conservação do estoque de peças”, “integração com a produção”, “gestão dos subcontratos” e “conservação do estoque de ferramentas” com 63,9%, 63,6%, 59,7%, 59,4%, e 59,1%, respectivamente. Esses resultados apesar de apresentarem seus valores abaixo de 80%, percentual ideal para o nível, relatam justamente a mudança e os benefícios que o processo de manutenção WCM trás ao setor de manutenção, prezando o planejamento das atividades e principalmente à integração das equipes de manutenção com as equipes de produção, fazendo com que ambas trabalhem em conjunto, desta forma, o grande vencedor deste processo não será a equipe A ou B, mas sim a operação.

Os indicadores “gestão das mudanças em série”, “gestão das paradas programadas” e “enunciação dos objetivos” apresentaram os menores resultados com 47,9%, 45,9% e 47,1%, respectivamente. Tais resultados são explicados principalmente pelas avaliações das equipes de armazéns e RH, que como já mencionado, desconheciam ou não dão a devida atenção as políticas e metas seguidas pelo processo de manutenção WCM. Em comparação com as boas práticas técnicas, percebe-se que apesar das médias gerais estarem próximas (FIGURA 33) houve menor variabilidade das médias, indicando estabilidade no nível de gestão. Outro ponto que chama atenção são os valores de desvio padrão, que mostram pouca variação nos resultados das equipes avaliadoras.

Tabela 6. Indicadores de boas práticas do aspecto de gestão avaliadas pela equipe multidisciplinar da manutenção.

Boas Práticas de Manutenção Mecânica	Produção	Finanças	Compras	Armazéns	RH	Média	Desvio Padrão
	Nível de conhecimento das Equipes (%)						
Gestão a médio prazo	65,63	59,38	-	-	25,00	50,00	21,88
Plano a longo prazo	63,89	-	-	-	-	63,89	-
Gestão das mudanças em série	64,58	-	-	31,25	-	47,92	23,57
Gestão das paragens programadas	70,59	50,00	32,35	58,82	17,65	45,88	21,07
Enunciação dos objetivos	68,75	60,42	52,08	16,67	37,50	47,08	20,55
Pertinência dos indicadores	65,48	46,43	70,24	40,48	38,10	52,14	14,76
Conservação do estoque de peças	63,64	-	-	63,64	-	63,64	0,00
Conservação das ferramentas	65,91	-	-	52,27	-	59,09	9,64
Compra de peças	61,11	47,22	61,11	47,22	-	54,17	8,02
Fornecimento de peças e ferramentas	63,64	55,68	38,64	62,50	-	55,11	11,53
Gestão dos subcontratados	68,06	37,50	77,78	-	54,17	59,38	17,51
Integração com a produção	77,78	-	-	-	41,67	59,72	25,53

Escala de cores: ■ Bom; ■ Regular; e ■ Ruim.

Os indicadores de aspecto avançado, que contêm as boas práticas de maior complexidade são apresentados na Tabela 7. É possível observar que, os indicadores “manutenção condicionada”, “manutenção na concepção”, “manutenção centrada em confiabilidade” e “manutenção produtiva total” apresentaram os melhores resultados com 76,8%, 70,3%, 68,3% e 60%, respectivamente. Como mencionado, apesar do nível de boas práticas avançado possuir as atividades de manutenção mais complexas, grande parte dos indicadores foram avaliados com percentuais acima do recomendado, que foi de 50%. Desta forma, ficou clara a atenção dada às atividades que exigem maior complexidade, enquanto que as atividades básicas estão esquecidas, caso dos dados históricos, refletindo não só na dificuldade em montar um estoque adequado, como na redução do MTBF das máquinas.

Dentro do nível de boas práticas avançadas, existem dois indicadores que são fundamentais para o sucesso do processo de manutenção WCM, que apresentam resultados abaixo do esperado. O indicador “gestão da manutenção assistida por computador” é de extrema importância, pois além de facilitar na computação e processamento dos dados, possibilita agilidade na tomada de decisões. Outro fator que chama atenção é o indicador “*benckmarks*”, que apresentou média de apenas 26,3%, apontando que a companhia não pratica com afinco a boa prática de boa vizinhança, ou seja, não é realizada com frequência a troca de informações entre companhias que trabalham com o mesmo tipo de máquina, pois muitas vezes o que não se aplica em uma companhia, pode-se encaixar perfeitamente em outra.

Tabela 7. Indicadores de boas práticas do aspecto avançado avaliadas pela equipe multidisciplinar da manutenção.

Boas Práticas de Manutenção	Produção	Finanças	Compras	Armazéns	RH	Média	Desvio Padrão
Mecânica	Nível de conhecimento das Equipes (%)						
Manutenção condicionada	76,79	-	-	-	-	76,79	-
Manutenção centrada em confiabilidade – RCM	81,67	-	55,00	-	-	68,33	18,86
Manutenção produtiva total – TPM	87,50	66,67	70,83	54,17	20,83	60,00	24,93
Manutenção na concepção	68,75	71,88	-	-	-	70,31	2,21
Gestão da manutenção assistida por computador – GMAC	71,88	56,25	59,38	0,00	9,38	39,38	32,37
<i>Benckmarcks</i>	68,75	15,63	9,38	12,50	25,00	26,25	24,47

Escala de cores: ■ Bom; ■ Regular; e ■ Ruim.

Na Figura 33 é possível visualizar os resultados médios finais em cada nível do círculo dinâmico. Como pode ser visto, o nível básico ou as boas práticas técnicas apresentou uma média final 50%, considerado um resultado baixo, visto que é neste nível que se encontram as atividades básicas da manutenção de classe mundial. Tal resultado indica que são necessárias medidas principalmente nos setores de armazéns e RH, que demonstraram ser as áreas que mais podem colaborar com o processo, pois até o presente momento encontram-se distantes das demais áreas. As boas práticas de gestão e humanas apresentam 51% e 44% respectivamente, sendo que as boas práticas de gestão, assim como as técnicas, necessitam de uma atenção maior em relação às práticas avançadas, que já possuem um percentual aceitável. Contudo, é preciso focar nas boas práticas técnicas, que são os indicadores chave para a melhora dos demais indicadores, colaborando assim para a melhora do processo WCM, possibilitando aumento da disponibilidade das máquinas, do tempo entre falhas das mesmas, proporcionando maior produção e redução de custos.

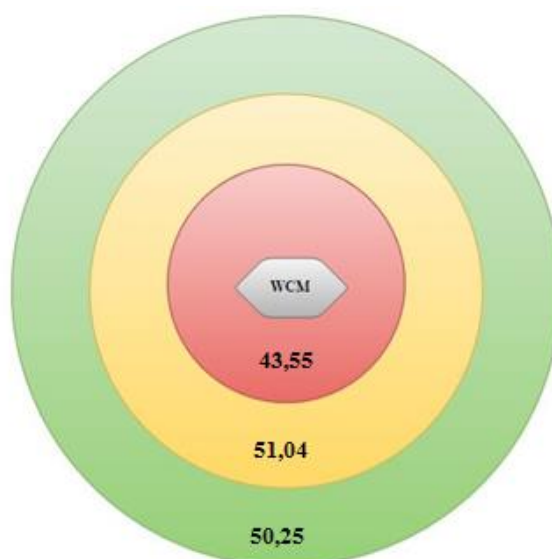





Figura 33. Indicadores finais nos níveis técnico, gestão e avançada referentes às boas práticas aplicado no processo WCM.

É importante ressaltar que, em função do primeiro estágio apresentar valor geral abaixo dos 60% (FIGURA 33), o nível de manutenção das máquinas florestais estudadas encontra-se no primeiro nível da manutenção de classe mundial (TABELA 8).

Tabela 8. Nível das boas práticas alcançado pela companhia.

Níveis de manutenção	Percentual de acertos das boas práticas (%)		
	Técnica	Gestão	Avançada
1	< 60	-	-
2	> 60	-	-
3	> 80	> 60	-
4	> 80	> 80	> 50
5	> 80	> 80	> 80

Escala de cores:  Bom;  Regular; e  Ruim.

Apesar de o resultado obtido ser considerado baixo, o mesmo reflete como a manutenção de máquinas florestais é tratada e quão grande é o desafio para a iniciativa privada e para academia. Entretanto, deve-se lembrar que o processo de manutenção WCM está apenas no primeiro ano de operação, logo, os resultados obtidos sofrerão alterações positivas, tanto para o nível em que a manutenção se encontra como também para os indicadores estudados no presente trabalho, pois o processo de manutenção WCM alia o treinamento e capacitação dos colaboradores com uma gama de atividades que proporcionam a confiabilidade do processo.

6. CONCLUSÕES

Com base na análise e discussão dos resultados, permitiu-se obter as seguintes conclusões:

- a) A realização de manutenção preventiva, treinamento de mecânicos, controle de estoques de peças, a aquisição de novas ferramentas, maior disponibilidade de materiais e análises de falhas recorrentes foram os principais aspectos que contribuíram para a maior disponibilidade mecânica no processo WCM.
- b) As atividades de manutenção preventiva foram fundamentais para o menor consumo de óleo hidráulico das máquinas no processo de manutenção WCM, pois foi possível a realização de reapertos de terminais e a substituição de mangueiras e reparos que apresentavam desgaste, evitando assim o vazamento de óleo durante a operação.
- c) O custo do processo de manutenção WCM foi ligeiramente superior ao Tradicional, explicado pelos investimentos na contratação de pessoal especializado, treinamento de operadores e mecânicos, formação do estoque de peças e ferramentas, porém sendo necessário melhorias no custo com o amadurecimento do processo no futuro.
- d) O estágio de implantação apresentou os piores resultados para os novos indicadores (MTBF, MTTR, IPR e IRE) no processo de manutenção WCM, explicada pela transição entre os processos e pela falta de estrutura nos meses iniciais, porém, nos estágios de amadurecimento e estabilização os resultados superaram as marcas obtidas no estágio de implantação do processo, mostrando a evolução do processo WCM em curto período de tempo.
- e) A avaliação de novos indicadores no processo de manutenção WCM permitiu a geração de informações importantes para a gestão das operações de manutenção de máquinas de colheita da madeira, uma vez que mostra como as máquinas respondem ao processo de manutenção WCM.
- f) A avaliação das boas práticas expôs a falta de comunicação entre as equipes que fazem parte do setor de manutenção, principalmente de armazém e recursos humanos, contribuindo para que a manutenção da empresa fosse classificada como primeiro nível da manutenção de classe mundial.
- g) Para a melhoria do processo de manutenção WCM são necessárias ações que visem à aproximação entre as equipes que compõem o setor de manutenção, desta forma, será possível praticar a melhoria contínua, permitindo uma troca entre as equipes, fomentando novas idéias para que o setor atinja seus objetivos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMAN, P.; BELBO, H.; ELIASSON, L. JONG, A.; LAZDINS, A.; LYONS, J. The cost model for calculation of forest operations costs. **International Journal of Forest Engineering** v.25. p. 75 – 81, 2014.

