

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CAMPUS SOROCABA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SOROCABA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE
SOROCABA

ALEX MAGNO GOMES SANT'ANNA

**DISPONIBILIDADE MECÂNICA DE COLHEDORAS DE CANA-DE-
AÇÚCAR: EFEITOS DO TEMPO DE USO NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO**

SOROCABA

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CAMPUS SOROCABA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SOROCABA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE
SOROCABA

ALEX MAGNO GOMES SANT'ANNA

**DISPONIBILIDADE MECÂNICA DE COLHEDORAS DE CANA-DE-
AÇÚCAR: EFEITOS DO TEMPO DE USO NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO**

Texto apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção de Sorocaba, para realização do Exame de Defesa, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientação: Prof. Dr. João Eduardo Azevedo Ramos da Silva.

SOROCABA

2020

Sant'Anna, Alex Magno Gomes

Disponibilidade mecânica de colhedoras de cana-de-açúcar: efeitos do tempo de uso na gestão da manutenção / Alex Magno Gomes Sant'Anna -- 2020. 118f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): João Eduardo Azevedo Ramos da Silva
Banca Examinadora: João Eduardo Azevedo Ramos da Silva, Marcos Milan, Nilton Luiz Menegon
Bibliografia

1. Simulação. 2. Colhedoras. 3. Disponibilidade. I. Sant'Anna, Alex Magno Gomes. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

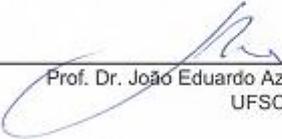
Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Alex Magno Gomes Sant'Anna, realizada em 28/01/2020:



Prof. Dr. João Eduardo Azevedo Ramos da Silva
UFSCar



Prof. Dr. Marcos Milan
USP



Prof. Dr. Nilton Luiz Menegon
UFSCar

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me direcionado após a conclusão da graduação para o mestrado. Só Ele sabe os obstáculos que enfrentei para entrar num Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e chegar ao final do programa com êxito. Lembro dos ensinamentos que tive durante os processos seletivos de outras instituições e que serviram de aprendizado para ter a aprovação na UFSCar – Campus Sorocaba.

Aos meus pais, por ter me dado todo o suporte necessário desde o início até o término do mestrado. Por toda força e incentivo nas horas que estava desestimulado.

Aos meus amigos, que se fizeram presentes mesmo de longe e que me incentivaram e contribuíram de alguma forma para chegar até o fim do mestrado. Tinha certeza que as idas ao Rio de Janeiro (RJ), sempre me renovavam com suas energias positivas e estímulo.

Ao meu orientador João Eduardo, que me ajudou a caminhar durante esse período na vida acadêmica e no desenvolvimento desta pesquisa. Grato por suas orientações, sua dedicação e sua paciência.

Aos participantes das bancas de qualificação e de defesa: Prof. Marcos Milan e Prof. Nilton Menegon por terem vindo das suas respectivas instituições para participarem e contribuírem com seus conhecimentos científicos para elaboração desta dissertação.

Aos professores do PPGEPs, grato pela contribuição de cada um na minha formação durante o mestrado.

Aos meus amigos e colegas de mestrado, por terem contribuídos com as experiências profissionais e acadêmicas. Em especial, aos meus amigos Antônio Farrapo, Hector e Geraldo por terem me acolhido no início do mestrado em Sorocaba (SP) e pela parceria tanto na vida acadêmica quanto na vida pessoal.

À UFSCar e seus funcionários. Em especial à Érica e ao Felipe pela atenção e dedicação de sempre.

RESUMO

A mecanização da colheita da cana-de-açúcar brasileira é importante para o setor sucroalcooleiro, uma vez que o Brasil é o maior produtor mundial dessa matéria prima. Para que essa posição seja mantida, é necessária uma gestão eficiente dos equipamentos envolvidos no corte, transbordo e transporte da cana-de-açúcar, como tratores transbordos, colhedoras e caminhões. As colhedoras têm um papel importante nesse processo, pois são responsáveis pelo corte, picação e limpeza da cana e todos os outros equipamentos dependem de seu bom desempenho. Neste contexto, o presente estudo visa mensurar a disponibilidade das colhedoras de cana-de-açúcar ao longo da safra e por safras sucessivas e analisar o desempenho de uma frente de colheita de cana-de-açúcar com colhedoras de diferentes idades por meio de um modelo de simulação. O modelo elaborado foi de uma frente de corte, transbordo e transporte (CTT) composta por 4 colhedoras, 8 transbordos e 6 caminhões para realizar a colheita da cana-de-açúcar e o transporte até a usina. O modelo desenvolvido foi eficaz na representação do sistema real e forneceu informações para a análise da disponibilidade. Os cenários utilizados para simulação foram compostos por: (1) colhedoras novas; (2) 4 colhedoras diferentes e mais novas: 1º ano, 2º ano, 3º ano e 4º ano de uso; (3) 4 colhedoras diferentes e mais antigas: 3º anos, 4º ano, 5º ano e 6º ano de uso; (4) 4 colhedoras com 6 anos de uso. Os resultados obtidos foram condizentes com a literatura, tendo o cenário 1 a maior disponibilidade média, de 95,9%, e a maior produção de cana-de-açúcar. Todos os cenários apresentaram decaimento em sua disponibilidade ao longo do tempo de safra, conforme aponta a literatura. Vale ressaltar também que a disponibilidade e o tempo de uso das colhedoras afetaram diretamente a produção da frente de colheita. O resultado médio obtido do grupo de seis colhedoras avaliadas, independentemente da quantidade de safras trabalhadas foi de uma redução média de 0,49% da disponibilidade ao mês. Já a perda da disponibilidade por ano trabalhado de safra apresentou uma redução de 1,75% ao ano, em média.

Palavra-chave: Disponibilidade. Simulação. Colheita.

ABSTRACT

The mechanization of the Brazilian sugarcane harvest is important for the sugar and alcohol sector, since Brazil is the world's largest producer of this raw material. For this position to be maintained, an efficient management of the equipment involved in the cutting, transshipment and transportation of sugar cane is necessary, such as overflow tractors, harvesters and trucks. Harvesters play an important role in this process, as they are responsible for cutting, chopping and cleaning the sugar cane and all other equipment depends on its good performance. In this context, the present study aims to measure the availability of sugarcane harvesters throughout the harvest and for successive harvests and to analyze the performance of a sugarcane harvesting front with harvesters of different ages through a simulation model. The model developed was a cutting, transshipment and transportation front (CTT) composed of 4 harvesters, 8 transshipments and 6 trucks to carry out the sugarcane harvest and transport to the plant. The developed model was effective in representing the real system and provided information for analysis of availability. The scenarios used for simulation were composed by: (1) new harvesters; (2) 4 different and new harvesters: 1st year, 2nd year, 3rd year and 4th year of use; (3) 4 different and older harvesters: 3rd year, 4th year, 5th year and 6th year of use; (4) 4 harvesters with 6 years of use. The results obtained were consistent with the literature, with scenario 1 having the highest average availability, 95.9%, and the highest production of sugarcane. All scenarios showed a decline in their availability over the harvest season, as shown in the literature. It is also worth mentioning that the availability and time of use of the harvesters directly affected the production of the harvest front. The average result obtained from the group of six harvesters evaluated, regardless of the number of harvests worked, was an average reduction of 0.49% in availability per month. The loss of availability per crop year worked decreased by 1.75% per year, on average.

Keyword: Availability. Simulation. Harvest.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	23
Equação 2	23
Equação 3	29
Equação 4	29
Equação 5	29
Equação 6	30
Equação 7	33
Equação 8	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os 10 maiores países produtores de cana-de-açúcar	1
Figura 2 - Comparativo de produtividade de cana-de-açúcar por região	2
Figura 3 - Estrutura do Estudo	6
Figura 4 - Representação da Revisão de Literatura	8
Figura 5 - Condução da Revisão Sistemática	9
Figura 6 - Países pesquisadores de produção de cana-de-açúcar	12
Figura 7 - Componentes e sistemas de processamento de cana – colhedora convencional de cana picada.....	13
Figura 8 - Carregamento do transbordo ao lado da colhedora	14
Figura 9 - Descarregamento do transbordo no caminhão	15
Figura 10 - Sequenciamento de Operações em frente de cana picada.....	16
Figura 11 - Tipos de Manutenção.....	21
Figura 12– Disponibilidade de manutenção das colhedoras em função da vida	24
Figura 13– Uso anual das colhedoras de cana em função da vida útil (h)	26
Figura 14– Disponibilidade de manutenção ao longo da vida, detalhado mês a mês e análise da eficiência anual	27
Figura 15 - Motivos de parada das colhedoras	31
Figura 16 - Classificação da pesquisa científica	37
Figura 17– Lógica do campo.....	43
Figura 18– Lógica da Usina	44
Figura 19 – Submodelo referente as paradas das máquinas.....	45
Figura 20– Animação da frente de colheita da cana-de-açúcar e chegada a usina	46
Figura 21– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2012	47
Figura 22 - Disponibilidade da colhedora 2012 na safra	48
Figura 23– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2013	49
Figura 24– Disponibilidade da colhedora 2013 na safra.....	50
Figura 25– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2014	51
Figura 26– Disponibilidade da colhedora 2014 na safra.....	52
Figura 27– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2015	54
Figura 28 – Disponibilidade da colhedora 2015 na safra.....	55

Figura 29– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2016	56
Figura 30– Disponibilidade da colhedora 2016 na safra.....	57
Figura 31– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2017	58
Figura 32– Disponibilidade da colhedora 2017 na safra.....	59
Figura 33 – Disponibilidade x ano de fabricação	60
Figura 34 – Comportamento da disponibilidade das 6 colhedoras na safra	61
Figura 35 – Comportamento das manutenções preventivas das colhedoras por mês	62
Figura 36– Manutenção preventiva das colhedoras por ano de fabricação	63
Figura 37– Comportamento das manutenções corretiva das colhedoras por mês	64
Figura 38 – Manutenção corretiva da colhedora por ano de fabricação.....	65
Figura 39- Curvas de duração da manutenção preventiva e manutenção corretiva.....	66
Figura 40 – Curva de Intervalo de manutenção preventiva	67
Figura 41 - Identificação do período transiente	69
Figura 42 – Correlação entre os sucessivos registros da variável “trabalhando”	69
Figura 43 – Quantidade de lotes formados em 90 dias de simulação	70
Figura 44 – Intervalo de confiança de 95% no entorno da média.....	71
Figura 45 – Disponibilidade das colhedoras na safra do cenário 1	73
Figura 46 - Disponibilidade das colhedoras na safra do cenário 2.....	76
Figura 47 - Comportamento da disponibilidade das colhedoras do cenário 2.....	77
Figura 48 - Disponibilidade das colhedoras na safra do cenário 3.....	80
Figura 49 - Comportamento da disponibilidade das colhedoras do cenário 3.....	81
Figura 50 - Disponibilidade das colhedoras na safra do cenário 4.....	83
Figura 51 – Disponibilidade dos cenários	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese dos trabalhos	10
Quadro 2 - Composições usuais para o transporte de cana	16
Quadro 3 - Fatores interferentes nas colhedoras	32
Quadro 4 – Cenários do Sistema CTT.....	40

TABELAS

Tabela 1– Dados da colhedora 2012.....	47
Tabela 2 - Dados da colhedora 2013	49
Tabela 3 - Dados da colhedora 2014	51
Tabela 4– Dados da colhedora 2015.....	53
Tabela 5– Dados da colhedora 2016.....	55
Tabela 6– Dados da colhedora 2017.....	57
Tabela 7 – Resultados do cenário 1	72
Tabela 8 – Resultados do cenário 2	74
Tabela 9 – Resultados do cenário 3	78
Tabela 10 - Resultados do cenário 4.....	82
Tabela 11 – Comparação entre cenários.....	84

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Descrição do problema	4
1.3. Objetivos	5
1.4. Estrutura metodológica	5
1.5. Organização do texto	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1. Revisão sistemática da literatura	9
2.2. Sistemas de colheita, transbordo e transporte (CTT) de cana-de-açúcar	12
2.3. Gestão de equipamentos agrícola	17
2.4. Gestão da manutenção	19
2.4.1. Indicadores de desempenho	28
2.5. Técnicas de simulação aplicadas à gestão da manutenção de sistemas	35
3. METODOLOGIA	37
3.1. Descrição do objeto de estudo	39
3.2. Forma de coleta de dados	40
3.3. Formas de análise de resultados	41
3.4. Modelo de simulação	42
3.5. Dados Gerais	46
3.5.1. Colhedora 2012	46
3.5.2. Colhedora 2013	49
3.5.3. Colhedora 2014	51
3.5.4. Colhedora 2015	53
3.5.5. Colhedora 2016	55
3.5.6. Colhedora 2017	57
3.5.7. Análise Conjunta	59
3.6. Processamento dos dados de manutenção	65
3.7. Determinação do tempo transiente e da duração da simulação	67
4. RESULTADOS	72
4.1. Cenário 1	72
4.2. Cenário 2	74
4.3. Cenário 3	77
4.4. Cenário 4	82
4.5. Comparação entre os cenários	84

5. CONCLUSÃO	88
REFERÊNCIAS	90
ANEXO A – Correlação da variável do tempo total de separação	100
APÊNDICE A – Distribuições estatísticas das operações agrícolas, operação de usina, manutenção e dados da frente de colheita	102

1. INTRODUÇÃO

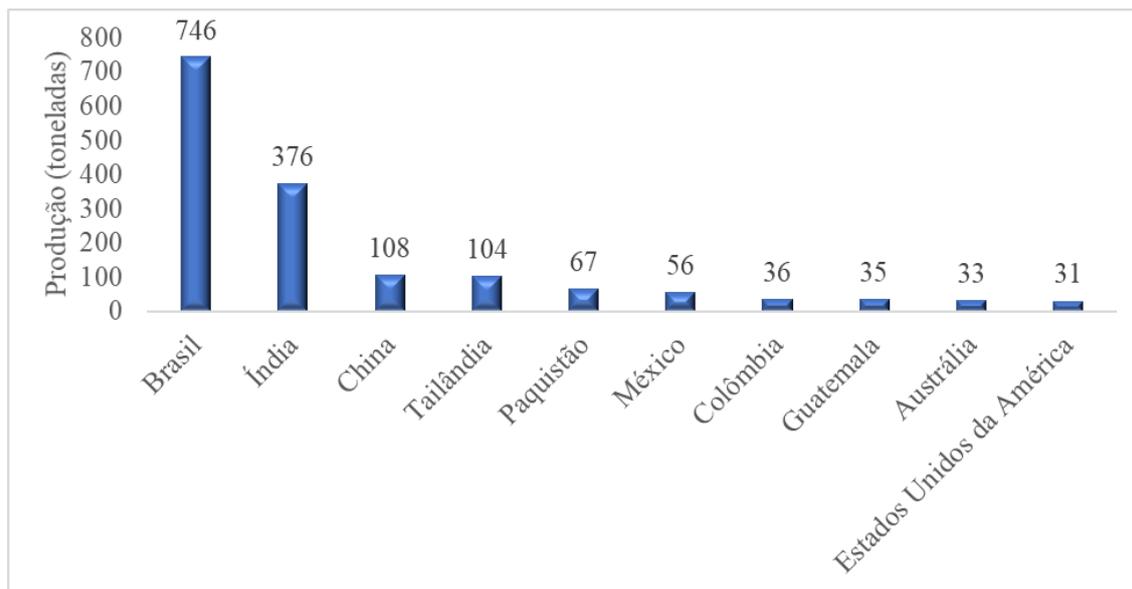
O capítulo de introdução é composto pelas subseções de contextualização, descrição do problema, objetivos, estrutura metodológica e organização do texto.