ALMEIDA, F. E. F. de. **Análise comparativa entre metodologias de manutenção de tratores agrícolas**. Coimbra, PT., 2013. 108f. Dissertação, ISEC (Mestrado em Equipamentos e Sistemas Mecânicos) – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Norma NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade – terminologia**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS – ABRAMAN. **Documento nacional: A situação da manutenção no Brasil**. 5º Congresso Mundial de Manutenção e Gestão de Ativos. Salvador, BA: 2013.

AVELAR, G. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. 2013. Disponível em: <<http://engeman.com.br/pt-br/artigos-tecnicos/manutencao-centrada-na-confiabilidade/>> Acesso em: 19 de outubro de 2015.

BARBOSA, C. E.; BENATO, A. T.; CAVALHEIRO, A. L.; TOREZAN, J. M. D. Diversity of Regenerating Plants in Reforestations with *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze of 12, 22, 35, and 43 Years of Age in Parana State, Brazil. **Restoration Ecology**, Malden, v. 17, n. 1, p. 60-67, 2007.

BRAIDOTTI JUNIOR, J. W. **Utilização dos indicadores de desempenho para a gestão eficaz das práticas de manutenção**. 2015. Disponível em: <<http://www.jwb.com.br/index.php?modulo=artigos&id=6>>. Acesso em: 17 de setembro de 2015.

BRANCO FILHO, G. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Ciência Moderna, 2004.

BIASOTTO, E. **Aplicação do BSC na gestão da tpm – estudo de caso em indústria de processo**. Florianópolis, SC: UFSC, 2006. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CONWAY, S. **Logging practices**; principles of timber harvesting systems. São Francisco: Miller Freeman, 1976. 416 p.

CUIGNET, R. **Gestão da manutenção**: Melhore os desempenhos operacionais e financeiros da sua manutenção. 2ª ed. Lisboa, LB: Lidel, 2006.

DARIO, M.; DA SILVA, E. M.; NETTO, M. S.; PIRES, S. R. I. Indicadores de desempenho, práticas e custos da manutenção na gestão de pneus de uma empresa de transportes. **Revista Produção Online, Florianópolis, SC**, v.14, n. 4, p.1235-1269, 2014.

FALCONI, V. **O verdadeiro poder**: Práticas de gestão que conduzem a resultados revolucionários. 2ª ed. Nova Lima, MG: Falconi, p. 31 - 59. 2009.

FERNANDES, H. C.; BURLA, E. R.; LEITE, E. S.; MINETTE, L. J. Avaliação técnica e econômica de um “*harvester*” em diferentes condições de terreno e produtividade da floresta. **Sci. For., Piracicaba**, v.41, n. 97, p. 145-151, 2013.

FITCH, J. C. **Manutenção proativa pode economizar 10 vezes mais do que práticas de manutenção preditiva/preventiva convencionais**. 2008. Disponível em <www.revistaelo.com.br/downloads/proativa.pdf>. Acesso em: 09 de outubro de 2015.

FONTES, J. M.; MACHADO, C. C. Manutenção Mecânica. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3ª ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. p. 261 - 309. 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento**, Roma, v. 2, p. 171, 1978.

FORTES, M. Z.; IMATA, V. B. A.; CARVALHO, J. T.; ALBUQUERQUE, C. J. M. **Proposta de novos Indicadores para Gestão em Setores de Manutenção**. 2009. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/artigos2009.php?pag=71>>. Acesso em: 17 de setembro de 2015.

HÄGGSTRÖM, C.; LINDROOS, O. Human, technology, organization and environment – a human factors perspective on performance in forest harvesting. **International Journal of Forest Engineering** v.27. p. 67 – 78, 2016.

HAYES, R. H.; WHEELWRIGHT, S. C. Restoring our competitive edge: competing through manufacturing. New York City, NY: **Wiley**, 427 p. 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa Mudo - Brasil com divisão de Estados.** 2015. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_escolares/mapas_mudos/brasil.pdf> Acesso em: 05 de outubro de 2015.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVOES – IBÁ. **Relatório IBÁ – 2015:** Ano base 2014.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVOES – IBÁ. **Relatório IBÁ – 2016:** Ano base 2015.

J. I. P. M. Japanese Institute of Plant Maintenance. **TPM frequently asked questions.** 2000. Disponível em: <<http://www.jipm.or.jp/en/index.html>> Acesso em: 08 de outubro de 2015.

John Deere. **TRACK FELLER BUNCHERS.** 2014. Disponível em: <http://www.deere.com/en_US/docs/non_current/feller_bunchers/853J.pdf>. Acesso em: 8 de setembro de 2015.

KARDEC, A.; NASCIF, J.; BARONI, T. **Gestão estratégica e Técnicas preditivas.** Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2002.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção função estratégica.** 4ª Edição, Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2013.

KOCH, A. **Discover the hidden machine:** OEE for production team. Amsterdam: Full Fact BV, 2007.

LIMA, G. B. A. **Aspectos da produção civil na manutenção de edifícios.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ: 1993.

LIMA, J. R. T.; SANTOS, A. A. B.; SAMPAIO, R. R. Sistemas de gestão da manutenção – uma revisão bibliográfica visando estabelecer critérios para avaliação de maturidade. **Anais, XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** São Carlos, SP: ENEGEP, 2010.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal.** 3ª ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. p. 15-42.

LOPES, E. S. **Aplicação do programa SNAP III (Scheduling and Network Analysis Program) no planejamento da colheita e do transporte florestal.** Viçosa, MG: UFV, 2001. 150 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- LOPES, E. S.; OLIVEIRA, D.; SAMPIETRO, J. A. Influence of wheel types of a skidder on productivity and cost of the forest harvesting. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 44, n. 1, p. 53 – 62. jan / mar. 2014.
- MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3ª ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. 543p.
- MALINOVSKI, R. A. **Otimização da distância de extração de madeira com "forwarder"**. 2007. 88 f. (Tese de Doutorado), Curso de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu.
- MONCHY, F. **Maintenance: method used organisations**. 2ª.Édition. Paris: Dunod, 2003.
- MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Aladon Ltd. Lutterworth, 2000.
- MOUSAVI, R.; NIKOOY, M.; NEZHAD, A. E.; ERSHADFAR, M. Evaluation of full tree skidding by HSM-904 skidder in patch of aspen plantation in Northern Iran. **Journal of Forest Science** v.58: p. 79 – 87, 2012.
- MUCHIRI, P.; PINTELON, L.; GELDERS, L.; MARTIN, H. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics* (2010), doi:10.1016/j.ijpe.2010.04.039.
- OLIVEIRA, D. **Análise operacional e custos de sistemas de colheita de madeira em povoamentos de eucalipto**. UNICENTRO, 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste. Irati, PR.
- PACCOLA, J. E. **Manutenção e operação de equipamentos móveis**. 1ª Edição. São José dos Campos. SP, 2011. 272 p.
- PERREIRA, A. N. **Avaliação de um sistema de colheita de *Pinus taeda* L. em diferentes produtividades do povoamento**. UNICENTRO, 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste. Irati, PR.
- PERREIRA, A. N.; LOPES, E. S.; DIAS, A. N. Análise técnica e de custo do *feller buncher* e *skidder* na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ci. Fl.**, v. 25, n. 4, out-dez., 2015.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

ROCHA, E. B.; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. S.; GUIMARÃES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras, **Cerne**, v.15, n3, p.372-381, 2009.

SALMERON, A. **Exploração florestal**. In: Instituto brasileiro de desenvolvimento florestal: Formação, manejo e exploração de florestas com rápido crescimento. Brasília, 1981. p. 83-123.

SCHONBERGER, R. J. **World class manufacturing**: the lessons on simplicity applied. New York: The Free Press, 1986. 253 p.

SEIXAS, E. **Confiabilidade aplicada na Manutenção**. Rio de Janeiro, RJ: Qalytek, 2002.

SILVA, G. F.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L.; SANTOS, H. N. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p.677-688, 2003.

SILVA, M.L.; JACOVINE, L.A.G.; VALVERDE, S.R. **Economia florestal**.2ª.ed. Viçosa, UFV, 2012. 178p.

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. 2008. 118 f. (Dissertação de Mestrado), Curso de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M, S, T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *harvester*. **Sci. For., Piracicaba**, v.38, n. 88, p. 611-618, dez. 2010.

SIQUEIRA, I. P. de. **Manutenção Centrada na confiabilidade**: Manual de implementação. 1ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005. 408 p.

SUZUKI, T. **TPM in process industries**. Portland: Productivity Press, 1994.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **Manutenção produtiva total**. São Paulo: IMAM, 2000.

TANAKA, O. P. Exploração e transporte da cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, n.141, p. 24-30, 1986.

TAVARES, L. A. **Administração moderna da manutenção**. Rio de Janeiro, RJ: Novo Polo, 2000.

TIGERCAT. **620 D/630 D/635 D – Skidder’s**. 2014. Disponível em: <<http://www.tigercat.com/product/635d635e-skidder/>>. Acesso em: 8 de setembro de 2015.

TREWARTHA, G. T.; HORN, L. H. An introduction to climate. 5ª ed. New York City, NY: **McGraw-Hill**, 1980. 416 p.

TRINDADE, C.; JACOVINE, L. A. G.; REZENDE, J. L. P.; SARTÓRIO, M. L. **Gestão e controle da qualidade na atividade florestal**. 2ª.ed. Viçosa, UFV, 2012. 253p.

TROJAN, F.; MARÇAL, R. F. M. **Sorting maintenance types by multi-criteria analysis to clarify maintenance concepts in POM**. Annals of POMS 27th Annual Conference, Production and Operations Management Society. Orlando – Florida – USA.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 6ª. ed. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2014. 167p.

XAVIER, J. N. **Manutenção: tipos e tendências**. 2000. Disponível em: <<http://engeman.com.br/pt-br/artigos-tecnicos/manutencao-tipos-e-tendencias/print>> Acesso em: 12 de outubro de 2015.

_____. **Manutenção Preditiva: Caminho para a excelência**. 2014. Disponível em: <http://www.engeman.com.br/site/ptb/artigostecnicos.asp/manutencaopreditiva_Nascif.zip>. Acesso em 16 de outubro de 2015.

_____. **Manutenção de Classe Mundial**. 2015. Disponível em: <<http://www.tecem.com.br/wp-content/uploads/2015/02/GP005-MANUTEN%C3%87%C3%83O-CLASSE-MUNDIAL-Julio-Nascif.pdf>> Acesso em: 3 de outubro de 2015.

YAMAGUCHI, C. T. TPM – Manutenção produtiva total. **ICAP – Instituto de Consultoria e Aperfeiçoamento Profissional**. São João Del-Rei, MG. 2005.

YAMASHINA, H. Challenge to world class manufacturing. **International Journal of Quality of Reliability Management**, Kyoto, v. 12, n. 34, p. 30-31, 2000.

WIREMAN, T. **World class maintenance management**. New York City, NY: Industrial Press Inc., 1990.

_____. **Total Productive Maintenance: an American approach**, New York City, NY: Industrial Press Inc., 1991.

_____. **Developing performance indicators for managing maintenance**, New York City, NY: Industrial Press Inc., 1998.

8. ANEXOS

Anexo 1. Questionário utilizado para avaliação das boas práticas.

Atividade Nº	Boas Práticas	A	B	C	D	E	
Dados históricos	1	Existe um sistema de registro de dados referentes à manutenção.	0	1	2	3	4
	2	Este sistema registra os tempos de avaria de todos os equipamentos, máquinas ou instalações.	0	1	2	3	4
	3	Este sistema registra os tempos de mudanças de projetos e de regulação de todos os equipamentos.	0	1	2	3	4
	4	Este sistema registra os tempos de operação em vazio e as interrupções de todos os equipamentos, máquinas ou instalações.	0	1	2	3	4
	5	Este sistema registra as reduções de velocidade (voluntárias e involuntárias) de todos os equipamentos, máquinas ou instalações.	0	1	2	3	4
	6	Este sistema registra todos os defeitos de qualidade de todos os equipamentos.	0	1	2	3	4
	7	Este sistema registra os defeitos de qualidade de todos os equipamentos.	0	1	2	3	4
	8	Este sistema registra os tempos de "rearranque" de todos os equipamentos.	0	1	2	3	4
	9	Este sistema registra a causa de cada interrupção (regra dos cinco porquês).	0	1	2	3	4
	10	Este sistema registra a causa de cada perda de força de todos os equipamentos (regra dos cinco porquês).	0	1	2	3	4
	11	Este sistema registra todos os custos de manutenção adicionais gerados pela interrupção ou perda de força (produção, mão-de-obra, produtos, sub-contratos, etc.).	0	1	2	3	4
	12	Este sistema registra as ações corretivas associadas a cada tipo de interrupção em todos os equipamentos.	0	1	2	3	4
	13	Este sistema registra todas as outras ações de manutenção (preventivas, aperfeiçoamentos, trabalhos novos, etc.).	0	1	2	3	4
	14	Este sistema é atualizado em tempo real após cada intervenção.	0	1	2	3	4
	15	A base de dados está facilmente acessível a todo o pessoal (gestão, chefia e intervenientes).	0	1	2	3	4
	16	São realizadas auditorias para verificar a confiabilidade da informações registradas.	0	1	2	3	4
	17	A organização da base de dados permite uma busca rápida e completa das informações pertinentes.	0	1	2	3	4
18	A percentagem de dados atualizados e corretos é de aproximadamente (a - 60%; b - 70%; c - 80%; d - 90%; e - 100%).	0	1	2	3	4	

Equipamentos críticos	1	Foi definido um nível de criticidade para cada equipamento.	0	1	2	3	4
	2	Esta criticidade leva em conta o impacto que uma interrupção tem na segurança.	0	1	2	3	4
	3	Esta criticidade leva em conta o impacto que uma interrupção tem no ambiente.	0	1	2	3	4
	4	Esta criticidade leva em conta o impacto que uma interrupção tem nos volumes de produção.	0	1	2	3	4
	5	Esta criticidade leva em conta o impacto que uma interrupção tem nos potenciais agravamentos e custos de manutenção.	0	1	2	3	4
	6	Esta criticidade leva em conta o impacto que uma interrupção tem nos potenciais agravamentos e custos comerciais (indenizações, transporte, etc.).	0	1	2	3	4
	7	Esta criticidade leva em conta o impacto que uma interrupção tem na qualidade.	0	1	2	3	4
	8	O nível de criticidade dos equipamentos esta formalizado.	0	1	2	3	4
	9	O nível de criticidade dos equipamentos foi formalmente comunicado ao pessoal envolvido com a operação.	0	1	2	3	4
	10	O nível de criticidade dos equipamentos é visível no próprio equipamento.	0	1	2	3	4
	11	Estes níveis de criticidade são periodicamente utilizados de forma a hierarquizar prioridades.	0	1	2	3	4
	12	Existe um procedimento de atualização deste nível de criticidade em função das mudanças de equipamentos bem como modificações técnicas que os modelos apresentam.	0	1	2	3	4
	13	Os níveis de criticidade são atualizados em aproximadamente (a - 60%; b - 70%; c - 80%; d - 90%; e - 100%) dos equipamentos.	0	1	2	3	4
Informação técnica	1	Existe uma informação técnica completa para todos os equipamentos.	0	1	2	3	4
	2	Esta informação técnica descreve todos os processos minuciosamente.	0	1	2	3	4
	3	Esta informação descreve os diferentes equipamentos necessários as referidas operações (croquis, desenhos, ciclos instrumentais, circuitos elétricos, etc.).	0	1	2	3	4
	4	Esta informação descreve a nomenclatura das instalações (discriminação da peças e componentes).	0	1	2	3	4
	5	Estas informações técnicas são atualizados em aproximadamente (a - 60%; b - 70%; c - 80%; d - 90%; e - 100%) dos equipamentos.	0	1	2	3	4
	6	Existe um processo que assegura a atualização destas informações.	0	1	2	3	4
	7	O pessoal que intervém no processo de manutenção pode consultar facilmente essas informações.	0	1	2	3	4
	8	Existe um processo formalizado que alerta qualquer alteração desta informação.	0	1	2	3	4
	9	Todas (ou as principais) peças dos equipamentos estão codificadas.	0	1	2	3	4
	10	Esta codificação é funcional, ou seja, esta ligada a uma função do processo.	0	1	2	3	4

	11	Todas (ou as principais) peças dos equipamentos estão matriculadas.	0	1	2	3	4
	12	Esta matrícula esta ligada ao objeto físico.	0	1	2	3	4
	13	Estas codificações e matrículas estão claramente visíveis ao equipamento.	0	1	2	3	4
	14	Estas codificações e matrículas estão incluídas nas informações técnicas.	0	1	2	3	4
	15	Estas codificações e matrículas estão incluídas nas fichas de mão-de-obra.	0	1	2	3	4
5 s	1	Cada trabalhador tem no seu posto de trabalho apenas o que for estritamente necessário para a realização do mesmo (<i>seiri ou organização</i>).	0	1	2	3	4
	2	Os postos de trabalho assim como os meios necessários para a realização das atividades são organizados de forma a minimizar perdas de tempos (<i>seiton ou arrumação</i>).	0	1	2	3	4
	3	Foram definidas ações formais com vista a assegurar permanentemente a higiene dos locais de trabalho (<i>seiso ou limpeza</i>).	0	1	2	3	4
	4	Foram formalizadas regras para manter os postos de trabalho arrumados e limpos (<i>seiketsu ou ordem</i>).	0	1	2	3	4
	5	As ações correspondentes aos quatro pontos anteriores estão permanentemente ativas (<i>seisuke ou rigor</i>).	0	1	2	3	4
	6	Os indicadores de medição do cumprimentos dos "5 s" são controlados.	0	1	2	3	4
	7	Estes indicadores estão presentes no local de trabalho.	0	1	2	3	4
Acompanhamento a intervalos curtos (AIC)	1	Todos os dias, ao fim da tarde é realizado um programa de atividades para se realizar no dia seguinte.	0	1	2	3	4
	2	Este programa é revisto diariamente com a produção e comunicado às várias pessoas interessadas.	0	1	2	3	4
	3	Este programa engloba as atividades de manutenção a executar pelo pessoal de manutenção interno e externo pelo pessoal de produção.	0	1	2	3	4
	4	O programa inclui atividades de manutenção preventiva (sistemática e condicionada), assim como atividades de manutenção corretivas de oportunidade (manutenção pro-ativa).	0	1	2	3	4
	5	Quando uma intervenção requer a participação de várias especialidades ou interfere na produção, o programa indica a hora de início e conclusão prevista.	0	1	2	3	4
	6	O pessoal envolvido utiliza este programa para preparar as intervenções do dia seguinte (preparação das ferramentas e peças necessárias, coordenação entre especialidades, etc.).	0	1	2	3	4
	7	Existe um sistema que permite conhecer o andamento das intervenções ao longo do dia e prever qualquer desvio do programa.	0	1	2	3	4
	8	As chefias estão plenamente conscientes da importância do acompanhamento contínuo dos trabalhos em fase de execução.	0	1	2	3	4

	9	O pessoal adere completamente ao seguinte princípio: a confiança não exclui o controle e o controle deve ser efetuado com a confiança.	0	1	2	3	4
	10	Todos os problemas susceptíveis de atrasar a execução dos trabalhos ou de afetar a sua qualidade são identificados logo que se apresentam e não ao fim do dia ou no dia seguinte.	0	1	2	3	4
	11	Há indicadores que permitem medir continuamente os desempenhos da manutenção.	0	1	2	3	4
	12	Estes indicadores são analisados com frequência adequada a sua criticidade (dia, mês, ano).	0	1	2	3	4
Despesas de manutenção	1	Todos os tipos de despesas que compõem os custos do processo de manutenção estão claramente definidos.	0	1	2	3	4
	2	O custo de pessoal de manutenção interno por nível hierárquico (chefias, técnicos, etc.) É formalmente controlado.	0	1	2	3	4
	3	O custo de pessoal de manutenção interno por grande grupo de especialistas (mecânica, eng. Elétrico, etc.) É formalmente controlado.	0	1	2	3	4
	4	O custo de pessoal externo de manutenção é formalmente controlado, separando os custos de base dos eventuais prêmios em função dos resultados.	0	1	2	3	4
	5	Os consumos de produtos industriais ligados à manutenção (peças sobressalentes, consumíveis, etc.) São formalmente controlados.	0	1	2	3	4
	6	As despesas de funcionamento da manutenção (renda, seguro, energia, etc.) E as respectivas amortizações são formalmente controladas.	0	1	2	3	4
	7	Os custos de manutenção por linha de produção são formalmente controlados.	0	1	2	3	4
	8	Os custos de manutenção por instalação são formalmente controlados.	0	1	2	3	4
	9	Os custos das "grandes paragens" são especificamente controlados.	0	1	2	3	4
	10	Os custos de diferentes tipos de manutenção (manutenção reativa e pro-ativa) são formalmente controlados.	0	1	2	3	4
	11	O controle de custos de manutenção é formalizado em um relatório mensal.	0	1	2	3	4
	12	Este relatório indica tendências ao longo de períodos representativos (em função do impacto financeiro das grandes paragens).	0	1	2	3	4
	13	Estas tendências são comunicadas a todo pessoal da manutenção (mesmo sem números exatos, se for necessário manter a confiabilidade).	0	1	2	3	4
	14	Este relatório é sistematicamente analisado.	0	1	2	3	4