1.1. Contextualização

Para enfrentar a crise mundial do petróleo em 1975, o governo brasileiro viu como oportunidade o incentivo da produção de cana-de-açúcar a fim de substituir a gasolina por etanol. Dessa maneira, o governo brasileiro implantou o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), o que resultou em empréstimos bancários para os produtores de cana-de-açúcar e estimulou as empresas automobilísticas a desenvolverem veículos movidos a etanol (CONAB, 2018). Dessa maneira, o setor sucroalcooleiro passou a apresentar uma importância na economia nacional como fonte de riqueza e atividade geradora de empregos (SILVA, 2006).

Ao incentivar os estudos e os avanços tecnológicos sobre a produção da cana-de-açúcar, o Brasil aumentou sua produção com o decorrer do tempo e passou a exercer o papel de maior produtor do mundo, conforme apresentado na figura 1.

Figura 1 - Os 10 maiores países produtores de cana-de-açúcar

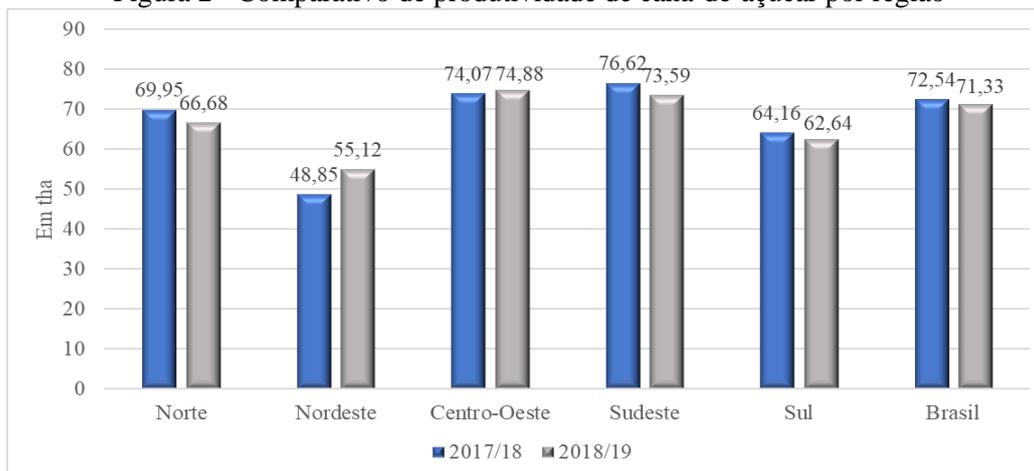


Fonte: Adaptado FAO (2018)

Para se fazer o acompanhamento de produção de cada região do Brasil, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) tem a função de levantar as informações das unidades de produção e realizar visitas. Os dados levantados pela

CONAB são referentes a área cultivada, a produtividade por unidade de área e por corte e o desempenho industrial das unidades, conforme a figura 2.

Figura 2 - Comparativo de produtividade de cana-de-açúcar por região



Fonte: CONAB (2018)

Ao analisar a figura 2, a região Norte apresentou um decréscimo de $0,27 \text{ t.ha}^{-1}$ em relação à safra de 2017/18. Por outro lado, a região Nordeste teve um aumento na sua produção com $6,27 \text{ t.ha}^{-1}$ devido ao investimento do estado de Alagoas, conforme afirma CONAB (2018). No entanto, a região Centro-Oeste mostrou um aumento de $0,81 \text{ t.ha}^{-1}$, apesar de apresentar um período de longa estiagem e bem como também altas temperaturas e baixa umidade no meio do ano de 2018 o que acarretou a aceleração da maturação e baixo crescimento e falta de peso dos colmos (CONAB, 2018). No entanto, na região Sudeste, obteve uma perda de $3,03 \text{ t.ha}^{-1}$ na safra de 2017/18 para 2018/19. Por fim, a região Sul obteve o decréscimo de $1,52 \text{ t.ha}^{-1}$ da safra de 2017/18 para 2018/19.

As regiões brasileiras contaram com o apoio da mecanização da colheita para aumentar sua produção de cana-de-açúcar e o alcance simultâneo de um produto de qualidade, com menor custo e de forma ambientalmente adequada (ROSA, 2015). Desse modo, a mecanização do corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar trouxe benefícios imediatos em termos de produtividade e de saúde, uma vez que colaborou na exclusão do processo de queima de cana-de-açúcar para a colheita e na melhoria da saúde dos trabalhadores e dos moradores da região que vivenciavam esse processo de forma direta e indireta (SCHEIDL et al., 2015).

Para regulamentar o processo de colheita da cana-de-açúcar de forma ambientalmente adequada, o Estado de São Paulo promulgou a lei nº 11.241/02 no dia 19 de setembro de 2002 que estipulou um cronograma para o término da prática da queima

do palhiço pré-colheita dentro de sua jurisdição. Complementarmente, a União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA) lançou em 2007 o Protocolo Agroambiental, de livre adesão por parte das usinas, para antecipar os prazos determinados pela Lei nº 11.241/02. Dessa forma a legislação determinou um cronograma para o término do uso de fogo como método de despalha e facilitador do corte de cana-de-açúcar, haja vista que trazia malefícios para a saúde pública e reduzia a qualidade do ar (AGUIAR et al., 2009).

Segundo Costa Neto (2006), a mecanização da colheita de cana foi inevitável, visto que uma colhedora substitui aproximadamente a 100 cortadores, podendo chegar a um rendimento de 15 a 20 t dia⁻¹ contra 5 a 6 t dia⁻¹ por pessoa. A mudança da etapa do corte, de manual para mecânico, não é somente uma mera substituição de uma técnica para outra. Em termos agrícolas significa combinar e otimizar alguns aspectos: o preparo do solo na lavoura, o dimensionamento dos equipamentos no campo, a equipe de manutenção e apoio, o treinamento do pessoal envolvido e as alterações no transporte e recepção da cana na indústria (BOMFIM RODRIGUES E GRIGOLI ABI SAAB, 2007).

Para impulsionar a produção da cana-de-açúcar, os investimentos do capital privado e público são necessários. O capital privado tem por finalidade financiar estudos de novas técnicas de plantio, manejo e modernização de equipamentos, devido às questões ambientais, econômicas e sociais. Já, o Estado tem o seu papel de ser parceiro por meio de políticas de desenvolvimento, de dar apoio à expansão da produção e incentivar o capital agroindustrial sucroalcooleiro (MURCILI JUNIOR *et al.*, 2016).

No intuito de aumentar a produção agrícola, o governo federal criou um Programa de Sustentação de Investimento (PSI) pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para o financiamento de máquinas com taxa de 3,5% ao ano e prazo de pagamento de até 8 anos. Não obstante, o PSI tinha como meta a aquisição e a produção de máquinas e equipamentos com maiores índices de eficiência energética ou que contribuam para a redução de emissão de gases de efeito estufa (CODEMEC, 2014). Desse modo, a colheita mecanizada trouxe diversas vantagens ambientais e de saúde pública, uma vez que reduziu a poluição do ar que era oriunda da queima da palha, ocasionando também a redução de problemas de saúde advindos da fuligem (MANHÃES, 2014).

A colheita mecanizada colaborou para as questões ambientais e ergonômicas do trabalhador, mas gerou uma certa preocupação para as empresas, visto que a preservação

das máquinas é fundamental para que não ocorra imprevistos no momento da colheita. Desse modo, foram observados dois ciclos no uso anual das colhedoras que são de operação e de manutenção. O ciclo de operação ocorre durante a safra e o ciclo de manutenção acontece no período de entressafra (BANCHI *et al.*, 2012).

As reformas das máquinas são feitas dentro da própria unidade produtora, o qual pode ser chamado de pátio de reforma. Neste local, encontramos os “boxes”, onde ficam as máquinas, separada individualmente. Dentro do box, a organização de peças e de tarefas é importante na atividade de manutenção, uma vez que reduz o tempo de permanência e pode ceder lugar a outro equipamento a ser reformado, em vista que o pátio se encontra em uso total de sua capacidade (BANCHI *et al.*, 2012).

Em complemento à manutenção de reforma que ocorre na entressafra, durante à safra ocorrem as paradas de manutenção preventiva e corretiva, realizadas majoritariamente no campo. A manutenção das colhedoras tem como objetivo aumentar a disponibilidade de frota, visto que amplia sua faixa de uso e prolonga vida do equipamento. Para se ter essa disponibilidade, é importante que se conheça a real e a possível carga horária da atividade operacional disponível.

Para se ter uma alta produtividade na colheita de cana-de-açúcar, é necessário que se cuide das máquinas por meio de manutenções, sendo que cada máquina apresenta um desgaste diferente, devido ao seu uso e as características dos terrenos em que atuam (BANCHI; LOPES; ROCCO, 2009). Dessa maneira, acompanhar o gerenciamento da vida dessas colhedoras colabora em evitar interrupções na operação.

1.2. Descrição do Problema

A evolução da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, fez com que se criasse um parque de máquinas destinado para preservação mecânica desses equipamentos. No uso anual das colhedoras, observaram-se dois ciclos de manutenção: o de operação, que ocorre durante a safra, e o de manutenção, que ocorre na entressafra e que pode ser chamado também de reforma ou de manutenção pesada (BANCHI *et al.*, 2012). O autor afirma que a intervenção mecânica nas máquinas é de extrema importância e faz-se necessária pelo fato de as colhedoras trabalharem de modo intenso e em condições severas durante um longo período, tendo um grande desgaste de peças e componentes.

A manutenção é descrita como um conjunto de ações realizadas para restaurar um sistema de máquinas ou equipamentos em que é capaz de desempenhar continuamente

suas funções ou missões pretendidas (SHENG E PRESCOTT, 2019). A manutenção pode ser vista como uma estrutura de apoio inter-relacionada com a finalidade de reduzir as interrupções nas operações de frotas. Dessa maneira, a manutenção tem como objetivo aumentar a confiabilidade e reduzir o tempo de inatividade das máquinas, garantindo reparos efetivos por meio das manutenções preventiva e corretiva (SHENG E PRESCOTT, 2019).

Para Banchi (2012), os reais motivos de paradas das colhedoras relacionados à manutenção são devidos às manutenções preventiva e corretiva, ao abastecimento de combustível, à lubrificação, à lavagem e limpeza da máquina e às trocas de facas. No entanto, a disponibilidade de uma máquina é baseada no tempo de operação sem interrupções esperadas e inesperadas, sendo necessário que exista o planejamento e monitoramento operacional.

Ao analisar a vida econômica da máquina, pode-se dizer que é mais curta que a operacional, uma vez que há uma acentuada tendência para que o CRM (custo com reparo e manutenção) aumente e sua produção decresça em qualidade e quantidade conforme o aumento da vida (BANCHI *et al.*, 2012).

Neste contexto, o estudo visa a análise da disponibilidade mecânica das colhedoras de cana-de-açúcar durante o período de safra e entre as safras baseado no passar do tempo de uso das máquinas. Acrescenta-se também na análise o sistema de colheita de cana de açúcar e a manutenção dos equipamentos envolvidos por meio de um modelo de simulação, visando replicar os sistemas reais de forma mais aderente à realidade.

1.3. Objetivos

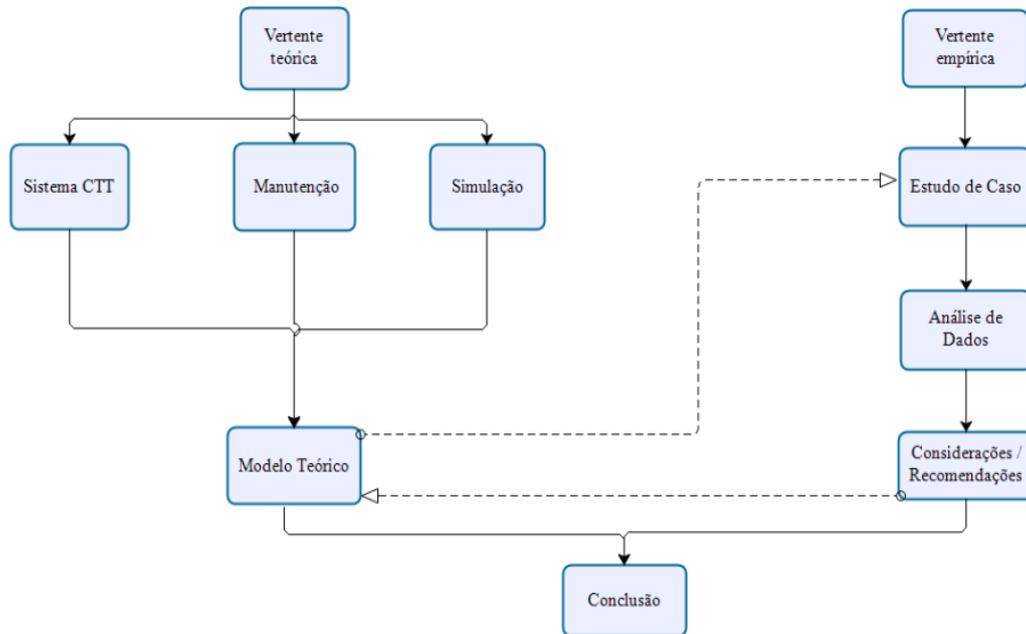
A dissertação tem por objetivo geral avaliar a disponibilidade das colhedoras automotrizes de cana-de-açúcar com diferentes tempos de uso na produção das frentes de corte ao longo da safra.

1.4. Estrutura metodológica

O estudo está baseado em duas vertentes: uma teórica e outra empírica, conforme ilustra a figura 3. A vertente teórica oferece o embasamento técnico-científico apropriado para suportar a discussão, sendo baseada em documentação científica proveniente de artigos, livros e outras fontes. Por outro lado, a vertente empírica da pesquisa almeja

oferecer a confrontação entre a teoria e a prática, observando eventuais lacunas e oportunidades de melhoria (GIL, 2010).

Figura 3 - Estrutura do Estudo



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A vertente teórica tem por finalidade em mostrar a visão macro do estudo em relação à revisão de literatura (GIL, 2010). Dessa forma, foi abordado o tópico de sistema CTT a fim de apresentar como é feita toda operação de colheita da cana-de-açúcar. Por conseguinte, apresentou-se o tópico de manutenção no objetivo de buscar o conhecimento de gerenciamento de frotas por meio de modelos de gestão e suas respectivas ferramentas para o controle da disponibilidade e do desempenho das máquinas agrícolas. Por último, o tópico de simulação de eventos discretos apresenta uma busca por trabalhos que usam a simulação em gestão de manutenção no intuito de ter como base para elaboração de um modelo teórico.

A vertente empírica apresenta a proposta do estudo de caso, onde ocorre um estudo em profundidade do que acontece na realidade das operações da colheita de cana-de-açúcar. Desse modo, os dados foram fornecidos por uma empresa parceira do ramo agrícola do interior do Estado de São Paulo para que se possa realizar o estudo e fazer análises.

Ao ter o modelo teórico obtido pela revisão de literatura, pode-se realizar a aplicação do modelo com os dados obtidos pela empresa parceira. Em seguida, realizar

as análises de dados. Caso não ocorra nenhuma anomalia, pode-se fazer as considerações e as recomendações do estudo. Caso contrário, é importante que seja revisto o modelo teórico e seja analisado e aplicado novamente os dados.

1.5. Organização do texto

O texto está estruturado em 5 capítulos.

O capítulo 1 tem caráter introdutório, onde constam a contextualização, descrição do problema, objetivos, estrutura metodológica e organização do texto.