Capitais investidos	1	O valor de substituição do equipamento é conhecido.	0	1	2	3	4
	2	Este valor de substituição distingue dos valores de outros equipamentos.	0	1	2	3	4
	3	Este valor de substituição é atualizado em pelo menos dois anos.	0	1	2	3	4
	4	O valor de aquisição do estoque de produtos industriais é conhecido e está atualizado.	0	1	2	3	4
	5	As depreciações de estoque de produtos industriais são conhecidas e estão atualizadas.	0	1	2	3	4
	6	Qualquer decisão de investimento tem em conta o custo total do ciclo de vida dos equipamentos.	0	1	2	3	4
	7	O pessoal esta totalmente sensibilizado para os objetivos de rentabilidade dos capitais investidos, além dos objetivos "clássicos" de margem.	0	1	2	3	4
	8	Foi definido um objetivo de custo de manutenção em relação ao valor de substituição dos equipamentos.	0	1	2	3	4
	9	Este objetivo é conhecido por todo o pessoal que intervém no processo de manutenção.	0	1	2	3	4
Fichas de mão-de-obra	1	Foi instituído um sistema de fichas de mão-de-obra.	0	1	2	3	4
	2	As intervenções de manutenção proativa são formalizadas através de fichas de mão-de-obra.	0	1	2	3	4
	3	As intervenções de manutenção reativa são formalizadas através de fichas de mão-de-obra.	0	1	2	3	4
	4	Todas as intervenções ligadas às modificações e aos trabalhos novos são formalizados através de fichas de mão-de-obra.	0	1	2	3	4
	5	As intervenções efetuadas pelo pessoal da manutenção são formalizadas através das fichas de mão-de-obra.	0	1	2	3	4
	6	As intervenções efetuadas pelo pessoal da produção são formalizadas através das fichas de mão-de-obra.	0	1	2	3	4
	7	As fichas de mão-de-obra alimentam diretamente as bases de dados históricos.	0	1	2	3	4
	8	As fichas de mão-de-obra descrevem o trabalho a executar e faz eventualmente referência a um modo operativo..	0	1	2	3	4
	9	A ficha de mão de obra indica o tempo padrão de execução de determinada atividade.	0	1	2	3	4
	10	A ficha de mão de obra apresenta uma estimativa de tempo para os trabalhos não repetitivos.	0	1	2	3	4
	11	A ficha de mão de obra indica um número de colaboradores necessários para determina atividade.	0	1	2	3	4
	12	A ficha de mão-de-obra indica as medidas de segurança a tomar e faz, eventualmente, referência a um procedimento de segurança específico.	0	1	2	3	4
	13	As fichas de mão de obra indicam as peças de reserva, os consumíveis e as ferramentas necessárias para cada atividade.	0	1	2	3	4
	14	A ficha de mão-de-obra indica um prazo de execução e um nível de prioridade.	0	1	2	3	4
	15	Os trabalhos de grande amplitude são subdivididos em diferentes fichas de mão-de-obra.	0	1	2	3	4

	16	Os mantenedores têm a possibilidade de descrever na ficha de mão-de-obra as dificuldades que encontram.	0	1	2	3	4
	17	As fichas de mão-de-obra são preenchidas corretamente em aproximadamente: (a - 60%; b - 70%; c - 80%; d - 90%; e - 100%) dos equipamentos.	0	1	2	3	4
Interface com a produção	1	Existe um planejamento diário por linha de produção e por equipe.	0	1	2	3	4
	2	Existe um planejamento semanal por linha de produção e por equipe.	0	1	2	3	4
	3	Estes planejamentos indicam as paragens necessárias para mudanças em série.	0	1	2	3	4
	4	Estes planejamentos indicam as paragens necessárias para manutenção proativa.	0	1	2	3	4
	5	Para cada uma destas paragens são claramente indicados e comunicados ao pessoal envolvido na operação bem como o tempo de duração da atividade.	0	1	2	3	4
	6	Estes planejamentos são comunicados diariamente e semanalmente as chefias e aos operadores da produção e manutenção.	0	1	2	3	4
	7	São organizadas reuniões formais de coordenação entre a produção e manutenção.	0	1	2	3	4
Gestão das competências	1	Em matéria de manutenção, as competências necessárias e as internalizáveis foram claramente definidas.	0	1	2	3	4
	2	Foi claramente definida para cada uma das competências necessárias uma carga de trabalho anual média.	0	1	2	3	4
	3	As competências do pessoal de manutenção atual estão formalizadas numa "matriz de competências".	0	1	2	3	4
	4	As competências de manutenção e do pessoal de produção estão igualmente formalizadas numa "matriz de competências".	0	1	2	3	4
	5	Estas matrizes de competências são atualizadas pelo menos anualmente.	0	1	2	3	4
	6	A diferença entre competências necessárias e existentes é formalmente quantificada pelo menos uma vez por ano.	0	1	2	3	4
	7	Esta diferença é analisada no mínimo uma vez por ano para definir as necessidades de formação.	0	1	2	3	4
	8	As formações que foram identificadas como necessárias são organizadas.	0	1	2	3	4
	9	Estas matrizes de competências são atualizadas para planejar férias.	0	1	2	3	4
	10	Estas matrizes são utilizadas para a distribuição de trabalho quotidianamente, na dupla preocupação de qualidade do trabalho e desenvolvimento dos indivíduos.	0	1	2	3	4

Estratégia e política de manutenção	1	Foi definida uma estratégia de manutenção coerente com a estratégia de produção.	0	1	2	3	4
	2	Esta estratégia é formalizada, comunicada e conhecida.	0	1	2	3	4
	3	Esta estratégia é revisada e atualizada pelo menos uma vez por ano.	0	1	2	3	4
	4	Esta estratégia define os níveis de desempenho financeiro e operacional esperados da manutenção.	0	1	2	3	4
	5	Esta estratégia define claramente o modo como os desempenhos da manutenção participam na obtenção dos objetivos da unidade de produção.	0	1	2	3	4
	6	Esta estratégia fornece uma perspectiva exata das competências e das relações com a produção.	0	1	2	3	4
	7	Os desempenhos esperados são anunciados de tal forma que cada um conhece seus objetivos.	0	1	2	3	4
	8	A estratégia de manutenção esta claramente ligada à política de manutenção de cada equipamento a fim de evitar os sub-desempenhos e os sobre desempenhos inúteis.	0	1	2	3	4
	9	As missões de manutenção, assim como os processos e procedimentos que permitem levá-las a cabo, são formalizadas, comunicadas e conhecidas e estão disponíveis.	0	1	2	3	4
	10	Existe uma definição clara, homogênea, conhecida e utilizada das noções de manutenção proativa, reativa, modificações e novos trabalhos.	0	1	2	3	4
Gestão dos maus atores	1	Existe uma classificação pelo menos mensal das despesas de manutenção.	0	1	2	3	4
	2	Existe uma classificação pelo menos mensal das perdas de produção por equipamento.	0	1	2	3	4
	3	Os equipamentos que correspondem as despesas de manutenção mais elevados são continuamente identificados.	0	1	2	3	4
	4	Os equipamentos que correspondem as perdas de produção mais elevadas são continuamente identificadas.	0	1	2	3	4
	5	Os equipamentos que correspondem aos problemas de qualidade mais importantes são continuamente identificados.	0	1	2	3	4
	6	O pessoal de produção e da manutenção recebe um informação formal e sistematicamente atualizada da identidade dos maus atores.	0	1	2	3	4
	7	As causas profundas ligadas a estes maus atores são analisadas em reuniões pelo menos mensais especificamente previstas.	0	1	2	3	4
	8	Destas análises resultam planos de ação formais.	0	1	2	3	4
	9	Estes planos de ação são controlados pelo menos mensalmente.	0	1	2	3	4
	10	O desempenho dos três principais maus atores atuais é melhor que no ano anterior.	0	1	2	3	4

Modos operatórios	1	Existem modos operatórios de manutenção.	0	1	2	3	4
	2	Estes modos operatórios são conhecidos por todo o pessoal da manutenção e estão disponíveis.	0	1	2	3	4
	3	Foram estabelecidos modos operatórios para todas as operações.	0	1	2	3	4
	4	Foram estabelecidos modos operatórios para todas as operações de manutenção proativa.	0	1	2	3	4
	5	Foram estabelecidos modos operatórios para todas as operações de manutenção reativa.	0	1	2	3	4
	6	Foram estabelecidos modos operatórios para o armazenamento de produtos industriais.	0	1	2	3	4
	7	Estes modos operatórios são compostos por <i>check-lists</i> , descrições de trabalho a realizar.	0	1	2	3	4
	8	Estes modos operatórios descrevem competências necessárias.	0	1	2	3	4
	9	Estes modos operatórios indicam o número de mantenedores necessários e os tempos ótimos de intervenção.	0	1	2	3	4
	10	Esses modos operatórios indicam as ferramentas, consumíveis e peças necessárias.	0	1	2	3	4
	11	Todos os modos operatórios estão atualizados.	0	1	2	3	4
	12	Um procedimento, conhecido e respeitado, descreve o processo de atualização dos modos operatórios.	0	1	2	3	4
	13	Os modos operatórios são sistematicamente utilizados, e portanto, respeitados.	0	1	2	3	4
Manutenção sistemática	1	Certas atividades de manutenção são realizadas de forma sistemática.	0	1	2	3	4
	2	Esta manutenção sistemática é descrita num plano.	0	1	2	3	4
	3	Este plano distingue o tempo da manutenção sistemática baseada nas horas de funcionamento do equipamento.	0	1	2	3	4
	4	A fim de otimizar os tempos de execução destas atividades algumas são reunidas em rotinas.	0	1	2	3	4
	5	Foi definido um tempo de execução para cada rotina.	0	1	2	3	4
	6	A composição das rotinas é formalmente revista pelo menos uma vez por ano em termos de conteúdo (atividades para execução).	0	1	2	3	4
	7	O plano especifica, para cada atividade, ao modo operatório correspondente.	0	1	2	3	4
	8	O plano faz referência, para cada atividade, ao modo operatório correspondente.	0	1	2	3	4
	9	A qualquer momento, é possível obter um plano atualizado para o dia, a semana ou o mês seguinte.	0	1	2	3	4
	10	O índice de execução deste plano é medido ao menos uma vez por semana.	0	1	2	3	4
	11	A natureza das atividades de manutenção sistemática é avaliada pelo menos uma vez por ano segundo um processo de análise de riscos formal.	0	1	2	3	4
	12	A frequência de atividades de manutenção sistemática é avaliada pelo menos uma vez por ano segundo um processo de riscos formal.	0	1	2	3	4

	13	As atividades de manutenção de todos os equipamentos críticos foram definidas após realização de análises AMDEC (análise dos modos de avaria, dos seus efeitos e das suas causas).	0	1	2	3	4
	14	As atividades de manutenção de todos os equipamentos foram definidas de acordo com os manuais dos fabricantes e continuamente enriquecidas com a experiência do pessoal da produção e manutenção.	0	1	2	3	4
Planejamento diário	1	Existe um planejamento diário das atividades de manutenção a serem realizadas.	0	1	2	3	4
	2	Este plano inclui por colaborador e por especialidades, as diferentes fichas de mão-de-obra (FMO) a executar.	0	1	2	3	4
	3	Para cada FMO, o planejamento indica um grau de prioridade.	0	1	2	3	4
	4	Para cada FMO, o planejamento indica um tempo de intervenção estimada.	0	1	2	3	4
	5	Para cada FMO, o planejamento indica um horário de intervenção.	0	1	2	3	4
	6	Todas as atividades de manutenção proativa, modificações e trabalhos novos estão bem integrados neste planejamento.	0	1	2	3	4
	7	Este planejamento inclui as atividades de manutenção realizadas pelo pessoal de manutenção interno, externo e eventualmente, pessoal de produção.	0	1	2	3	4
	8	Este planejamento é revisado em sua véspera.	0	1	2	3	4
	9	Cada colaborador conhece com antecedência as atividades que devem efetuar no dia e semana seguinte (exceto os casos de urgência que ocorre durante a noite).	0	1	2	3	4
Acompanhamento diário	1	Todas as manhãs é elaborado um relatório de manutenção diário do dia anterior.	0	1	2	3	4
	2	Este relatório indica o índice de planejamento.	0	1	2	3	4
	3	Este relatório indica o índice de execução do plano.	0	1	2	3	4
	4	Este relatório indica o índice de utilização do pessoal interno.	0	1	2	3	4
	5	Este relatório apresenta outros indicadores adaptados aos objetivos estratégicos da unidade de produção.	0	1	2	3	4
	6	Para cada indicador o relatório indica um objetivo e um valor histórico de referência.	0	1	2	3	4
	7	Os desvios mais importantes são objeto de um comentário escrito.	0	1	2	3	4
	8	Este relatório é comunicado a todo pessoal da manutenção.	0	1	2	3	4
	9	Este relatório é analisado de maneira formal e sistemática numa reunião diária.	0	1	2	3	4
	10	Nesta reunião são decididas ações corretivas.	0	1	2	3	4
	11	Estas ações são formalizadas num documento previsto para efeito.	0	1	2	3	4
	12	Estas ações são objeto de acompanhamento formal nas reuniões seguintes.	0	1	2	3	4

Planejamento semanal	1	Existe um planejamento semanal das atividades de manutenção a serem executadas.	0	1	2	3	4
	2	Este planejamento inclui, por dia e por colaborador, ou por especialidades, as diversas FMO a executar.	0	1	2	3	4
	3	Para cada FMO, o planejamento indica o grau de prioridade, o horário e o tempo de intervenção.	0	1	2	3	4
	4	Todas as atividades de manutenção proativa, modificações e trabalhos novos estão devidamente integradas neste planejamento.	0	1	2	3	4
	5	Este planejamento inclui as atividades de manutenção executadas pelo pessoal de manutenção interno, externo e, eventualmente o pessoal da produção.	0	1	2	3	4
	6	Este planejamento é executado o mais tardar à sexta-feira para a semana seguinte.	0	1	2	3	4
	7	Cada um sabe, à sexta-feira, os trabalhos a serem executados na semana seguinte.	0	1	2	3	4
	8	O planejamento semanal indica a discrepância entre a carga de trabalho estimada e os recursos disponíveis.	0	1	2	3	4
	9	Em situações de picos de trabalho, este planejamento é utilizado para decidir em relação a um eventual recurso à subcontratação ou para adiar certos trabalhos não urgentes.	0	1	2	3	4
	10	Em caso de carga de trabalho mínima, este planejamento é utilizado para adiantar trabalhos previstos para períodos posteriores.	0	1	2	3	4
Acompanhamento semanal	1	Todas as segundas-feiras é elaborado um relatório de manutenção semanal referente a semana anterior.	0	1	2	3	4
	2	Este relatório indica o índice de planejamento e o índice de execução do plano globalmente e por natureza de intervenção.	0	1	2	3	4
	3	Este relatório indica o índice de utilização do pessoal interno.	0	1	2	3	4
	4	Este relatório indica a evolução da "carga de espera" (<i>backlog</i>) por nível de prioridade.	0	1	2	3	4
	5	Este relatório apresenta outros indicadores adaptados aos objetivos estratégicos da unidade.	0	1	2	3	4
	6	Para cada indicador o relatório indica um objetivo e um valor histórico de referência.	0	1	2	3	4
	7	As disparidades mais importantes são objeto de um comentário escrito.	0	1	2	3	4
	8	Este relatório é comunicado a todo pessoal da manutenção.	0	1	2	3	4
	9	Este relatório é analisado de uma maneira formal e sistemática numa reunião semanal.	0	1	2	3	4
	10	Nesta reunião são decididas ações corretivas.	0	1	2	3	4
	11	Essas ações são formalizadas num documento previsto para efeito.	0	1	2	3	4
	12	Estas ações são objeto de acompanhamento formal nas reuniões seguintes.	0	1	2	3	4

Gestão a médio prazo	1	Existe um planejamento das atividades de manutenção por semana e num horizonte de três a quatro meses.	0	1	2	3	4
	2	Este planejamento a médio prazo é comunicado a produção.	0	1	2	3	4
	3	Este planejamento avalia a carga de trabalho por especialidade e por natureza de atividade.	0	1	2	3	4
	4	Este planejamento indica, por semana, os recursos disponíveis, tendo em conta as férias, o abastecimento e a formação.	0	1	2	3	4
	5	Para ajustar a carga de trabalho e calcular os recursos necessários é utilizado um índice médio histórico de utilização de pessoal.	0	1	2	3	4
	6	Este planejamento evidencia a disparidade entre os recursos disponíveis e os recursos necessários.	0	1	2	3	4
	7	Em caso de pico de trabalho, este planejamento é utilizado para decidir sobre eventual recurso a subcontratação ou para adiar certos trabalhos não urgentes.	0	1	2	3	4
	8	Nos períodos de carga mínima o planejamento tem utilizado para adiantar trabalhos previstos para datas posteriores ou para reintegrar temporariamente, a nível interno, trabalhos subcontratados (se a unidade possuir internamente as competências necessárias).	0	1	2	3	4
Plano a longo prazo	1	Foi formalizado um plano de manutenção para os três ou cinco anos seguintes.	0	1	2	3	4
	2	Em coerência com a estratégia da unidade, este plano inclui investimentos, os desinvestimentos, as paragens que a lei impõe e as outras grandes paragens programadas.	0	1	2	3	4
	3	O plano indica os custos estimados destas intervenções.	0	1	2	3	4
	4	O plano indica as datas previstas para estas intervenções, assim como a sua duração.	0	1	2	3	4
	5	O plano indica prazo máximo para a elaboração dos planejamentos de intervenções pormenorizadas e de abertura de eventuais concursos.	0	1	2	3	4
	6	Este plano é atualizado pelo menos uma vez por ano.	0	1	2	3	4
	7	A duração e a frequência das paragens previstas são questionadas pelo menos uma vez por ano.	0	1	2	3	4
	8	Este plano é elaborado em coordenação com a produção e o setor comercial.	0	1	2	3	4
	9	Este plano é comunicado e está disponível.	0	1	2	3	4
Gestão das mudanças em série	1	Foram definidos modos operatórios para as mudanças em série.	0	1	2	3	4
	2	Estes modos operatórios descrevem as etapas de execução e as competências, ferramentas e materiais necessários.	0	1	2	3	4
	3	Estes modos operatórios descrevem as operações de paragem dos equipamentos.	0	1	2	3	4
	4	Estes modos operatórios indicam o tempo de operação padrão.	0	1	2	3	4
	5	Estes modos operatórios são sistematicamente respeitados.	0	1	2	3	4
	6	Técnicas do tipo SMED para se tentar constantemente comprimir os tempos de intervenção são utilizadas.	0	1	2	3	4

Gestão das paragens programadas	7	São utilizados gabaritos, calibres e marcas visuais para regulagem rápida e correta das máquinas.	0	1	2	3	4
	8	São utilizadas técnicas de <i>pool proof</i> para evitar os erros.	0	1	2	3	4
	9	As mudanças em série são preparadas de acordo com o tempo programado.	0	1	2	3	4
	10	As mudanças em série são regularmente analisadas para corrigir desvios e descobrir novas oportunidades de compressão de tempo.	0	1	2	3	4
	11	Os horários previstos para as mudanças em série são respeitados..	0	1	2	3	4
	12	Os tempos de mudanças em série são sempre respeitados.	0	1	2	3	4
	1	Todas as paragens programadas são objeto de um planeamento pormenorizado (grandes paragens, semanais ou mensais).	0	1	2	3	4
	2	Esses planos descrevem, dia-a-dia, a atividade das diferentes especialidades que intervêm no processo, internas e externas.	0	1	2	3	4
	3	Estes planeamentos prevêm uma hora de início e uma hora de conclusão da atividade.	0	1	2	3	4
	4	Estes planos indicam claramente o caminho crítico da paragem.	0	1	2	3	4
	5	Estes planos fazem referência, para cada atividade, a modos operatórios apropriados.	0	1	2	3	4
	6	As atividades a executar durante uma paragem são formalmente classificadas em pelo menos cinco categorias: atividades legais, investimentos, modificações não curativas, atividades de manutenção proativa.	0	1	2	3	4
	7	A seleção das atividades proativas a executar, baseia-se numa análise formal dos riscos, a fim de reduzir o máximo possível o orçamento global da paragem.	0	1	2	3	4
	8	Para atividades recorrentes, são utilizadas técnicas de SMED (<i>single minute exchange of dye</i>) na tentativa de cumprir constantemente os tempos de intervenção.	0	1	2	3	4
	9	São utilizados gabaritos, calibres e marcas visuais para regulagem rápida e correta das máquinas.	0	1	2	3	4
	10	São utilizadas técnicas de <i>pool proof</i> para evitar os erros.	0	1	2	3	4
	11	São realizadas reuniões de acompanhamento e de coordenação, pelo menos, diariamente.	0	1	2	3	4
12	São realizadas análises "pós-falha" para corrigir desvios e identificar novas oportunidades de compressão de tempo.	0	1	2	3	4	
13	O índice de execução deste plano pormenorizado é medido diariamente.	0	1	2	3	4	
14	São elaborados planos específicos para enfrentar eficazmente os diversos imprevistos.	0	1	2	3	4	
15	Os tempos previstos para as paragens programadas são sempre respeitados.	0	1	2	3	4	
16	Os orçamentos previstos para as paragens programadas são sempre respeitados.	0	1	2	3	4	
17	O número de operações a realizar durante as paragens programadas é sempre respeitado.	0	1	2	3	4	