O capítulo 2 faz parte da vertente teórica, contemplando o referencial teórico dos principais tópicos abordados no desenvolvimento do estudo. Portanto, busca-se os estudos de importância para o tema abordado com práticas já aplicadas, vantagens e desvantagens e aprendizados dos outros autores.

O capítulo 3 descreve a metodologia da pesquisa, englobando a categorização metodológica, descrição do objeto de estudo, procedimentos adotados/métodos, formas de coleta de dados, as formas de análises de resultados, a descrição do modelo de simulação desenvolvido, os dados obtidos, o processamento dos dados de manutenção e a determinação do tempo transiente e da duração da simulação.

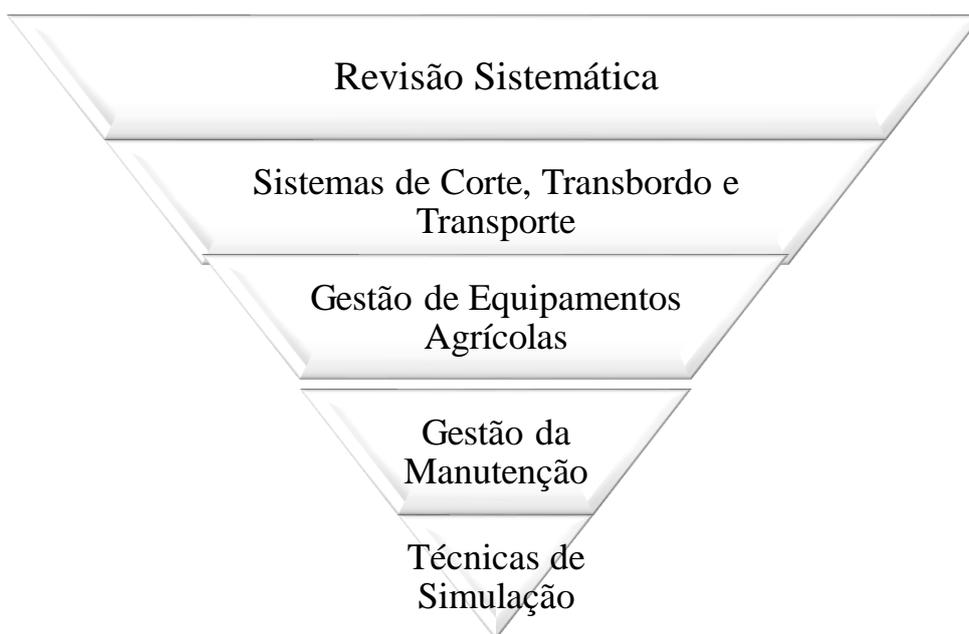
O capítulo 4 apresenta descreve os resultados obtidos do modelo de simulação com as análises de cada cenário elaborado e análise conjunta dos cenários.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais, a síntese dos resultados, limitações do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura se inicia com uma revisão sistemática, com o objetivo de apresentar a relevância do assunto no meio acadêmico e o estado da arte do tema proposto. Na sequência, subseções foram introduzidas com relação à sistema de corte, transbordo e transporte (CTT), à gestão de equipamentos agrícolas e da manutenção e às técnicas de simulação de eventos discretos aplicada à gestão da manutenção no sistema CTT, conforme apresentado na figura 4.

Figura 4 - Representação da Revisão de Literatura



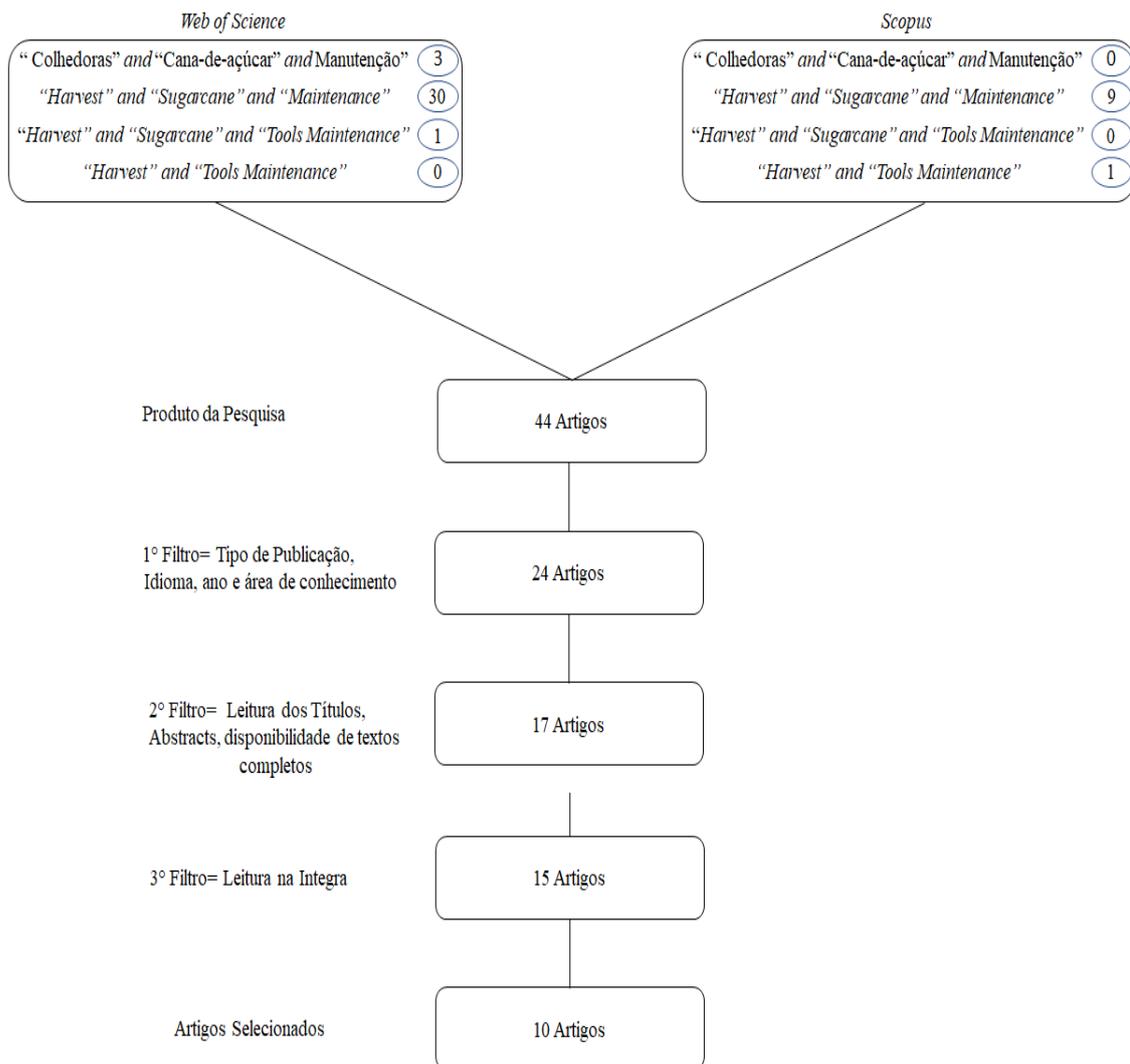
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 4 representa a forma sequencial desenvolvida na revisão de literatura com o objetivo de apresentar os referenciais teóricos para o presente estudo. Dessa forma, o sistema de Colheita, Transbordo e Transporte (CTT) permite entender a operação realizada pelos equipamentos agrícolas envolvidos na colheita da cana-de-açúcar. Por conseguinte, a gestão de equipamentos e da manutenção apresenta as contribuições para se obter a melhor produtividade dos equipamentos por meio do controle de indicadores obtidos durante a operação. Após o entendimento da literatura sobre a gestão da manutenção, as técnicas de simulação de eventos discretos permitem elaborar o modelo do sistema CTT voltado para a disponibilidade das colhedoras.

2.1. Revisão Sistemática da Literatura

Para realizar a revisão sistemática da literatura, uma busca foi realizada por trabalhos que se familiarizam com os constructos pertinentes ao tema. Desse modo, a revisão sistemática foi realizada na plataforma *Scopus* e *Web of Science* por serem consideradas referência no âmbito mundial e nacional. Em seguida, utilizou-se a ferramenta *EndNote* disponível nas páginas das plataformas para realizar os filtros dos trabalhos e a retirada de trabalhos duplicados, conforme mostrado na figura 5.

Figura 5 - Condução da Revisão Sistemática



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos critérios de busca definidos, foram encontrados 44 artigos nos idiomas inglês e português entre os anos de 2007 e 2018 na área de conhecimento de Engenharias III. A Área de Avaliação da Engenharias III classificada pela Coordenação

de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) diz respeito ao grupo da grande área das Engenharias composta por Programas de Pós-Graduação nas seguintes subáreas: Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia Aeroespacial e Engenharia Naval e Oceânica.

Ao fazer o filtro do tipo de publicação, idioma, ano e área de conhecimentos, permaneceram 24 artigos. Ao realizar a leitura dos títulos e dos resumos com disponibilidade de textos completos, a busca reduziu a 17 artigos. No entanto, foram excluídos artigos que não estavam disponíveis gratuitamente e não focalizavam a manutenção de colhedoras. Aplicou-se uma nova filtragem na qual foi feita a leitura de 15 artigos e percebeu-se que 5 artigos tiveram foco diferente em relação à dissertação, tendo aproveitamento de somente 10 artigos.

A literatura sobre o tema pode ser considerada escassa. A pesquisa realizada encontrou poucos trabalhos centrados em manutenção de colhedoras de cana-de-açúcar. A princípio é importante que se faça uma visão panorâmica dos trabalhos encontrados. Entre os 10 estudos, 6 estudos foram publicados em periódicos internacionais e 4 estudos publicados em periódicos nacionais. O quadro 1 mostra a síntese dos trabalhos encontrados.

Quadro 1 - Síntese dos trabalhos

Autores (Ano)	Método de Pesquisa	Objetivo/Enfoque
Galvão et al. (2018)	Modelagem	Determinar os parâmetros do modelo matemático do CRM em função da vida (horas de uso), utilizando o método da American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).
Ramos et al. (2018)	Modelagem	Descrever e avaliar o tempo de vida de dois componentes mais importantes da colhedora de cana-de-açúcar através da distribuição padrão de Weibull.
Bezuidenhout & Langlois (2015)	Estudo de Caso	Demonstrar abordagens para explorar o desempenho de operações de colheita mecânica de cana-de-açúcar em larga escala. Uma correlação negativa foi encontrada entre o consumo de diesel e a taxa de colheita. Um relacionamento logarítmico existia entre o tempo ocioso e o desempenho da máquina e a manutenção otimizada da máquina.

Faria & Silva (2015)	Estudo de Caso	Avaliar os efeitos da modificação da programação da manutenção dos equipamentos utilizados na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, ao se transferir as intervenções que podem ser programadas para períodos em que as máquinas estão inativas, em razão de refeições e trocas de turno dos operadores.
Najafi, Marzban e Hormozi (2015)	Estudo de Caso	Descrever a taxa de falha, o tempo médio entre falhas (MTBF) e a análise de disponibilidade para colhedoras de cana-de-açúcar.
Najafi, Marzban e Hormozi (2015)	Estudo de Caso	Descrever a análise de confiabilidade e disponibilidade de colhedoras de cana-de-açúcar através das distribuições de probabilidade como distribuição de Weibull, Exponencial e Lognormal.
Mantoam <i>et al.</i> (2014)	Estudo de Caso	Determinar a energia incorporada do ciclo de vida de uma colhedora de cana-de-açúcar: avaliando as colhedoras com roda de aço e pneus de borracha e colhedoras com trilhos de metal.
Price, Larsen e Peters (2011)	Estudo de Caso	Demonstrar o uso do sistema de sensores em colhedoras quando combinados com a eletrônica, o software e o GPS adequados.
Tomazela, Daniel e Ferreira (2010)	Estudo de Caso	Elaborar uma metodologia que permitisse garantir a confiabilidade no sistema hidráulico da colhedora de cana-de-açúcar, identificando e analisando as formas de falhas, a fim de resultar na melhoria da qualidade ambiental e socioeconômica no ambiente.
Salvi, Matos e Milan (2007)	Estudo de Caso	Avaliar o desempenho de um dispositivo de controle de corte semiautomático na base, montado sobre uma colhedora de cana-de-açúcar picada. A variabilidade da altura de corte, a base de hastes removidas e as impurezas minerais foram analisadas.

Fonte: Elaborado pelo autor

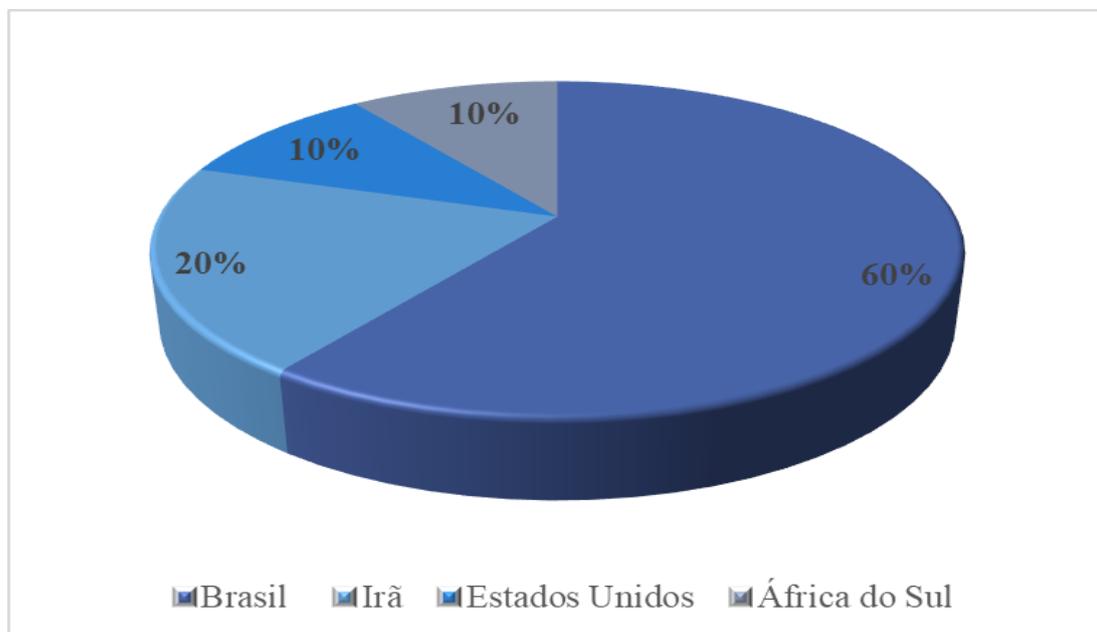
Ao analisar o quadro 1, os trabalhos realizados foram feitos por 41 autores que tiveram ênfases diferentes em suas pesquisas. Em relação ao ano de publicação, houve dois estudos publicados no ano de 2018, quatro estudos no ano de 2015, um estudo no de 2014, um estudo em 2011, um estudo no ano de 2010 e um estudo no ano de 2007. Logo,

observou um intervalo de publicação entre 2018 e 2015, no qual não foram identificados estudos nas plataformas pesquisada.

Ao analisar o tipo de estudo, os trabalhos apresentaram oito estudos de caso e dois trabalhos de modelagem. Desse modo, a maior parte dos trabalhos apresentaram o uso de ferramentas de confiabilidade e de software.