Enunciação dos objetivos	1	Os objetivos de desempenho da manutenção são enunciados por função e nível hierárquico.	0	1	2	3	4
	2	O pessoal a todos os níveis participa na enunciação dos objetivos gerais.	0	1	2	3	4
	3	Cada um compreende a sua participação na concretização dos objetivos globais da manutenção.	0	1	2	3	4
	4	Os objetivos e o controle dos indicadores-chave de desempenho (ICD) são comunicados, fixados, conhecidos e utilizados.	0	1	2	3	4
	5	Os ICD são simultaneamente financeiros e operacionais.	0	1	2	3	4
	6	Cada indicador foi formalmente definido especificando os modos de cálculo, as fontes de informação, as frequências e as responsabilidades.	0	1	2	3	4
	7	Foram definidos objetivos para cada indicador.	0	1	2	3	4
	8	Foram definidas bases históricas de referência para cada indicador.	0	1	2	3	4
	9	Todo pessoal compreende seus objetivos.	0	1	2	3	4
	10	Os indicadores (base, objetivo, e real) são integrados nos relatórios de gestão.	0	1	2	3	4
	11	Os indicadores são utilizados para orientar as decisões da gestão.	0	1	2	3	4
	12	A evolução destes indicadores é comunicada e fixada nos locais necessários.	0	1	2	3	4
Pertinência dos indicadores	1	Um indicador formal controla a evolução dos custos de manutenção por categoria (reativa e proativa) em relação aos custos de manutenção totais.	0	1	2	3	4
	2	Um indicador acompanha a evolução dos custos de manutenção por natureza (mão-de-obra interna, sub-contratação, produtos industriais) em relação aos custos de manutenção totais.	0	1	2	3	4
	3	Um indicador formal mede a evolução dos custos de manutenção por unidade produzida.	0	1	2	3	4
	4	Um indicador formal mede a evolução dos custos de manutenção em relação ao valor de substituição dos equipamentos.	0	1	2	3	4
	5	Um indicador formal mede a evolução dos custos de manutenção do valor dos <i>stocks</i> de produtos industriais em relação ao valor de substituição dos equipamentos.	0	1	2	3	4
	6	Um indicador formal mede a evolução do índice de rotação dos <i>stocks</i> de produtos industriais.	0	1	2	3	4
	7	Um indicador formal mede a evolução do índice de obsolescência dos <i>stocks</i> de produtos industriais.	0	1	2	3	4
	8	Um indicador formal mede a evolução do valor dos <i>stocks</i> de produtos industriais por destino ou destinatário.	0	1	2	3	4
	9	Um indicador formal mede o índice de ruptura de produtos industriais	0	1	2	3	4
	10	Um indicador formal mede o índice de desenvolvimento das competências existentes em relação às competências necessárias.	0	1	2	3	4
	11	Um indicador formal mede o índice de execução dos	0	1	2	3	4

	programas de formação.								
	Um indicador formal mede o índice de planejamento das								
12	atividades de manutenção (percentagem de tempo dedicado a	0	1	2	3	4			
	execução das atividades planejadas).								
13	Um indicador formal mede o índice de execução dos	0	1	2	3	4			
	planejamentos diários.								
14	Um indicador formal mede o índice de execução dos	0	1	2	3	4			
	planejamentos semanais.								
15	Um indicador formal mede o índice de utilização do pessoal	0	1	2	3	4			
	disponível.								
16	Um indicador formal mede a percentagem de tempo dedicado	0	1	2	3	4			
	as atividades de manutenção proativa.								
17	Um indicador formal mede a evolução das chamadas de	0	1	2	3	4			
	emergência.								
18	Um indicador formal mede o índice de execução dos	0	1	2	3	4			
	planejamentos de manutenção proativa.								
19	Um indicador formal mede a evolução de carga de trabalho	0	1	2	3	4			
	em espera.								
20	Um indicador formal me o índice de cumprimentos das	0	1	2	3	4			
	prioridades dos pedidos de trabalho.								
21	Um indicador formal mede a taxa de rendimento das	0	1	2	3	4			
	instalações (TRS).								
	Existem modos operatórios que descrevem regras de	0	1	2	3	4			
1	conservação dos produtos industriais.								
2	Estas regras especificam as condições físicas/climáticas.	0	1	2	3	4			
	Ótimas da conservação dos produtos.								
3	Estas regras são atualizadas e disponíveis nas diversas zonas	0	1	2	3	4			
	de armazenamento.								
4	São elaborados planos de manutenção proativa "no armazém"	0	1	2	3	4			
	para assegurar o cumprimento destas regras.								
5	A execução destes planos é controlada através de <i>chek-list</i> .	0	1	2	3	4			
6	As funções e responsabilidades pertinentes à conservação dos	0	1	2	3	4			
	produtos industriais foram claramente especificadas.								
7	Na unidade não existe nenhum estoque "pirata" que, portanto,	0	1	2	3	4			
	por definição, escape a estas regras.								
8	Todos os produtos industriais que existem na unidade podem	0	1	2	3	4			
	ser diretamente utilizados sem que seja necessário nenhum								
	trabalho de limpeza, reparação.								
9	Os estoques de produtos industriais nunca são desvalorizados	0	1	2	3	4			
	devido a deterioridade.								
10	As zonas de conservação são elas próprias mantidas em	0	1	2	3	4			
	condições ótimas (nível de umidade, poeira).								
11	O acesso as zonas de armazenamento está regulamentado e	0	1	2	3	4			
	essas regras são respeitadas.								

Conservação do estoque de peças

Conservação das ferramentas	1	Existem modos operatórios que descrevem regras de conservação das ferramentas destinadas a manutenção (caixas de ferramentas, ferramentas mais volumosas, máquinas-ferramentas ...).	0	1	2	3	4
	2	Estas regras especificam as condições físicas/climáticas. Ótimas da conservação das ferramentas.	0	1	2	3	4
	3	Estas regras são atualizadas e disponíveis nas diversas zonas de armazenamento.	0	1	2	3	4
	4	São elaborados planos de manutenção proativa "no armazém" para assegurar o cumprimento destas regras.	0	1	2	3	4
	5	A execução destes planos é controlada através de <i>chek-list</i> .	0	1	2	3	4
	6	As funções e responsabilidades pertinentes à conservação dos produtos industriais foram claramente especificadas.	0	1	2	3	4
	7	Na unidade não existe nenhum estoque de ferramentas "pirata" que, portanto, por definição, escape a estas regras.	0	1	2	3	4
	8	Todos as ferramentas que existem na unidade podem ser diretamente utilizados sem que seja necessário nenhum trabalho de limpeza, reparação.	0	1	2	3	4
	9	Os estoques de ferramentas nunca é desvalorizado devido a deterioridade.	0	1	2	3	4
	10	As zonas de conservação das ferramentas são elas próprias mantidas em condições ótimas (nível de umidade, poeira, ...).	0	1	2	3	4
	11	O acesso as zonas de armazenamento está regulamentado e essas regras são respeitadas.	0	1	2	3	4
Compra de peças	1	As funções e responsabilidades em matéria de compra de produtos industriais (e ferramentas) estão claramente definidas.	0	1	2	3	4
	2	Qualquer compra de novas referências é validada pelo serviço de compras.	0	1	2	3	4
	3	Não se faz nenhuma validação <i>a posteriori</i> , ou seja, após ao ato da compra.	0	1	2	3	4
	4	Qualquer pedido de compra é acompanhado de um caderno de encargos funcionais.	0	1	2	3	4
	5	Existem objetivos de racionalização da base de fornecedores.	0	1	2	3	4
	6	O número de fornecedores diminui de ano para ano num perímetro industrial constante.	0	1	2	3	4
	7	O serviço de compras seleciona com total independência os fornecedores adequados, cumprindo os cadernos de encargos funcionais.	0	1	2	3	4
	8	O serviço de compras fornece aos compradores uma lista completa e atualizada dos diversos fornecedores, das referências correspondentes e das condições de compra especiais (quantidade de encomenda mínima, prazo de entrega).	0	1	2	3	4
	9	Esta lista é atualizada, pelo menos mensalmente.	0	1	2	3	4
	10	Os fornecedores de produtos industriais ditos "vitais" ou estratégicos" estão claramente identificados.	0	1	2	3	4
	11	Foi instituído um processo de certificação/referenciamento de fornecedores.	0	1	2	3	4

	12	É realizado um controle de qualidade formal de cada entrega.	0	1	2	3	4
	13	O serviço de compras é formalmente informado de todas as não qualidades recebidas.	0	1	2	3	4
	14	O serviço de compras é formalmente informado de todas as não qualidades ocultas, detectadas durante a utilização dos produtos recebidos.	0	1	2	3	4
	15	O serviço de compras é formalmente informado de todos os atrasos na entrega.	0	1	2	3	4
	16	Estas informações são sistematicamente atualizadas nas negociações futuras com os fornecedores.	0	1	2	3	4
	17	Existem objetivos formais de redução dos preços de compra unitários.	0	1	2	3	4
	18	Estes preços de compra unitários diminuem globalmente de ano para ano.	0	1	2	3	4
Fornecimento de peças e ferramentas	1	As funções e responsabilidades em matéria de compra de produtos industriais (e ferramentas) estão claramente definidas.	0	1	2	3	4
	2	A gestão de aprovisionamentos na unidade de produção é homogênea, todos os aprovisionamentos estão, portanto, sujeitos a um procedimento comum.	0	1	2	3	4
	3	Todos os produtos que são objeto de aprovisionamento são previamente negociados pelas compras.	0	1	2	3	4
	4	Todos os produtos industriais foram classificados em diferentes níveis de criticidade (vital/importante/secundário).	0	1	2	3	4
	5	A cada artigo em estoque é atribuído um número de referência. Por isso, é impossível encontrar artigos não referenciados.	0	1	2	3	4
	6	Cada artigo em estoque é ligado a um equipamento ou foi definido como de utilidade geral.	0	1	2	3	4
	7	A cada artigo foi definido num lugar exato, conhecido e atualizado no armazém.	0	1	2	3	4
	8	Para cada artigo foi formalmente definido como de utilidade geral.	0	1	2	3	4
	9	Para cada artigo foi definido um limite de estoque mínimo, o qual é eventualmente igual a zero.	0	1	2	3	4
	10	O limite de estoque mínimo foi definido segundo um procedimento formal, tendo em conta, nomeadamente, os consumos históricos médios, a criticidade dos equipamentos em causa, as quantidades de encomendas mínimas e os prazos de entrega.	0	1	2	3	4
	11	Os pedidos de aprovisionamento são desencadeados segundo um procedimento formal, tendo em conta, designadamente, os consumos históricos médios, as necessidades extraordinárias pontuais, as quantidades mínimas de encomenda e os prazos de entrega.	0	1	2	3	4
	12	A definição correta dos estoques mínimos é da responsabilidade dos consumidores de produtos industriais e não do chefe do armazém.	0	1	2	3	4
	13	Os consumidores de produtos industriais são igualmente responsáveis pelo valor total dos produtos que estão a seu	0	1	2	3	4

cargo.