Ao analisar os locais de origem dos estudos de manutenção de colhedoras de cana- (figura 6), o Brasil apresenta 60% dos estudos selecionados, uma vez que é o primeiro colocado no ranking de produção da cana-de-açúcar. Dessa maneira, muitos pesquisadores têm apresentado interesse em desenvolver métodos melhores de colheita mecanizada e de manutenção dos equipamentos. Já o Irã apresenta 20% dos estudos e os Estados Unidos e a África do Sul apresentam 10% cada.

Figura 6 - Países pesquisadores de produção de cana-de-açúcar



Fonte: Elaborado pelo autor

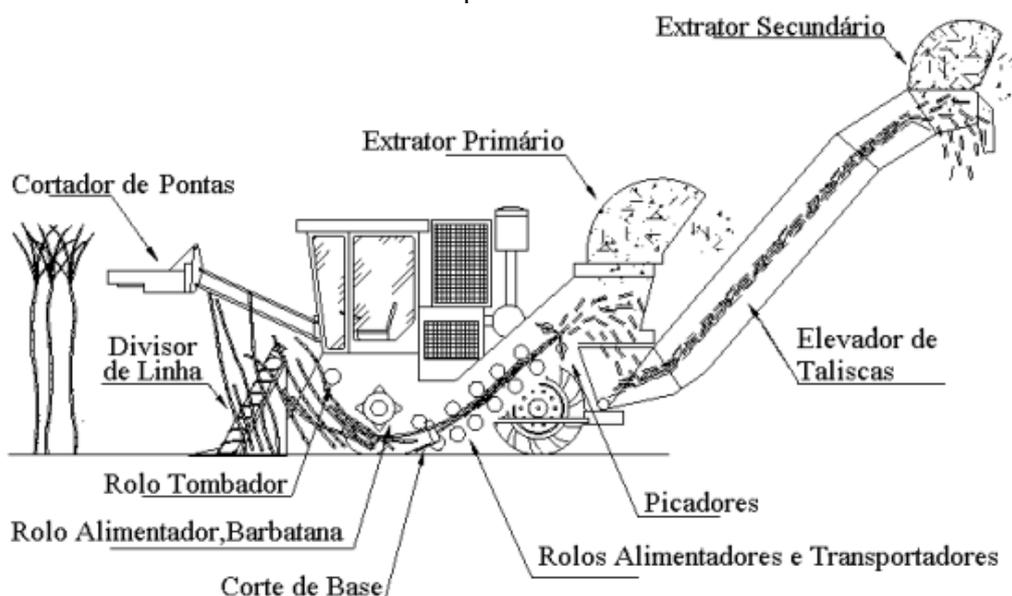
2.2. Sistemas de Colheita, Transbordo e Transporte (CTT) de cana-de-açúcar

As operações de colheita, transbordo e transporte de cana-de-açúcar (CTT) eram originalmente executadas de forma manual, evoluíram para um sistema semi-mecanizado e posteriormente para o sistema mecanizado com a utilização de máquinas auto-propelidas, caracterizados da seguinte forma, conforme Ripoli e Ripoli (2004):

- Sistema Manual: o corte e o carregamento são feitos manualmente, o qual pode existir um subsistema de transporte intermediário por tração animal ou transbordo com dispositivos específicos.
- Sistema Semi-mecanizado: envolve o corte manual e o carregamento de cana-de-açúcar inteira nas unidades de transporte por carregadoras mecânicas.
- Sistema Mecanizado: utilização de cortadoras de diversos tipos ou nas colhedoras de cana-de-açúcar inteira ou colhedoras de cana-de-açúcar picada através de um subsistema de carregamento mecânico.

A colheita mecanizada impulsionou os processos agrícolas das usinas de açúcar e etanol, uma vez que fornece com qualidade, tempo e custo competitivo a matéria prima para moagem. Dentre as máquinas que operam na colheita de cana-de-açúcar, as colhedoras apresentam as maiores paradas de manutenção, visto que as operações são consideradas de regime longo e acabam por causar fadiga e desgaste das peças (ROSA, 2015). Na figura 7, pode-se ver os componentes e sistemas de processamento de cana numa colhedora.

Figura 7 - Componentes e sistemas de processamento de cana – colhedora convencional de cana picada



Fonte: Neves (2003)

A adoção do sistema mecanizado de colheita de cana-de-açúcar picada pode trazer certos inconvenientes na operação de colheita como o aumento do índice de impurezas

na carga, o qual pode acarretar uma redução da qualidade da matéria-prima para a moagem e as perdas de cana no campo (NEVES, 2003).

A colheita de cana de açúcar consiste no resultado da atuação de um conjunto de equipamentos: colhedoras, tratores-transbordo e caminhões, que possuem um alto grau de interdependência operacional. A gestão adequada dessas máquinas e veículos, no tocante dos procedimentos de operação e de manutenção, tem sido objeto de estudo em pesquisas que visam ampliar a disponibilidade e a vida útil de tais equipamentos do sistema CTT de cana-de-açúcar (MILAN; ROSA, 2015).

Vale ressaltar a importância de se conhecer como ocorre a interdependência entre as operações envolvidas no sistema CTT, para fins de planejamento de procedimentos tanto de operação como de manutenção. Desse modo, obter o melhor uso do sistema como um todo, gera um melhor resultado global.

O início da operação de colheita de cana-de-açúcar é realizado pela colhedora que corta o colmo a partir do solo. Depois de terminado o processo de corte, é feita a picação e a limpeza da cana-de-açúcar, sendo efetuada por último a transferência da cana-de-açúcar para o transbordo. Na figura 8, pode-se ver o trator-transbordo operando em conjunto com a colhedora de cana-de-açúcar.

Figura 8 - Carregamento do transbordo ao lado da colhedora



Fonte: Próprio autor

O trator-transbordo é composto por um trator que reboca um ou mais implementos transbordos que se deslocam ao lado das colhedoras durante a operação de colheita, recebendo a cana colhida em forma de toletes ou rebolos. Após ter atingindo o nível máximo da caçamba, os tratores-transbordo se direcionam para um ponto estabelecido entre os talhões da lavoura chamado de malhador, onde são elevados através de pistões hidráulicos, para transferir a carga de cana-de-açúcar para o caminhão. Na figura 9, pode-se ver a operação de transferência.

Figura 9 - Descarregamento do transbordo no caminhão



Fonte: Próprio autor

Os modelos de caminhões para transportar a cana-de-açúcar da lavoura até a usina podem ser variados. Silva (2006) elaborou um quadro com os tipos mais usuais de composições veiculares de carga utilizadas no transporte de cana-de-açúcar (Quadro 2).

Quadro 2 - Composições usuais para o transporte de cana

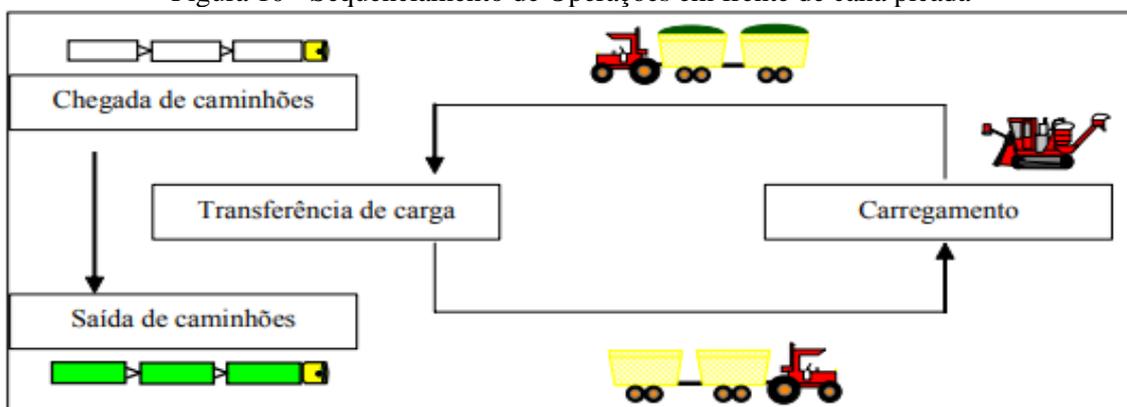
Descrição	Esquema	Nome popular
Caminhão plataforma		“Truck”
Caminhão plataforma com um reboque acoplado		“Romeu e Julieta”
Caminhão plataforma com dois reboques acoplados		“Treminhão”
Cavalo mecânico com dois semi-reboques acoplados		“Rodotrem”

Fonte: Silva (2006)

Cabe ressaltar que enquanto um trator-transbordo realiza o processo de transferência de carga para o caminhão, em geral outro trator-transbordo se encontra junto à colhedora para receber o material colhido.

Depois de ter terminado o processo de transferência, o caminhão com a carga completa se direciona para a usina e trator-transbordo segue para novo carregamento, iniciando-se novamente o ciclo, conforme apresentado na figura 10.

Figura 10 - Sequenciamento de Operações em frente de cana picada



Fonte: Silva (2006)

Assim, o balanceamento entre os recursos mecanizados como colhedoras, tratores-transbordo, e caminhões é muito importante para que não haja gargalos no sistema CTT.

2.3. Gestão de equipamentos agrícola

O processo de gestão de frotas de equipamentos agrícolas é considerado um fator estratégico para um bom desempenho das empresas. No entanto, a maior parte das empresas o trata como um fator isolado e acabam por não fazer uma distinção dos benefícios que uma gestão eficiente da frota pode acarretar no desempenho global como a melhoria na produção e a pontualidade nos serviços (BOURAHLI, MONTENEGRO E FERNANDES, 2011).

Para se ter uma gestão de frotas sob controle, é necessário que se tenha uma gestão de informação precisa, visto que as ferramentas de informação colaboram para o gerenciamento e a sobrevivência corporativa (AOE E LEAL, 2011). As empresas que utilizam de uma gestão de frotas competente e dispõem de mecanismos que facilitam acesso e integração da informação obtém vantagens competitivas como diminuição dos custos de reparo e manutenção de veículos, maximização da produtividade e vida útil dos automotores (SICHONANY *et al.*, 2011). Logo, nas atividades mecanizadas, os implementos e a monitoração do trabalho realizado pelas máquinas merecem atenção.

Para Banchi (2012), o sistema de gestão é de extrema importância para a operação agrícola, visto que são ferramentas informatizadas que auxiliam em seu gerenciamento, planejamento, programação e monitoramento. Por outro lado, intervém quando necessário nas operações já pré-estabelecidas por meio de captação de todas informações relevantes contidas no processo.

Já Campos e Belhot (1994) afirmam que a eficiência global em uma empresa que opera frota está vinculada ao desempenho da equipe de manutenção nas tarefas de planejamento, organização e execução das atividades da oficina. Faz parte do plano de manutenção reduzir as interrupções aleatórias no funcionamento das máquinas que executam os serviços.

Com o crescimento da mecanização agrícola, o aumento do número de máquinas atuando fez com que o sistema de gestão fosse consolidado, a fim de minimizar as paradas (BANCHI, 2017). Desse modo, as informações precisam ser transmitidas e analisadas para a tomada de decisão no menor tempo possível.

Segundo Bourahli, Montenegro e Fernandes (2011) e Valente, Passaglia e Novaes (1997), os fatores de relevância que devem ser observados durante toda vida útil do gerenciamento de uma frota são:

- Controle de Manutenção: é uma forma da empresa ter o registo de todos os gastos com manutenção, uma vez que permitirá o gestor contabilizar o real custo da manutenção durante a vida útil do veículo e analisar sobre a decisão de substituição;
- Controle dos dias parados: consiste nos dias que o equipamento ou veículo fica parado para manutenção. Este acompanhamento permite em saber os atrasos nos serviços e atendimentos por parte da empresa;
- Gastos com impostos e seguros: são custos referentes a IPVA, Licenciamento e Seguro Obrigatório (taxas exigidas para a circulação do veículo);
- Controle da quilometragem: colabora para indicação do momento certo para manutenções e revisões do veículo. Logo, serve de análise também para tomada de decisão sobre a troca do veículo, visto que com uma alta utilização pode apontar para um certo desgaste e um provável momento de desfazer-se do equipamento ou veículo;
- Depreciação: é relacionado a desvalorização do veículo anualmente, onde nos primeiros anos ocorre um decréscimo mais acentuado e com o passar dos anos haja uma diminuição por estar relacionado ao valor de aquisição do veículo;
- Tipos de aquisição de veículos: parcerias, terceirização e leasing;
- Distribuição dos veículos: capacidade física e carga dos veículos, distância entre saída e execução dos serviços e carga horária dos condutores de veículos;
- Controle dos custos operacionais: é a questão dos custos fixos (depreciação, impostos, salários e encargos sociais), custos variáveis (combustível, pneus, manutenção e outros) e custos administrativos (aluguel, impostos, material de escritório, diárias de viagens e outros).

O momento certo da substituição de equipamentos ou de frotas faz com que gastos excessivos e prejuízos financeiros sejam evitados, o que pode ser refletido em todo o processo de atendimento de uma operação (BOURAHLI, MONTENEGRO E FERNANDES, 2011). Dessa forma, os problemas de defeitos de equipamentos ou frotas podem surgir em momentos delicados da prestação do serviço.

Segundo Banchi *et al.* (2012), a substituição dos equipamentos pode ser um fator necessário para diminuição de seus custos e aumento de sua eficiência. O autor diz que a decisão para reforma ou substituição de uma máquina existente deve ser baseada em resultados econômicos, sempre visando minimizar os custos de produção.

Para Lima (2002), muitos gestores de frotas enfrentam dificuldades para controlar e reduzir custos de manutenção e de combustível. Os custos de manutenção são ligados a desgastes dos componentes mecânicos dos equipamentos ou das máquinas com certa idade. Quando se tem a renovação da frota, os custos de manutenção tendem a diminuir devido os veículos novos apresentam menor quantidade de falhas e de necessidade de substituição de componentes em relação aos equipamentos antigos. Por se tratarem de equipamentos mais novos, espera-se também encontrar uma redução no consumo de combustível.

Os equipamentos de transporte utilizam-se da quilometragem percorrida para registrar a vida do veículo como parâmetro para realizar as manutenções. Por outro lado, a manutenção das máquinas ou dos equipamentos, como as colhedoras e tratores utilizados no CTT, é realizada em função da vida mensurada em horas de utilização desses equipamentos.

Para Banchi (2017), o período anual ou mensal de trabalho de uma colhedora de cana-de-açúcar pode ser calculado pela soma das horas determinadas pelas diferenças de leituras dos horímetros no momento das manutenções ou no abastecimento de combustível. No entanto, quando os medidores de período (horímetro) não estejam em seu pleno funcionamento, o sistema de gerenciamento tem a capacidade de estimar o período de trabalho com base na quantidade abastecida e no consumo médio do equipamento na tarefa que está executando, tendo uma precisão razoável em seus dados (BANCHI, 2017).

2.4. Gestão da manutenção

A gestão de manutenção representa um importante papel nas empresas, visto que a mesma auxilia o andamento das atividades executadas por maquinários, equipamentos ou frotas de veículos no objetivo de alcançar a melhor produtividade possível da organização.

Existem diversas termologias para definir e conceituar as ideias, os componentes ou estados da área de manutenção. Dessa forma, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1971, p.10) define manutenção como sendo:

“o conjunto de todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição especificada. Essa associação também define defeito como sendo uma ocorrência no equipamento que não impede seu funcionamento, todavia podem, a curto ou longo prazo, acarretar sua indisponibilidade. E as falhas são definidas como ocorrências que impedem o funcionamento de equipamentos. Definem-se também os seguintes termos: taxa de falhas, vida útil, índice de confiabilidade, índice de disponibilidade, manutenção preventiva e manutenção corretiva”.

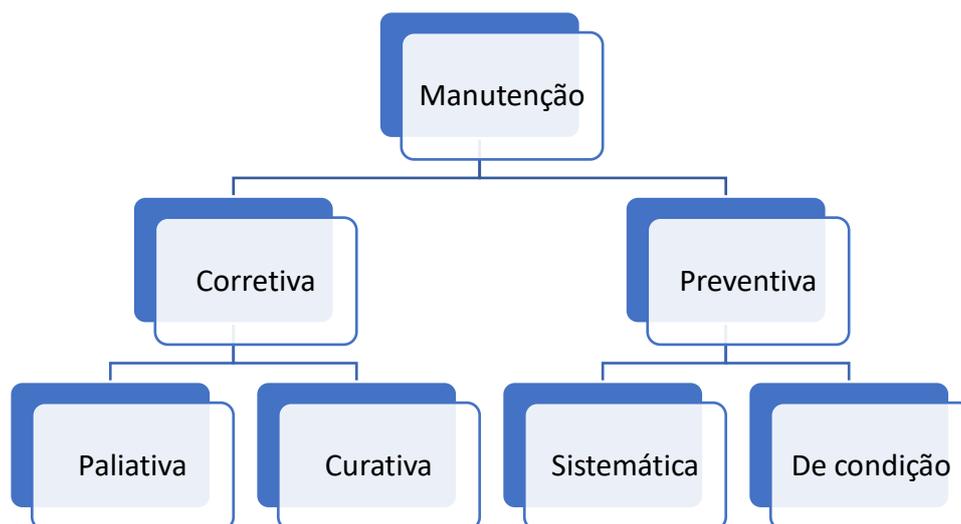
Para Vieira (1991), o serviço de manutenção é um processo caro com gastos significativos ao longo da vida operacional dos equipamentos e das instalações. Além disso, pode ser considerado como um processo do tipo “mão-de-obra intensiva” que continuará mesmo que incorpore ainda mais os avanços tecnológicos.

Segundo Campos e Belhot (1994), uma empresa necessita de um plano de manutenção a curto prazo que pode variar de alguns dias até meses, a fim de que sejam adotadas políticas de manutenção apropriadas para as operações de reparo, substituição e recondicionamento dos sistemas e componentes, de modo que o processo decisório final seja maior que o favorecido. Logo, o plano de manutenção tem que estar alinhado com a estratégia de controles de recursos adotados pela empresa, uma vez que o custo de manutenção influencia sensivelmente as estruturas organizacionais e administrativas. Desse modo, em um plano de manutenção devem estar presentes sete condições:

- a) estudar as condições reais de funcionamento dos equipamentos;
- b) analisar as falhas e defeitos observados, sobretudo as falhas mais frequentes;
- c) analisar um sistema apropriado de lubrificação e normalização dos lubrificantes utilizados;
- d) estudar o estoque mínimo de peças de reposição para evitar perdas de produção;
- e) estudar as ferramentas especiais necessárias à manutenção e ao conserto dos equipamentos;
- f) estudar possíveis modificações nas instalações, para permitir uma manutenção mais fácil e rápida;
- g) estudar possíveis modificações de layout da oficina, de modo a evitar perda de tempo.

Ao realizar um plano de manutenção, o gestor pode aplicar diversas políticas de manutenção, conforme apresentado na figura 11.

Figura 11 - Tipos de Manutenção



Fonte: Adaptado de Monchy (1989)

Para Monchy (1989), a manutenção pode ocorrer de duas formas: preventiva e corretiva. A manutenção preventiva, que também pode ser chamada de planejada, ocorre quando se tem a intenção de reduzir a probabilidade de falha e manter em funcionamento o equipamento ou o serviço. Já a manutenção corretiva, também conhecida como não planejada, acontece quando se tem uma quebra inesperada e que gera a parada no meio de produção, podendo acarretar perdas de produção.

A manutenção corretiva pode ser dividida em duas formas: paliativa e curativa. A manutenção corretiva paliativa consiste em reestabelecer uma condição provisória de funcionamento antes de uma reparação adequada quando a máquina ou o equipamento falha em condições de uso normal. Por outro lado, manutenção corretiva curativa consiste no reparo após a falha, porém é uma reparação mais adequada visando o restabelecimento da função da máquina ou do equipamento (MONCHY, 1989).

A manutenção preventiva se divide em sistemática e de condição. A manutenção preventiva sistemática consiste num intervalo fixo de tempo para realizar as operações de manutenção. As principais vantagens desse tipo de manutenção são o custo de cada operação de manutenção já ser predeterminado e as operações e as paradas são programadas de acordo com a produção (CAMPOS E BELHOT, 1994)

A manutenção preventiva de condição consiste em função do estado dos componentes das máquinas ou dos equipamentos que pode ser visto a olho nu ou através de sensores. As principais vantagens dessa manutenção são o aumento da longevidade, controle mais eficaz de peças, menor custo de reparação e aumento da produtividade (LIMA, SANTOS E SAMPAIO, 2010).

De acordo com Monchy (1989), os objetivos da manutenção corretiva são:

- Aumentar a confiabilidade de um equipamento e assim reduzir suas falhas em serviços: redução dos custos de falha e melhoria da disponibilidade.
- Aumentar a duração da vida eficaz de um equipamento;
- Melhorar o planejamento dos trabalhos;
- Reduzir e regularizar a carga de trabalho;
- Facilitar a gerência de estoques;
- Aumentar a segurança;
- Reduzir as surpresas e melhorar o clima das relações humanas, visto que uma pane imprevista sempre gera tensões;

Segundo Banchi (2017), o equipamento agrícola requer constante manutenção, o qual acarreta o uso um intervalo significativo de tempo para essa atividade e que poderá vir influenciar futuramente na eficiência operacional. Logo, é importante calcular sua eficiência operacional.

Para Banchi, Lopes e Rocco (2009d), a eficiência de disponibilidade de manutenção é definida como um processo de quantificação do desempenho do setor de manutenção, pois fornece o tempo que um equipamento está disponível para a área operacional num determinado período. Segundo os autores, deve-se definir inicialmente o conceito de indisponibilidade de manutenção, uma vez que é o complemento da base de 100% da disponibilidade. Por fim, os autores definem que a indisponibilidade da manutenção consiste na relação entre o tempo em que o equipamento permanece parado na manutenção e o total de tempo no período analisado (total de horas incluindo todos os dias do calendário).

Para Banchi (2017), o conceito de eficiência de indisponibilidade mecânica, representa o tempo que os equipamentos se mantêm parados devido ao fato de estarem em reparos, em relação ao tempo de calendário para trabalhar, conforme a equação 1:

$$EIM = 100 \cdot \frac{TP}{24 \cdot ND \cdot NE} \quad (\text{Equação 1})$$

Logo, Banchi (2017) afirma que a disponibilidade mecânica, pode ser considerada um complemento da indisponibilidade, por meio da equação 2:

$$ED = 100 - EIM \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

EIM = Eficiência de indisponibilidade de manutenção (%);

ED = Eficiência de disponibilidade de manutenção (%);

TP = Tempo total parado de manutenção (h);

ND = Número de dias em análise;

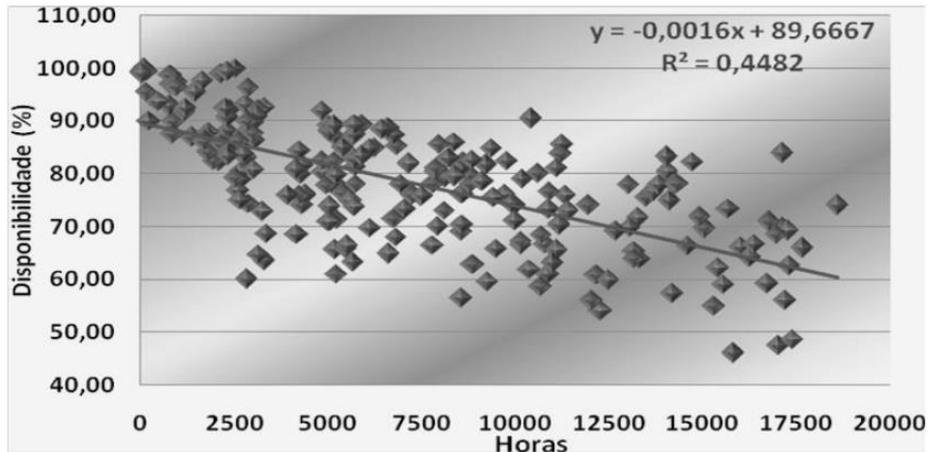
NE = Número de equipamentos;

O objetivo da manutenção é aumentar a disponibilidade para se ter um maior potencial de uso e preservar a vida do equipamento ou máquina (BANCHI, 2017). Desse modo, conhecer a disponibilidade mecânica permite que se determine a real e a possível carga horária para realização das atividades da frota, visto que também auxilia na definição dos planos de metas, na implementação de medidas otimizadoras e na avaliação de resultados, o qual contribui também para o subsídio de critérios de prioridades (BANCHI, 2017).

A disponibilidade mecânica não deve ser considerada como um parâmetro estático e único para vida útil do equipamento e, sim como um índice que varia em função da idade da frota (BANCHI, LOPES e ROCCO, 2009d). Ao analisar por meio matemático, os autores afirmam que a eficiência de disponibilidade pode ser representada por uma reta decrescente que varia com o tempo de uso dos equipamentos. Já quando se utiliza a eficiência de disponibilidade mecânica para avaliação de máquinas automotoras, pode-se usar também o desempenho como critério de medição.

No estudo de disponibilidade de manutenção e eficiência de uso realizado por Banchi, Lopes e Zago (2008c), os autores mostram a disponibilidade das colhedoras na figura 12.

Figura 12– Disponibilidade de manutenção das colhedoras em função da vida



Fonte: Banchi, Lopes e Zago, 2008c.

Ao observar a figura 12, revela-se a tendência de queda da disponibilidade à medida que a idade das colhedoras avança. Com a equação obtida pelos autores, pode-se afirmar que o coeficiente angular da reta revela a queda média de 1,6% da disponibilidade para cada 1000 horas de uso e apresentando um R^2 de 0,44.

Os indicadores de manutenção são considerados como os apontadores da eficiência, do cumprimento de metas e da boa prática da manutenção, o que faz as atividades de manutenção serem parte contribuintes e alinhadas com as metas e as expectativas do processo produtivo. Logo, podem ser os balizadores e sinalizadores para as tomadas de decisão dentro do processo seletivo (REIS *et al.*, 2008)

Para Callado *et al.* (2008) os indicadores de desempenho consistem no monitoramento dos principais aspectos ligados à gestão, uma vez que é através da medição do desempenho que as informações relevantes são utilizadas para suportar as decisões e contribuir para o posicionamento em relação às metas estabelecidas. Os autores afirmam que identificar os aspectos não é uma tarefa fácil, visto que depende da complexidade do processo a ser monitorado.

Para Biasotto (2006) o sistema de medição pode ser chamado também de acompanhamento do desempenho. Através dele é possível monitorar o progresso alcançado, comparando e avaliando os resultados ao longo do tempo. Moreira (2002) classifica os tipos de indicadores como:

- Indicadores qualitativos: demonstram critérios como “Sim ou Não”, “Passa ou Não passa”, “Aceita ou Rejeita”;

- Indicadores quantitativos: usam valores numéricos representativos do processo. Exemplos: Porcentagem de uso, quantidade de paradas, entre outros.

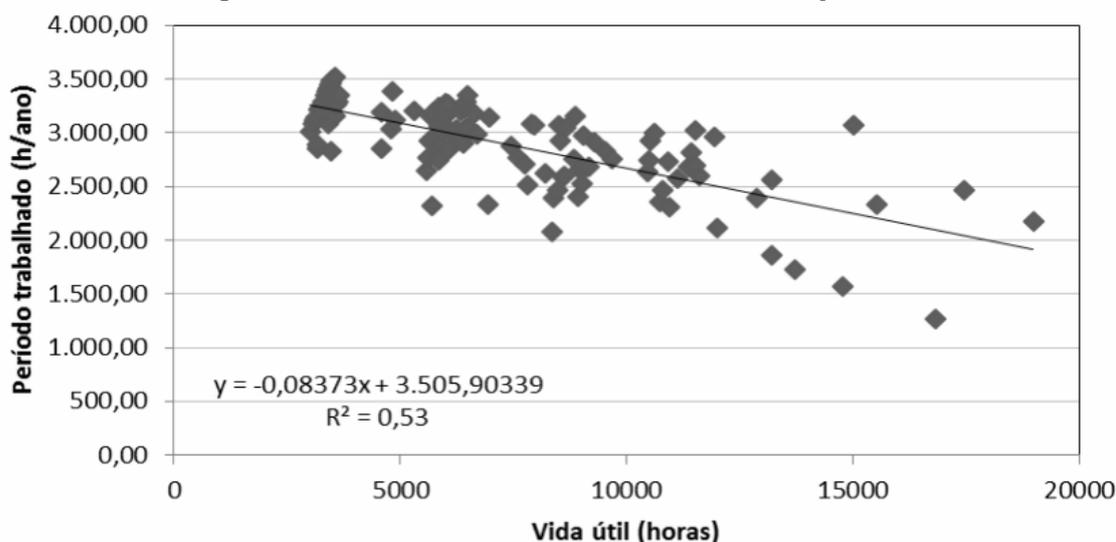
Os indicadores de performance são conhecidos na literatura também como KPI's – *Key Performance Indicators* - que são parâmetros controlados e medidos para que possa ser vista se a direção da manutenção está ao encontro das metas empresariais. Dessa forma, são usados como balizadores e como marcas para medir o quanto a meta foi atingida (CALLADO et al., 2008).

De acordo com Seixas (2005), os indicadores de manutenção são utilizados pelos gestores visando atingir as metas operacionais definidas pelas empresas. Logo, devem apontar onde e quais melhoramentos podem ser otimizados nos processos, como também destacar as áreas onde o desempenho é satisfatório.

Para Banchi (2017), o período anual ou mensal de trabalho de uma colhedora de cana-de-açúcar pode ser calculado pela soma das horas determinadas pelas diferenças de leituras dos horímetros no momento das manutenções ou no abastecimento de combustível. No entanto, quando os medidores de período (horímetro) não estejam em seu pleno funcionamento, o sistema de gerenciamento tem a capacidade de estimar o período de trabalho com base na quantidade abastecida e no consumo médio do equipamento na tarefa que está executando, tendo uma precisão razoável em seus dados

Num estudo realizado em unidades produtoras de cana-de-açúcar por Banchi, Lopes e Zago (2008c), observou-se a importância de determinar a quantidade de horas possíveis a serem utilizadas de uma colhedora de cana-de-açúcar, visto que contribui para uma análise de uma possível terceirização de máquinas. Desse modo, foi representada a média de uso anual (horas) em função da vida útil (anos de trabalho ou horas de uso) por meio de um gráfico, conforme apresentado na figura 13.

Figura 13– Uso anual das colhedoras de cana em função da vida útil (h)



Fonte: Banchi, Lopes e Zago, 2008c.