	14	Existe um indicador formal que controla o índice de ruptura do armazém.	0	1	2	3	4
	15	Este indicador é calculado pelo menos mensalmente.	0	1	2	3	4
	16	Foi instituído um inventário permanente e rotativo.	0	1	2	3	4
	17	Todas as saídas de estoque são imediatamente contabilizadas.	0	1	2	3	4
	18	Existem objetivos de uniformização dos produtos industriais.	0	1	2	3	4
	19	O número de referências em estoque diminui de ano para ano num perímetro industrial constante.	0	1	2	3	4
	20	O valor de estoque diminui de ano para ano num perímetro industrial constante.	0	1	2	3	4
	21	Foram celebrados acordos de consignação de estoque com certos fornecedores.	0	1	2	3	4
	22	Foram celebrados acordos de partilha de estoques com outras unidades de produção, eventualmente fora do grupo.	0	1	2	3	4
Gestão dos subcontratados	1	As funções e responsabilidades em matéria de gestão dos subcontratados da manutenção estão claramente definidas.	0	1	2	3	4
	2	O processo de recurso à subcontratação distingue claramente entre as seguintes etapas: identificação da necessidade de subcontratar, validação da necessidade, seleção do tipo de subcontrato, emissão da encomenda, preparação da OT, planejamento da OT, acompanhamento da execução, recepção dos trabalhos, acordo de pagamento, controle de pagamento.	0	1	2	3	4
	3	Estas funções sob a responsabilidade de diversas pessoas, a fim de respeitar critérios de independência e decisão.	0	1	2	3	4
	4	Nenhum subcontratado consegue contornar este processo (através de boas relações pessoais com o pessoal interno).	0	1	2	3	4
	5	Nenhum subcontratado consegue contornar este processo no organograma da unidade.	0	1	2	3	4
	6	O pessoal das empresas subcontratadas recebe as ordens de trabalho exclusivamente através da sua própria gestão.	0	1	2	3	4
	7	Os subcontratados permanentes são apenas aqueles com quem foi celebrado um contrato com objetivos de resultado, contrato esse que está claramente delimitado a um equipamento ou grupo de equipamentos.	0	1	2	3	4
	8	A identificação da necessidade de subcontratar é formal e quantificada, segundo critérios simultaneamente de competência, urgência e disponibilidade do pessoal interno.	0	1	2	3	4
	9	Nenhum trabalho urgente é executado por sub-contratados quando, no mesmo momento, para competências similares, uma parte do pessoal interno está a executar trabalhos não urgentes.	0	1	2	3	4
	10	O serviço de compras é sistematicamente informado do desempenho dos subcontratados.	0	1	2	3	4
	11	Estas informações são sistematicamente utilizadas para reforçar o "poder de negociação" das compras.	0	1	2	3	4

	12	Qualquer recurso a um subcontratado obedece a um contrato-quadro previamente negociado.	0	1	2	3	4
	13	Estes contratos-quadro definem claramente as obrigações de ambas as partes (para os subcontratados: prazos, qualidade, para a unidade: disponibilização dos equipamentos num momento especificado, coordenação com outras especialidades).	0	1	2	3	4
	14	Durante o ano a unidade não teve de pagar nenhuma indenização a subcontratados devido ao não cumprimento das suas próprias obrigações (disponibilização dos equipamentos a tempo, ...).	0	1	2	3	4
	15	É redigido pelo menos mensalmente um relatório específico sobre a subcontratação.	0	1	2	3	4
	16	Este relatório indica a evolução da subcontratação de competências e da subcontratação de capacidade.	0	1	2	3	4
	17	Este relatório mostra a evolução da subcontratação por tipo de contrato (preços unitários, concessão, contrato com objetivo de resultado).	0	1	2	3	4
	18	Este relatório indica a evolução das horas de presença dos subcontratados nas unidades, mesmo nos contratos sem ser por concessão.	0	1	2	3	4
Integração com a produção	1	A manutenção e a produção tem os objetivos comuns.	0	1	2	3	4
	2	A manutenção é considerada mais como um processo (em que intervêm diferentes funções) e menos como uma função.	0	1	2	3	4
	3	O pessoal da manutenção aceita que certas atividades de manutenção seja executada por outras funções.	0	1	2	3	4
	4	São efetivamente realizadas atividades de manutenção por outras funções.	0	1	2	3	4
	5	Existe uma distinção clara entre o pessoal da manutenção que se ocupa de atividades de longo prazo (preparação das paragens, métodos de manutenção).	0	1	2	3	4
	6	O pessoal que se ocupa da manutenção corrente esta acostumado com as zonas de produção pertinentes.	0	1	2	3	4
	7	O pessoal que se ocupa da manutenção corrente e o pessoal da produção dependem de um mesmo responsável.	0	1	2	3	4
	8	Nas oficinas, o pessoal é completamente polivalente e ocupa-se simultaneamente da produção e da manutenção dos equipamentos (manutenção autónoma).	0	1	2	3	4
	9	A integração da manutenção evita a presença permanente do pessoal da manutenção na unidade de produção e limita a chamadas de emergência às avarias.	0	1	2	3	4

Manutenção condicionada	1	Certas atividades de manutenção são realizadas de forma condicionada, ou seja, em função de determinadas condições de funcionamento das instalações.	0	1	2	3	4
	2	Estas atividades estão descritas num plano.	0	1	2	3	4
	3	Este plano distingue entre as atividades de medição das condições de funcionamento e as ações corretivas daí resultantes.	0	1	2	3	4
	4	O plano especifica a frequência e o tempo necessários para cada atividade.	0	1	2	3	4
	5	O plano faz referência, para cada atividade, ao modo operativo correspondente.	0	1	2	3	4
	6	Estas atividades são reunidas em rotinas a fim de otimizar os tempos de execução.	0	1	2	3	4
	7	Para cada rotina foi definido um tempo de execução padrão.	0	1	2	3	4
	8	A composição das rotinas é formalmente revista pelo menos uma vez por ano em termos tanto de conteúdo (atividades para execução) como formais (caminho ótimo a seguir).	0	1	2	3	4
	9	A qualquer momento, é possível obter um plano atualizado para o dia, a semana ou o mês seguinte.	0	1	2	3	4
	10	O índice de execução deste plano é medido ao menos uma vez por semana.	0	1	2	3	4
	11	A natureza das atividades de manutenção condicionada é avaliada pelo menos uma vez por ano segundo um processo de análise de riscos.	0	1	2	3	4
	12	A frequência de atividades de manutenção condicionada é avaliada pelo menos uma vez por ano segundo um processo de riscos formal.	0	1	2	3	4
	13	As atividades de manutenção condicionada de todos os equipamentos críticos foram definidas na sequência de análises AMDEC (análise dos modos de avaria, dos seus efeitos e de suas causas).	0	1	2	3	4
	14	As atividades de manutenção condicionada dos outros equipamentos foram definidas de acordo com os manuais dos construtores e continuamente enriquecidos com as experiências do pessoal da produção e manutenção.	0	1	2	3	4
RCM - manutenção centrada em confiabilidade	1	Todo o pessoal de manutenção e da produção compreende a noção de manutenção baseada no risco.	0	1	2	3	4
	2	Todo o pessoal de manutenção e da produção compreende a noção de manutenção baseada na confiabilidade.	0	1	2	3	4
	3	Cada decisão de executar ou não uma atividade de manutenção decorre da análise de risco.	0	1	2	3	4
	4	A criticidade dos riscos existentes é formalmente prevista a cada mudança conjuntural (ex: passagem de uma situação de sub-capacidade a uma situação de sobre capacidade, novas disposições legais em matéria de ambiente, evolução das competências internas do pessoal).	0	1	2	3	4
	5	Os riscos são financeiramente quantificados, integrando o custo das intervenções de manutenção internas e externas (peças e mão-de-obra).	0	1	2	3	4

	6	Os riscos são financeiramente quantificados, integrando os custos de perdas de produção (custos internos como materiais, a mão-de-obra e a energia, e custos externos, como as margens e as penalidades a pagar aos clientes).	0	1	2	3	4
	7	Os riscos são financeiramente quantificados, integrando outros custos (taxas suplementares ligadas a poluição) e os eventuais impactos na notoriedade e na imagem.	0	1	2	3	4
	8	Cada decisão de executar ou não uma atividade de manutenção decorre da análise de risco.	0	1	2	3	4
	9	Estas conclusões originam sistematicamente modificações da natureza e frequência das atividades de manutenção proativa, assim como da definição das atividades das grandes paragens.	0	1	2	3	4
	10	Todo o pessoal da manutenção considera que a sua missão principal não é atingir a excelência na manutenção corretiva e nas reparações mas assegurar uma confiabilidade perfeita das instalações.	0	1	2	3	4
	11	Reina, portanto, um estado de espírito de antecipação permanente das disfunções.	0	1	2	3	4
	12	A antecipação destas disfunções faz-se nomeadamente através do acompanhamento de indicadores como o mtbf, mtrr.	0	1	2	3	4
	13	Esses indicadores são de conhecimento de todo o pessoal da manutenção e da produção.	0	1	2	3	4
	14	A antecipação destas disfunções faz-se nomeadamente através do acompanhamento de indicadores de estabilidade e de capacidade dos processos de produção.	0	1	2	3	4
	15	O pessoal da manutenção e da produção participa regularmente em grupos de trabalho que visam melhorar a confiabilidade das instalações a seu cargo.	0	1	2	3	4
TPM - manutenção produtiva total	1	Na unidade de produção, a manutenção não é considerada um mal necessário, mas sim uma função vital para a empresa.	0	1	2	3	4
	2	Todo o pessoal da unidade (incluindo todas as funções) está perfeitamente consistente de que participa ativamente na excelência do processo de manutenção (as finanças, transmitindo informações exatas nos prazos estabelecidos, o controle da gestão, ajudando as chefias e os quadros a melhorar incessantemente os seus desempenhos financeiros, os rh participando na definição das competências pretendidas e orientando corretamente as formações).	0	1	2	3	4
	3	Os objetivos claramente fixados e conhecidos consistem em alcançar um funcionamento ótimo permanente das instalações.	0	1	2	3	4
	4	Foi definido um sistema de manutenção proativa e este sistema é respeitado em todas as instalações (críticas e não críticas).	0	1	2	3	4
	5	Na unidade, existe uma vontade explícita e respeitada de melhorar continuamente a pertinência da manutenção proativa.	0	1	2	3	4