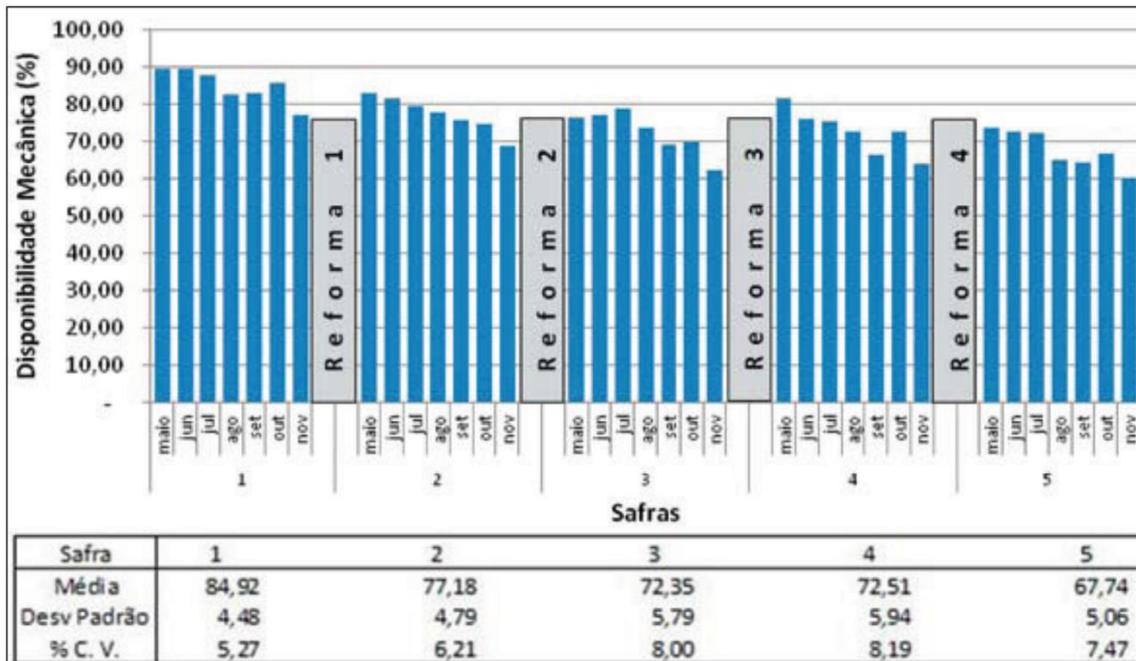
Ao analisar a figura 13, o comportamento do gráfico revela a tendência de queda do período trabalhado à medida que a vida útil da máquina avança. Com a equação obtida pelos autores, pode-se dizer que o coeficiente angular da reta revela a queda média de 83,73 horas da vida útil para cada 1.000 horas ou redução de 837 horas a cada 10.000 horas e apresentando um R^2 de 0,53.

Segundo Banchi, Lopes e Zago (2008c), a figura 13 mostra que o uso anual de colhedoras varia entre 1.500 e 3.500 horas para máquinas com vida útil de até 15.000 horas. Os autores afirmam que a média do uso de horas utilizadas nas simulações é de 3.000 horas. Os autores reportam que a curva de tendência apresenta uma equação linear decrescente, o que é causado principalmente pelo desgaste mecânico dos equipamentos.

Em outro estudo realizado por Banchi et al (2019), confirma-se que o uso anual do equipamento diminui de acordo com a idade: quando o equipamento é novo, por exemplo, há um potencial de uso de 3.200 h ano^{-1} e, esse potencial diminui para 2.120 h ano^{-1} após seis anos de uso.

No estudo realizado por Banchi et al. (2012), a intervenção mecânica nas máquinas é necessária pelo fato das colhedoras trabalharem de maneira intensa e em condições severas durante o período de safra, o que faz ocorrer um grande desgaste de peças e componentes. A manutenção entre safras implica nas reformas das colhedoras a fim de que se tenha uma disponibilidade maior. Na figura 14, pode-se ver a disponibilidade mensal e média anual das colhedoras variando da primeira à quinta safra.

Figura 14– Disponibilidade de manutenção ao longo da vida, detalhado mês a mês e análise da eficiência anual



Fonte: Banchi et al. (2012)

Segundo Banchi et al. (2012), a figura 14 mostra a importância da reforma das colhedoras, uma vez que no início da safra seguinte a colhedora sempre irá apresentar uma disponibilidade maior que ao final da safra anterior. No entanto, durante as cinco safras trabalhadas, uma colhedora com vida em torno de 15 mil horas, passará a se tornar inviável operacionalmente e até com consequências econômicas, visto que aumenta os seus gastos nas reformas e a disponibilidade não será recuperada de modo satisfatório.

Para Banchi et al. (2012), uma atividade muito comum nas unidades é a melhoria ou adaptações de colhedoras novas, pois consiste em revestir partes de colhedoras como os divisores de linhas, corte de base, rolos e extratores. Com essa melhoria, as colhedoras se tornam mais robustas e suportam mais condições severas de trabalho, diminuindo o número de trincas que aumentam a indisponibilidade da máquina.

Segundo Galvão et al. (2018), é importante que se conheça a marca de suas máquinas para compor o seu grupo de frota, visto que podem ser semelhantes para atividades, mas apresentam composição de materiais com qualidade diferente durante a fabricação o que levam a ter diminuição da resistência de alguns componentes.

Para mensurar esses problemas, existem diversos indicadores que podem medir e avaliar a gestão da manutenção em uma empresa como *Overall Equipment Effectiveness*

(OEE), *Mean Time Between Failures* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR), disponibilidade inerente, confiabilidade, custo de manutenção/faturamento, custo de manutenção, custo de manutenção/unidade produzida, *backlog*, homem-hora empregado por tipo de manutenção, fator de produtividade da mão-de-obra, entre outros.

2.4.1. Indicadores de desempenho

Para se ter uma boa operação, é necessário que se tenha um acompanhamento contínuo de um processo de gestão que permita a análise e a correção de problemas operacionais. A seguir, serão apresentados os indicadores de *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) e de *Mean Time Between Failures* (MTBF) e *Mean Time To Repair* (MTTR).

- ***Overall Equipment Effectiveness* (OEE)**

O indicador *Overall Equipment Effectiveness* (OEE ou Eficiência Global do Equipamento) surgiu no final dos anos 1980 com o propósito de ser um método para medição do desempenho de uma instalação industrial, o qual carregou consigo o surgimento do *benchmarking* em manutenção das organizações. A metodologia usada era considerada simples e eficiente, uma vez que consistia na capacidade de reportar todas as causas de paradas, perdas no desempenho da produção e perdas devido à qualidade nos produtos (NAKAJIMA, 1988).

Segundo Verdin et al (2015) o OEE é considerado o produto de três vertentes: a disponibilidade, o desempenho e a qualidade. A disponibilidade pode ser medida através das perdas por paradas, já o desempenho pelas perdas por variação de ritmo e a qualidade medida nas perdas por defeitos nos produtos.

O cálculo da disponibilidade é obtido de forma percentual do tempo que o equipamento estava trabalhando, sendo comparado com o tempo total que a máquina tem disponível para ser utilizado. Dessa maneira, as paradas planejadas podem ser consideradas como: intervalo de almoço, manutenção planejada, interrupções aos finais de semana e feriados. Já, as paradas não planejadas são as quebras das máquinas, falta de operador, falta de matéria prima, entre outros (OEE, 1990; KARDEC; NASCIF,2013). O cálculo dessa categoria é apresentado na equação 3.

$$DP = \left(\frac{TPP - PPD}{TPP} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

DP = Disponibilidade (%);

TPP = Tempo de produção planejada (horas);

PPD = Perdas por disponibilidade (horas);

O desempenho consiste na velocidade real de operação do equipamento, em relação à velocidade padrão que o equipamento deveria operar. Dessa forma, os fatores impactantes dessa categoria, são, muitas vezes, de difícil visualização. Logo, o conhecimento dessas perdas é importante, haja vista que as empresas calculam a partir do tempo padrão, o custo das peças e a carga das máquinas dentro do plano de produção (OEE, 1990; KARDEC; NASCIF, 2013). O cálculo dessa categoria é apresentado na equação 4.

$$DE = \left(\frac{TOP - PPD}{TOP} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

em que:

DE = Desempenho (%);

TOP = Tempo operacional de produção (horas);

PPD = Perdas por desempenho (horas);

A qualidade consiste na relação do tempo de produção total e do tempo perdido com a fabricação de peças defeituosas. Desse modo, os fatores impactantes como perdas por rejeitos e por falhas operacionais colaboram de maneira que o gestor avalie os processos de produção e possa desenvolver estudos estatísticos e de tempos e movimentos, a fim de evitar prejuízos futuros para produção (OEE, 1990; KARDEC; NASCIF, 2013). O cálculo dessa categoria é apresentado na equação 5.

$$QUA = \left(\frac{TOL - PPQ}{TOL} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

em que:

QUA = Qualidade (%);

TOL = Tempo operacional líquido (horas);

PPQ = Perdas por qualidade (horas);

Dessa maneira, O OEE é obtido pela multiplicação das três vertentes apresentadas anteriormente, conforme indica a equação 6:

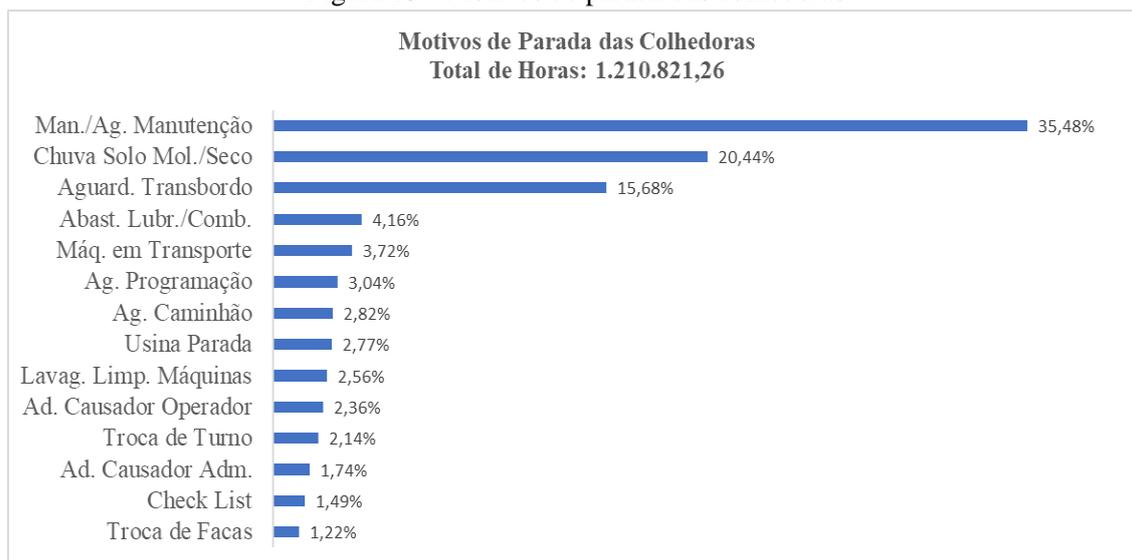
$$OEE = DP \times DS \times QUA \quad (\text{Equação 6})$$

O OEE pode ser visto para muitas empresas como um integrador de todas as áreas, uma vez que estão envolvidas as áreas de manufatura, de engenharia, de qualidade e de manutenção que contribuem para o desempenho do indicador. Em suma, o indicador corrobora para o envolvimento de todos os funcionários com o intuito de alcançar a real capacidade da empresa e atender a demanda prevista (HANSEN, 2006).

Na operação de colheita de cana-de-açúcar, o OEE pode ser utilizado para medir o alto rendimento das colhedoras de cana-de-açúcar durante a safra, o que é considerado essencial para que se reduza a indisponibilidade mecânica a fim de minimizar a ocorrência de possíveis quebras e manutenções corretivas. Cabe ressaltar que neste estudo será utilizado somente a vertente de disponibilidade de OEE.

Para Banchi et al. (2012), um alto grau de disponibilidade mecânica das colhedoras só será alcançado se houver investimento no período de entressafra, quando se realiza uma intervenção mecânica maior, pelo fato desses equipamentos sofrerem desgaste de peças e componentes no período de safra, devido ao trabalho de modo intenso e severo. Na figura 15, são apresentados os principais motivos de parada das colhedoras de cana-de-açúcar pelo autor.

Figura 15 - Motivos de parada das colhedoras



Fonte: Banchi (2012)

Ao analisar a figura 15, Banchi (2012) apresenta o maior causador de parada de uma colhedora está ligado a manutenção e agendamento de manutenção com 35,48% do total de horas. Em seguida, os fenômenos da natureza podem ocasionar interrupção para operação de colheita com 20,44%. Outro fator que impacta diretamente a parada da colhedora, é quando ocorre aguardo de transbordo para poder prosseguir a operação de colheita, representando 15,68% do total de horas.

Ao realizar uma análise relacionada à parte de manutenção, o fator abastecimento, lubrificação e combustível representou 4,16% do total de horas, enquanto a lavagem e limpeza de máquinas com 2,56% do total. A troca de facas apresentou o menor impacto na parada das colhedoras com 1,22% do total de horas.

Em relação aos fatores de espera, o fator aguardando programação apresentou 3,04% do total de horas e aguardando caminhão representou 2,82% do total de horas. Outro fator que pode ser considerado como aguardo, é a máquina em transporte que apresentou 3,72% do total de horas. Por último, o fator usina parada representou 2,77% do total de horas por algum problema de operação.

Ao analisar os fatores administrativos e humanos, pode-se ver que o fator causador operador representou 2,36% do total de horas por alguma execução errada no sistema ou por motivo de saúde. O fator troca de turno apresentou 2,14% do total de horas, visto que ocorre a passagem de serviço de um operador a outro com troca de informações do andamento da máquina. Já o fator causador administrativo obteve 1,74% do total de horas

que pode ter ocorrido por alguma falha em comunicação com a operação, remanejamento de procedimentos ou trabalhadores, entre outros. Por fim, o fator *check list* apresentando 1,49% do total de horas por parte de inspeção da máquina para pleno funcionamento.

Num estudo realizado por Banchi et al. (2019), não é possível quantificar de início o uso de combustível, de óleos lubrificantes, de reparo e de despesas de manutenção para uma colheita. O autor afirma que o reparo de manutenção ocorre quando a máquina está sendo bastante usada e fatores como potência do equipamento, ajuste da máquina, plano de manutenção, idade da máquina, local de operação e habilidade do operador são motivos de paradas.

Já em outro estudo realizado por Banchi (2012), um parque de máquinas não deve possuir valores inferiores a 30% para eficiência global na operação de colhedoras de cana-de-açúcar, uma vez que as máquinas acabam por terem mais tempo de parada e menor produção de colheita.

Ao rever a literatura relacionada ao OEE e à colheita mecanizada de cana-de-açúcar revelou-se um conjunto de fatores que interferem em cada uma das três vertentes que formam o OEE. O quadro 3 agrupa os fatores encontrados e considerados interferentes na operação das colhedoras de cana-de-açúcar para cada categoria.

Quadro 3 - Fatores interferentes nas colhedoras

Autor (Ano)	Fatores interferentes nas colhedoras	Vertentes
Neves (2003)	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de Esteiras; • Problemas de Roletes; • Problemas de Elevadores; • Problemas de Extrator Primário; • Problemas de Extrator Secundário; • Problemas no Sistema Picador; • Manutenção Corretiva; 	Disponibilidade
Banchi et al. (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento de combustível; • Manutenção Corretiva; • Manutenção preventiva; 	
Junqueira e Morabito (2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento de combustível; • Manutenção Preventiva (lubrificação/lavagem e troca de componentes); 	
Silveira, Yanai e Kurachi (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • Largura de trabalho da máquina; • Velocidade de Deslocamento; • Porcentagem de tempo parado; 	Desempenho
Linhares et al. (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Paradas para alimentação (lanches e água); 	

	<ul style="list-style-type: none"> • Descanso e higiene pessoal; • Tempo de experiência do operador; • Obstáculos presentes no percurso; 	
Junqueira e Morabito (2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de espera do próximo transbordo; • Espaçamento de plantio; • Quantidade de Manobras; • Troca de Turno; • Horário de Refeições; 	
Cassia et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste das facas do corte basal; • Danos causados às soqueiras; • Altura de corte; 	Qualidade
Ripoli et al. (2003)	<ul style="list-style-type: none"> • Regulagem da velocidade do extrator primário; • Corte de base; • Estado do canavial. 	