	6	Esta vontade traduz-se na existência permanente de pequenos grupos autônomos e multifuncionais formalmente responsáveis pelos desempenhos de um determinado grupo de equipamentos.	0	1	2	3	4
Manutenção na concepção	1	A manutenção participa formalmente na concepção de novos equipamentos e nas decisões de investimento.	0	1	2	3	4
	2	Um dos objetivos desta participação consiste em facilitar a execução de atividades de manutenção corrente (limpeza, acessibilidade).	0	1	2	3	4
	3	Um dos objetivos desta participação é facilitar o comando das instalações (sistemas <i>fool proof</i> para evitar os erros, facilidade de manuseio e clareza dos relatórios de exploração, facilidade das mudanças em série).	0	1	2	3	4
	4	Um dos objetivos desta participação é melhorar a possibilidade de manutenções dos equipamentos (substituição de peças por subconjunto, auto-diagnóstico integrado).	0	1	2	3	4
	5	Um dos objetivos desta participação é melhorar a confiabilidade e a segurança das instalações.	0	1	2	3	4
	6	Um dos objetivos desta participação é otimizar o custo do ciclo de vida dos equipamentos.	0	1	2	3	4
	7	Durante os últimos 12 meses, qualquer nova instalação foi montada nos tempos previstos e os objetivos de aumento de produtividade foram atingidos ou ultrapassados.	0	1	2	3	4
	8	Durante os últimos 12 meses nenhum equipamento sofreu mortalidade infantil.	0	1	2	3	4
Gestão da man. assistida por computador - GMAC	1	O sistema de GMAC responde cabalmente às necessidades dos utilizadores (acessibilidade, tempo de resposta, custo, confiabilidade).	0	1	2	3	4
	2	Este sistema engloba as seguintes funções: planejamento e acompanhamento dos recursos humanos, gestão da manutenção proativa, gestão dos registros históricos, documentos técnicos, métodos de manutenção, processos, finanças, relatórios de exploração operacionais.	0	1	2	3	4
	3	Estas diferentes funções são corretamente utilizadas.	0	1	2	3	4
	4	O pessoal envolvido recebeu a informação necessária para as diversas funções.	0	1	2	3	4
	5	As informações do sistema estão atualizadas.	0	1	2	3	4
	6	As informações do sistema são confiáveis.	0	1	2	3	4
	7	O sistema está ligado aos sistemas de serviços de rh, finanças, produção e compras.	0	1	2	3	4
	8	O sistema é evolutivo e pode ser ajustado conforme as modificações da empresa.	0	1	2	3	4
Benckmarks	1	O <i>benckmarking</i> dos desempenhos da manutenção é uma prática constante.	0	1	2	3	4
	2	Está à disposição de todo o pessoal uma base de dados de <i>benckmarking</i> .	0	1	2	3	4
	3	Esta base de dados indica os <i>benckmarks</i> operacionais referentes a manutenção e produção.	0	1	2	3	4
	4	Esta base de dados indica os <i>benckmarks</i> financeiros referentes a manutenção e produção.	0	1	2	3	4

5	Esta base de dados distingue claramente os <i>benckmarks</i> de empresas idênticas (mesmos produtos) de empresas diferentes.	0	1	2	3	4
6	Existe um processo formal de atualização de dados.	0	1	2	3	4
7	Este processo é respeitado e os dados são atualizados pelo menos uma vez por ano.	0	1	2	3	4
8	Os <i>benckmarks</i> são constantemente utilizados para questionar os desempenhos e os modos de funcionamento.	0	1	2	3	4

Anexo 2. Resultados obtidos na análise de variância para a disponibilidade mecânica e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio
Máquina	2	0,005*
Processo	1	0,037**
Interação Máquina x Processo	2	0,005*
Erro	66	0,002
Coeficiente de Variação (%)		4,09
Qui-quadrado (χ^2)		14,49 ^{ns}

ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; e ** = significativo a 1% de probabilidade.

Máquinas	Processos	
	Tradicional	WCM
<i>Feller buncher</i>	83,1 a B	87,1 b A
<i>Skidder</i>	83,8 a B	91,3 a A
Processador	86,3 a A	88,4 ab A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 3. Resultados obtidos na análise de variância para o consumo de óleo hidráulico e teste de Tukey (P<0,05).

Fontes de variação	G.L.	Quadrado médio
Máquina	2	0,34**
Processo	1	2,77**
Interação Máquina x Processo	2	0,007 ^{ns}
Erro	71	0,01
Coeficiente de Variação (%)		19,67
Qui-quadrado (χ^2)		9,99 ^{ns}

ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; e ** = significativo a 1% de probabilidade.

Máquinas	Processos		Média
	Tradicional	WCM	
<i>Feller buncher</i>	0,85	0,44	0,64 a
<i>Skidder</i>	0,63	0,21	0,42 b
Processador	0,64	0,29	0,46 b
Média	0,71 A	0,31 B	0,51

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 4. Resultados obtidos na análise de variância para o custo médio de manutenção (R\$/m³) e teste de Tukey (P<0,05).

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio
Máquina	2	12,57**
Processo	1	0,11 ^{ns}
Interação Máquina x Processo	2	0,01 ^{ns}
Erro	66	0,13
Coeficiente de Variação (%)		15,15
Qui-quadrado (χ^2)		7,14 ^{ns}

ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; e ** = significativo a 1% de probabilidade.

Máquinas	Processos		Média
	Tradicional	WCM	
<i>Feller buncher</i>	2,37	2,44	2,41 b
<i>Skidder</i>	3,07	3,12	3,09 a
Processador	1,59	1,71	1,64 c
Média	2,34 A	2,42 A	2,95

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 5. Resultados obtidos na análise de variância para o custo médio de manutenção (R\$/hora) e teste de Tukey (P<0,05).

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio
Máquina	2	62898,32**
Processo	1	2089,86 ^{ns}
Interação Máquina x Processo	2	637,22 ^{ns}
Erro	66	6818,56
Coeficiente de Variação (%)		41,12
Qui-quadrado (χ^2)		12,60 ^{ns}

ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; e ** = significativo a 1% de probabilidade.

Máquinas	Processos		Média
	Tradicional	WCM	
<i>Feller buncher</i>	256,23	263,54	259,88 a
<i>Skidder</i>	168,55	171,20	169,87 b
Processador	161,44	183,81	172,62 b
Média	195,41 A	206,18 A	200,79

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 6. Resultados obtidos na análise de variância e teste de Tukey (P<0,05) para o MTBF (horas).

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio
Máquina	2	873,99**
Estágio	2	135,32 ^{ns}
Interação Máquina x Estágio	4	105,53 ^{ns}
Erro	45	117,13
Coeficiente de Variação (%)		31,34
Qui-quadrado (χ^2)		9,36 ^{ns}

ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; e ** = significativo a 1% de probabilidade.

Máquinas	Estágios			Média
	Implantação	Amadurecimento	Estabilização	
<i>Feller buncher</i>	24,67	28,28	26,73	26,56 b
<i>Skidder</i>	31,64	40,85	45,90	39,47 a
Processador	38,45	35,86	38,40	37,57 a
Média	31,59 A	34,99 A	37,01 A	34,53

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 7. Resultados obtidos na análise de variância e teste de Tukey (P<0,05) para o MTTR (horas).

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio
Máquina	2	5,79**
Estágio	1	0,47 ^{ns}
Interação Máquina x Estágio	2	0,21 ^{ns}
Erro	24	0,49
Coeficiente de Variação (%)		23,86
Qui-quadrado (χ^2)		12,64 ^{ns}

ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; e ** = significativo a 1% de probabilidade.

Máquinas	Estágios			Média
	Implantação	Amadurecimento	Estabilização	
<i>Feller buncher</i>	-	2,47	2,48	2,47 b
<i>Skidder</i>	-	3,55	4,12	3,83 a
Processador	-	2,47	2,65	2,56 b
Média	-	2,83 A	3,08 A	2,95

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 8. Resultados obtidos na análise de variância e teste de Tukey ($P < 0,05$) para índice de proativa (%).

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio
Máquina	2	424,96 ^{ns}
Estágio	2	8098,35 ^{**}
Interação Máquina x Estágio	4	149,52 ^{ns}
Erro	45	848,49
Coeficiente de Variação (%)		52,40
Qui-quadrado (χ^2)		11,57 ^{ns}

ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; e ** = significativo a 1% de probabilidade.

Máquinas	Estágios			Média
	Implantação	Amadurecimento	Estabilização	
<i>Feller buncher</i>	31,00	66,00	53,00	50,00 a
<i>Skidder</i>	32,67	72,67	71,00	58,78 a
Processador	31,50	78,17	64,33	58,00 a
Média	31,72 B	72,28 A	62,78 A	55,59

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 9. Resultados obtidos na análise de variância e teste de Tukey ($P < 0,05$) para índice de reativa (%).

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio
Máquina	2	424,96 ^{ns}
Estágio	2	8098,35 ^{**}
Interação Máquina x Estágio	4	149,52 ^{ns}
Erro	45	848,49
Coeficiente de Variação (%)		52,40
Qui-quadrado (χ^2)		11,57 ^{ns}

ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; e ** = significativo a 1% de probabilidade.

Máquinas	Estágios			Média
	Implantação	Amadurecimento	Estabilização	
<i>Feller buncher</i>	69,00	34,00	47,00	50,00 a
<i>Skidder</i>	67,33	27,33	29,00	41,22 a
Processador	68,50	21,83	35,67	42,00 a
Média	68,28 A	24,72 B	37,22 B	44,41

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.