Fonte: Elaboração própria

○ ***Mean Time Between Failures (MTBF) e Mean Time to Repair (MTTR)***

A disponibilidade de equipamentos ou máquinas é essencial para uma boa operação. Dessa maneira, pode-se controlar as quebras por meio de indicadores de manutenção como *Mean Time Between Failures (MTBF)* e *Mean Time To Repair (MTTR)* que são ligados a confiabilidade.

O MTBF é considerado um dos principais indicadores de manutenção, o qual indica o tempo total de bom funcionamento médio entre as falhas de máquinas ou de equipamentos que podem ser reparáveis (CERVEIRA E SELLITTO, 2015). Desse modo, o MTBF mede a confiabilidade, equação 7.

$$MTBF = \left(\frac{TTP - TP}{NP} \right) \quad \text{(Equação 7)}$$

em que:

MTBF = Tempo médio entre falhas (horas);

TTD = Tempo total disponível (horas);

TP = Tempo perdido (horas);

NP = Número de paradas (quantidade);

O MTBF quando apresenta um alto valor numérico após um processo de manutenção, pode-se dizer que houve uma melhoria na qualidade de seus processos e que

trará mais confiabilidade na máquina ou no equipamento (MENGUE E SELLITTO, 2013).

Quanto maior é o MTBF, menor é o número de falhas do sistema e, conseqüentemente, menor é o tempo gasto em atividades de reparo, o que permite que a capacidade produtiva seja melhor aproveitada (MENDES E RIBEIRO, 2014).

Para Mengue e Sellitto (2013), o MTTR consiste no tempo médio que é levado para colocar a máquina em funcionamento de novo, conforme a equação 8. Com estes valores é possível identificar problemas de inatividade e auxiliar no controle de reparos.

$$MTTR = \frac{TTR}{QF} \quad (\text{Equação 8})$$

em que:

MTTR = Tempo médio de reparo (horas);

TTR = Tempo total de reparo (horas);

QF = Quantidade de falhas (quantidade);

O MTTR aponta a eficácia da ação reparadora. Logo, reduzir o máximo significa evitar a perda de produtividade por indisponibilidade de sistemas. Um tempo de atendimento médio menor de reparo indica que terá respostas rápidas para os problemas em seus processos, o que demonstra maior eficiência (MENDES E RIBEIRO, 2014). Por outro lado, quando apresentado um menor for o MTTR, menor será o tempo gasto em manutenções corretivas, o que aumenta a disponibilidade do sistema (MENDES E RIBEIRO, 2014).

Segundo Mendes e Ribeiro (2014), o MTBF e MTTR permitem a identificação de subconjuntos críticos e a escolha do tipo de ação mais adequada para melhorar seu desempenho, além da determinação de intervalos ótimos entre manutenções. Desse modo, os autores afirmam que quando se obtém subconjuntos com baixo MTBF necessita-se de melhorias na política de manutenção. No entanto, quando se tem subconjuntos com alto MTTR, necessita-se de melhoria da capacitação e dos recursos da equipe de manutenção.

2.5. Técnicas de simulação aplicadas à gestão da manutenção de sistemas

A simulação consiste no processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir os experimentos desse modelo com o propósito de entender o comportamento ou avaliar estratégias para sua operação (PEDGEN, 1990). Como em todas ferramentas, existem as vantagens e desvantagens da simulação. Law e Kelton (1991) ressaltam que as principais vantagens da simulação são:

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, procedimentos organizacionais, etc. podem ser estudados sem interferência nas operações do sistema real;
- Novos equipamentos, arranjos físicos, sistemas de transporte, etc. podem ser testados antes de se investir recursos com as aquisições envolvidas;
- Hipóteses de como e por que certos fenômenos ocorrem podem ser avaliados;
- O tempo pode ser comprimido ou expandido, permitindo que o fenômeno em estudo possa ser acelerado ou retardado;
- “Gargalos” onde as informações ou materiais têm seus fluxos comprometidos podem ser identificados.

Já as principais desvantagens são:

- A construção de modelos requer um treinamento especial. Pode ser considerada uma “arte” que se aprende ao longo do tempo e que envolve o “bom” uso da experiência.
- Os resultados da simulação podem ser difíceis de interpretar. Como as saídas da simulação podem incluir variáveis aleatórias, não é trivial determinar se os resultados observados resultam de interações efetivas das partes do sistema ou se são fruto da aleatoriedade do sistema.
- A modelagem do sistema e a análise dos dados podem consumir muito tempo e muitos recursos. Por outro lado, economizar tempo e recursos na modelagem e na análise pode resultar em cenários insuficientes para atender os objetivos.

Para compensar essas desvantagens, os autores afirmam que os fornecedores dos softwares de simulação têm desenvolvido pacotes que contêm um tipo de *template* de modelos pré-concebidos que permite somente definir os dados da operação e pacotes de ferramentas que facilitam a análise dos dados de saída de simulação. Por fim, tem ocorrido um avanço nas plataformas computacionais que permite a rapidez da simulação.

Para Faria e Silva (2015), o planejamento eficiente das operações relacionadas à manutenção, se deve as ferramentas de gerenciamento que podem auxiliar na tomada de decisões sobre as atividades sujeitas à programação. Logo, afirmam que a simulação de eventos discretos é uma ferramenta que consiste no desenvolvimento de um modelo a fim de representar sistemas de interesse num ambiente digital. No trabalho realizado pelos autores, um modelo de simulação foi elaborado para representar os procedimentos de manutenção de colhedoras, transbordos e outros veículos usados por uma equipe de colheita, o qual tiveram cenários testando alternativas de intervenções para reabastecimento, lubrificação e substituição de facas de colhedoras.

Segundo Sheng e Prescott (2019), para modelar uma manutenção de frota é necessário ter uma boa compreensão dos parâmetros de modelagem relacionados. Na modelagem deve ser considerado a dinâmica das falhas e dos componentes, uma vez que as diferentes combinações de falhas de componentes levam os equipamentos a falharem em diferentes modos, o que faz cada uma delas requererem diferentes ações e políticas de manutenção. Sendo assim, os autores afirmam que a modelagem da manutenção consiste em três fatores: políticas de manutenção, gestão de recursos e detalhe das atividades de manutenção.

Para Faria et al. (2019), o uso de simulação discreta pode ser utilizado para estudos de indústrias sucroalcooleira e para dimensionamento de frotas, escala de turnos de trabalho e processo de descarga dentro da usina de açúcar. Na sua pesquisa, a simulação foi usada para análise de decisão multicritério em dez cenários a fim de obter o menor custo total ou a maior margem de lucro.

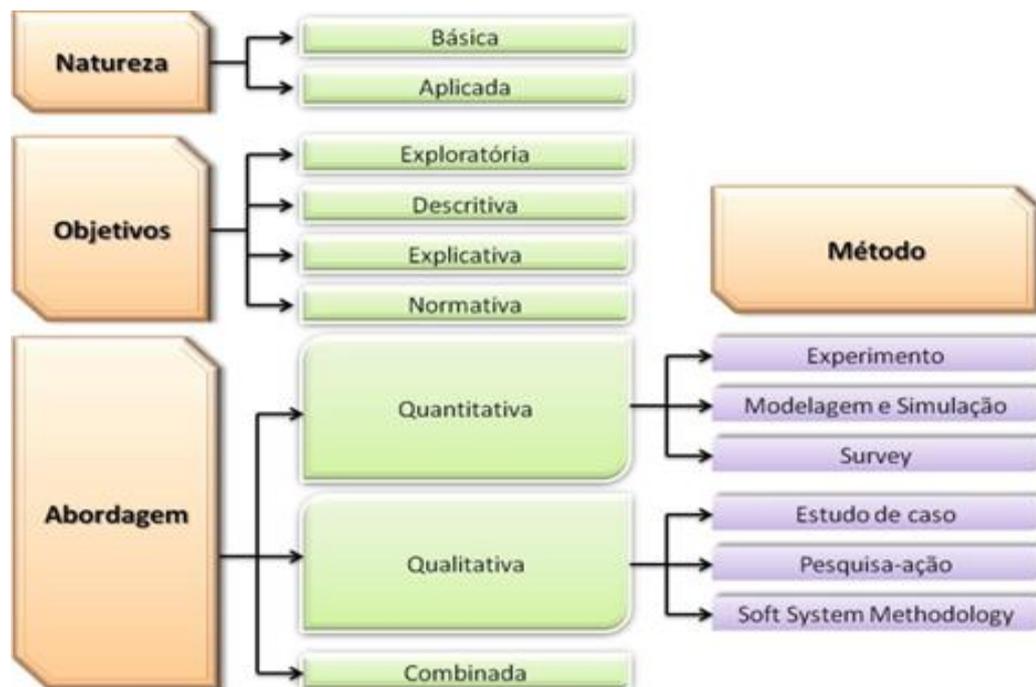
A simulação é considerada uma excelente ferramenta para se obter uma medição quantitativa da confiabilidade do sistema quando se conhece as características dos componentes individuais o que seria conhecido como o tempo médio de reparo e o tempo médio entre as falhas de cada componente, adicionando-se o tempo necessário para substituir cada componente (PRADO, 2004).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, inicialmente, é apresentada a categorização metodológica da pesquisa e em seguida, é feita a descrição do objeto de estudo desta dissertação. Os subtópicos da metodologia apresentam os procedimentos adotados/métodos, a forma de coleta de dados e a forma de análises de resultados.

A metodologia utilizada na presente pesquisa pode ser classificada conforme estrutura apresentada na figura 16.

Figura 16 - Classificação da pesquisa científica



Fonte: Turrioni e Mello (2012)

De acordo com a figura 16, a natureza da pesquisa é considerada uma pesquisa aplicada, uma vez que possui o intuito de contribuir para o meio acadêmico sobre a disponibilidade mecânica das colhedoras de cana-de-açúcar em relação ao efeito de uso no período de safra e entre safras.

Quanto aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada em exploratória, descritiva, explicativa e normativa (TURRIONI E MELLO, 2012). Neste contexto, pode ser considerado uma pesquisa explicativa, visto que tem por objetivo avaliar a disponibilidade mecânica das colhedoras de cana-de-açúcar ao longo do seu uso no período de safra e entre safras sucessivas.

Para Gil (2012), a pesquisa explicativa possui uma certa preocupação central em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos e é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas. Já Vergara (2004) diz que a pesquisa explicativa tem como principal objetivo tornar algo inteligível, justificar os motivos.

Quanto a forma de abordar o problema, a pesquisa pode ser classificada em qualitativa, quantitativa e combinada. Esta pesquisa pode ser classificada como quantitativa, visto que por meio do fornecimento de dados de uma empresa parceira, pode-se avaliar a disponibilidade mecânica em função do tempo de uso entre safras e ao longo de uma safra.

Para Turrioni e Mello (2012), a pesquisa quantitativa consiste que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Logo, a pesquisa requer uso de recursos e de técnicas estatísticas (percentagem, média, moda, mediana, desvio padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, etc.). Já Fransoo e Bertrand (2002) afirmam que a pesquisa quantitativa se preocupa em desenvolver políticas, estratégias e ações que melhorem a situação atual com garantia que há uma adesão entre o problema real e o modelo feito desta realidade.

Do ponto de vista dos métodos, a pesquisa pode utilizar o método de experimentos, levantamentos ou *surveys*, modelagem e simulação, estudos de caso, pesquisa-ação e *soft system methodology* (SSM). Por esse meio, o método adotado é de modelagem e simulação, visto que permite imitar um processo ou uma operação do mundo real e tem o propósito de entender seu comportamento na operação. Dessa forma, a modelagem realizada é de uma operação de colheita com foco em dados reais de um grupo de colhedoras de cana-de-açúcar. No entanto, a pesquisa é considerada também um estudo de caso, uma vez que se parte de um caso específico e busca generalizações quanto à perda da disponibilidade mecânica das colhedoras conforme o tempo passa.

Para Turrioni e Mello (2012), a modelagem e a simulação são empregadas quando se deseja experimentar, por meio de um modelo, um sistema real, determinando-se como este sistema responderá a modificações que lhe são propostas.

Para Yin (2001), o estudo de caso é a forma mais adequada para investigação de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, onde os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente percebidos. Já Gil (2012) afirma que o estudo

de caso consiste em explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos, tendo formulação hipóteses ou desenvolvimento de teorias.

Após este processo de caracterização metodológica, é descrita a modelagem do sistema CTT com o *software* Arena e apresentada a forma de coleta e análise dos dados das colhedoras fornecida pela empresa parceira.

3.1. Descrição do objeto de estudo

O estudo foi realizado numa empresa parceira no estado de São de Paulo, a qual disponibilizou o acesso a dados de uma frente de colheita de cana-de-açúcar. Dados de seis colhedoras com idades diferentes, variando de 2012 a 2017, foram disponibilizados.

Os dados fornecidos são referentes à safra de 2018 no período de 9 de abril até 30 de outubro, tendo sido repassados os códigos de cada operação que ocorreu com as colhedoras. Dessa forma, os códigos apresentados foram abastecimento/lubrificação, aguardando serviço, aguardando transbordo, arremate, calibração, carregando, chuva/umidade, colhendo, desembuchando, deslocamento de colhedora, deslocamento apoio, esvaziando, falta de operador, indústria bate volta, manobra, manutenção corretiva, manutenção caminhão, manutenção preventiva, prancha, troca de turno e usina parada. Acrescenta-se aos dados também, o registro de tempo de início e de fim de cada operação realizada, obtendo-se a marcação de horímetro, de odômetro e de velocidade.

Após fazer o tratamento dos dados, pode-se elaborar por meio do modelo de simulação cenários representativos de uma frente de corte com, por exemplo, uma máquina de cada ano ou combinações de máquinas com idades diferentes a fim de mensurar a disponibilidade e analisar o desempenho delas no período de safra. Dessa forma, é possível se obter também os cálculos dos indicadores de MTBF, MTTR e OEE.

Os cenários elaborados para o modelo de simulação foram para um grupo de máquinas novas para o cenário 1, sendo a primeira safra dessas máquinas. O cenário 2 foi composto por uma máquina nova, uma máquina com um ano de safra, uma máquina com dois anos de safra e uma máquina com três anos de safra. Já o cenário 3 apresentou um grupo com uma máquina de dois anos de safra, uma máquina de três anos de safra, uma máquina com quatro anos de safra, uma máquina com cinco anos de safra. Por último, o cenário 4 apresentou 4 colhedoras com cinco anos de safra, conforme o quadro 4.

Quadro 4 – Cenários do Sistema CTT

Cenário/Máquinas	M1	M2	M3	M4
Cenário 1 (C1)	2017.1	2017.2	2017.3	2017.4
Cenário 2 (C2)	2017	2016	2015	2014
Cenário 3 (C3)	2015	2014	2013	2012
Cenário 4 (C4)	2012.1	2012.2	2012.3	2012.4

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os cenários escolhidos foram montados de forma intencional para avaliar a diferença da disponibilidade em cada um deles. Nos cenários 1 e 4, foram colocadas máquinas de mesmo ano para ver o comportamento delas durante a safra e o tempo de uso. Dessa maneira, para diferenciar as máquinas do mesmo ano de fabricação no modelo, foram usados os códigos Ano.1, Ano.2, Ano.3 e Ano.4.

3.2. Forma de coleta de dados

Segundo Yin (2001) existem seis tipos de fontes de evidência e que devem ser seguidos sempre que possível em um estudo de caso, a saber:

- Observação direta;
- Entrevistas (estruturadas – roteiro; semiestruturadas – roteiro);
- Conversas informais;
- Questionários; e
- Pesquisa documental – documentos de acesso restrito, ou seja, particulares da empresa em estudo.
- Observação do participante.

Ao fazer a visita à frente de colheita pela empresa parceira, a prática adotada foi de observação direta, onde o autor foi até o campo para conhecer a operação de colheita, transbordo e transporte a fim de compreender todo processo e construir, no futuro, o modelo de simulação. Por seguinte, pode-se ter contato com os funcionários que são responsáveis por toda parte de armazenamento de dados das máquinas em operação, o que permitiu fornecimento de dados das colhedoras de cana-de-açúcar.

Para Vergara (2004), a observação direta prescinde que observador seja um elemento externo, que não esteja envolvido, diretamente, com a rotina de trabalho, mantendo certo distanciamento do grupo para que possa separar com o que está sendo pesquisado e não ter influência de opiniões dos trabalhadores.

Para Turrioni e Mello (2012), a pesquisa documental é uma fonte de coleta de dados restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias. Estes documentos podem ser feitos no momento do fato ou depois.

Segundo Yin (2010), os registros podem ser tão importantes, uma vez que se tornam instrumentos de recuperação extensa e de análise quantitativa de uma empresa. Desse modo, os registros podem ser altamente quantitativos, mas os números, apenas, não devem ser considerados como um sinal de excelência na pesquisa, devido na maioria das vezes, ao excesso de documentos que poderá fazer o pesquisador perder o foco.

A planilha eletrônica cedida pela empresa parceira continha as seguintes informações: o tipo de equipamento, código do equipamento, o registro de início da atividade, o registro de fim da atividade, a duração do tempo registrado, a classificação da atividade como produtiva ou improdutiva, o código da atividade, a descrição da atividade, o código do colaborador, nome do colaborador, o código da frente de colheita, o horímetro, o hodômetro, a velocidade máxima da máquina.

3.3. Formas de análise de resultados

Para Yin (2001), a análise dos dados propriamente dita consiste na etapa mais importante e a mais difícil, pois exige atenção do pesquisador para apresentar seu estudo de uma forma bem definida e de maneira clara. Ainda segundo o referido autor, a análise das evidências obtidas é um dos aspectos menos explorados na realização de estudos de caso.

Para realizar o estudo, foi utilizado uma planilha eletrônica para manipular os dados fornecidos pela empresa parceira. Em seguida, os dados foram imputados no *software* de simulação de eventos discretos Arena, versão 14.7 acadêmica, com licença do Departamento de Engenharia de Produção de Sorocaba, da UFSCar, Campus Sorocaba, utilizado para elaborar o modelo de uma frente de colheita mecanizada de cana de açúcar.

Além disso, uma interface do *software* Arena com a planilha eletrônica foi utilizada para realizar o registro diário de produção da colheita de cana-de-açúcar e da disponibilidade das colhedoras mês a mês da safra.

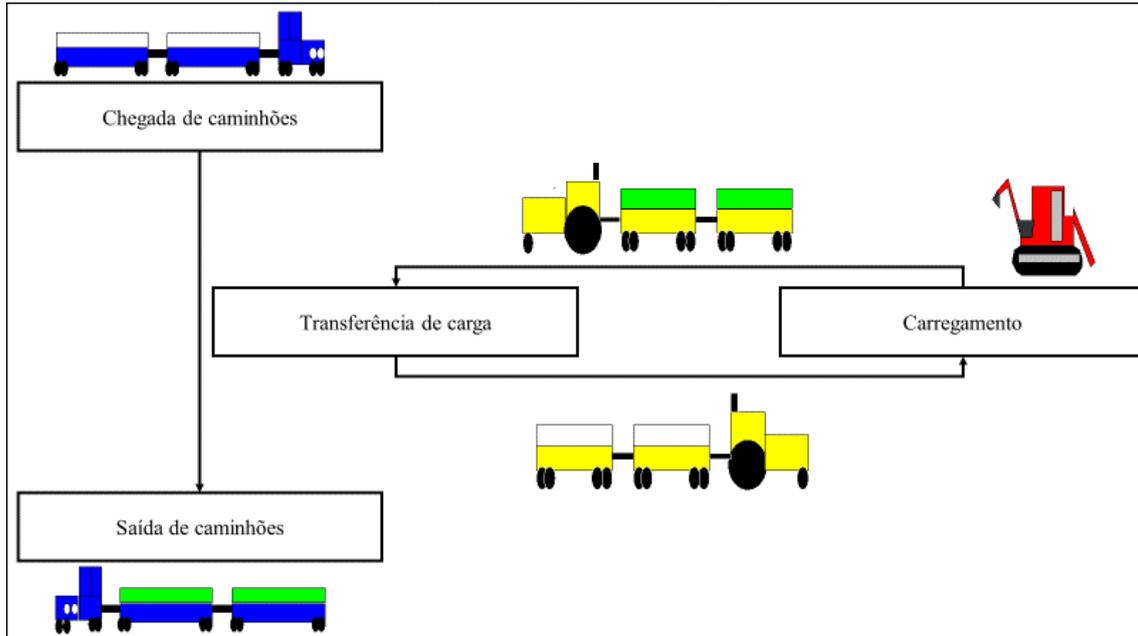
O modelo teve como entrada as distribuições teóricas de probabilidade do tempo de deslocamento do caminhão vazio, o tempo de permanência do caminhão no campo, o tempo de deslocamento do caminhão carregado, o tempo de permanência do caminhão na usina, o tempo de ciclo do caminhão, o tempo de manutenção do caminhão, o tempo de deslocamento do trator vazio, o tempo de colheita, o tempo de deslocamento do trator carregado, o tempo de transferência de carga, o tempo de ciclo do trator e o tempo de manutenção do trator.

Sendo assim, os cenários com combinações de máquinas de idades diferentes atuando numa frente de colheita de cana-de-açúcar foram criados com os quais pode-se comparar o comportamento da disponibilidade das colhedoras de cada cenário.

3.4. Modelo de simulação

Um modelo de simulação de uma frente mecanizada de colheita de cana-de-açúcar foi elaborado, tendo a utilização de 4 colhedoras, 8 tratores-transbordos e 6 caminhões (rodotrens), similar à estrutura de campo da empresa parceira fornecedora dos dados. Dessa maneira, a elaboração do modelo foi dividida em duas etapas denominada de lógica do campo (figura 17) e lógica da usina (figura 18), sendo adicionalmente consideradas lógicas para controle da troca de turno e das refeições diárias.

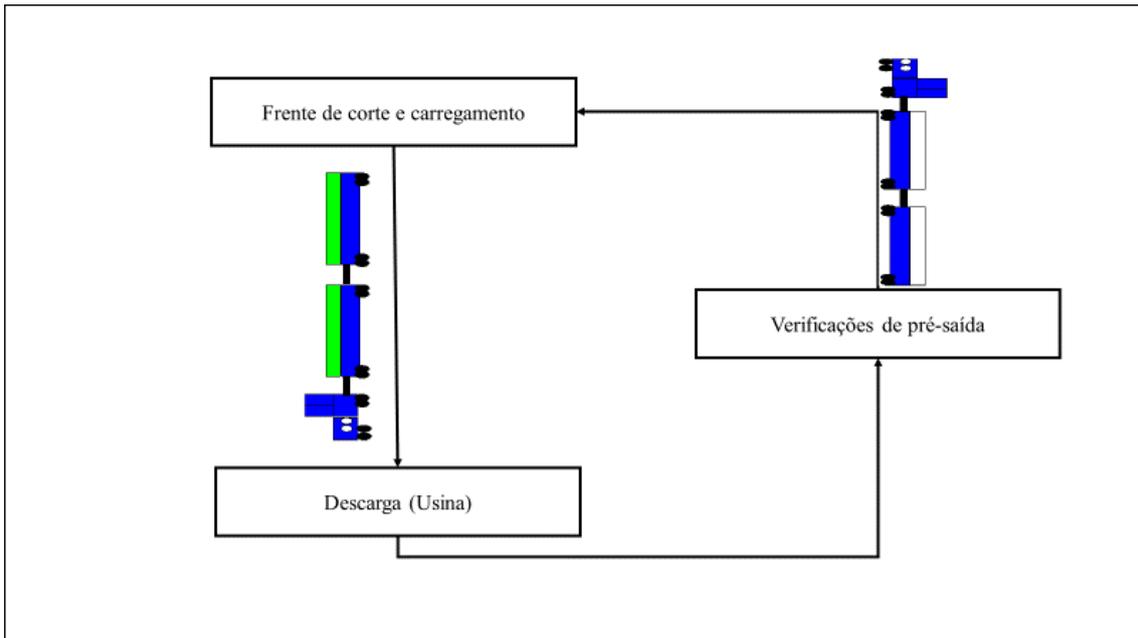
Figura 17– Lógica do campo



Fonte: Adaptado de Silva (2006).

A figura 16 representa a lógica do campo do modelo de simulação, o qual os caminhões chegam à frente e permanecem na área de transferência de carga, aguardando a chegada dos tratores com os seus transbordos (2 unidades). Quando os tratores-transbordos chegam à área de transferência, eles se posicionam ao lado do caminhão. Em seguida, são acionados os pistões hidráulicos pelo seu operador e a carroceria dos transbordos se eleva, transferindo toda a carga para o caminhão. Após a transferência, os tratores-transbordos retornam para área de colheita vazia a fim de efetuarem um novo carregamento. A colhedora tem por função em realizar sequencialmente o corte, a picação e a limpeza da cana conduzindo-a para os transbordos. Após a conclusão da carga, os tratores-transbordos se dirigem para área de transferência e transferem a cana para os caminhões. Em seguida, os caminhões recebem as verificações de pré-saída do campo para usina, fechando assim o ciclo operacional.

Figura 18– Lógica da Usina



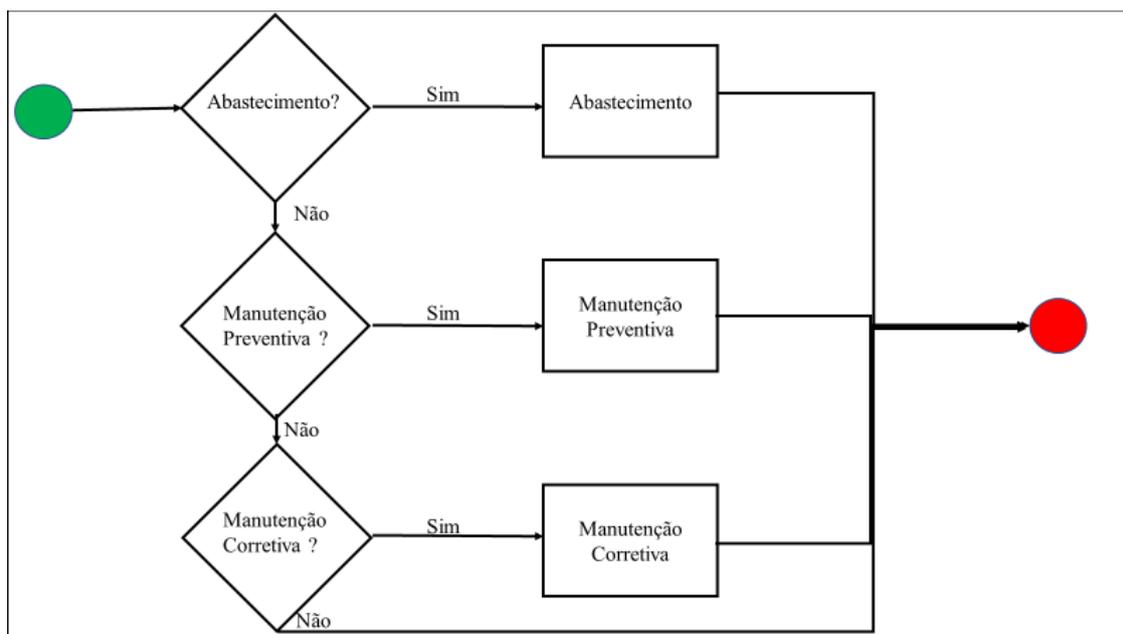
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A lógica da usina representada na figura 18 considerou o processo de descarga do caminhão na usina, as verificações de pré-saída do caminhão da usina para o campo, as manutenções realizadas no caminhão (manutenção preventiva, manutenção corretiva e abastecimento/lubrificação). Em relação às atividades de processamento da cana-de-açúcar dentro da usina, o modelo considerou como um sistema “caixa preta”, ou seja, sem detalhamento visto que o foco da dissertação é na disponibilidade das colhedoras.

Os dados referentes a operação de colheita foram retirados de Silva (2006), sendo somente inseridos os dados de manutenção das colhedoras obtidos pelo autor.

O processo de abastecimento, de manutenção preventiva e de manutenção corretiva das máquinas foi considerado como um submodelo à parte, onde tais intervenções ocorriam por meio de intervalos de tempo estipulados para realizar suas paradas, conforme histórico representado por distribuições teóricas de probabilidade. A representação dos processos de manutenção de colhedoras é apresentada na figura 19.

Figura 19 – Submodelo referente as paradas das máquinas

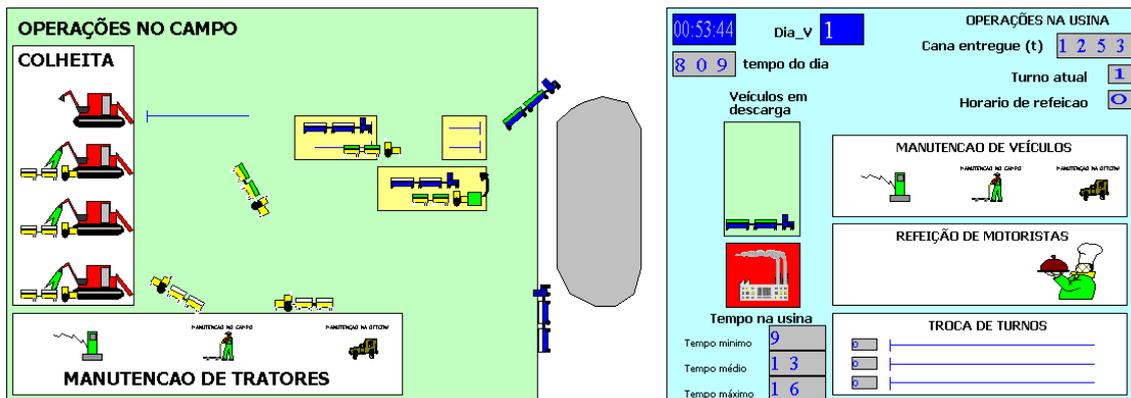


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Além das lógicas de campo e de usina, também foram implementados o controle para a quantidade de cana entregue, o dia de operação que o modelo apresentava durante a simulação, as janelas de refeições de cada turno e as trocas de turno. As paradas para refeição não foram contabilizadas para os operadores de colhedoras e transbordos, visto que esses operadores faziam as refeições nas interrupções entre os carregamentos dos transbordos.

Para acompanhar a perda de disponibilidade das colhedoras durante o período de safra, foi inserido no modelo um fator de perda para a manutenção preventiva e outro para manutenção corretiva no mês para as colhedoras de cana-de-açúcar. Adicionalmente, a parte de animação do sistema de corte, colheita e transporte da cana-de-açúcar foi realizada a fim de aproximar o modelo com a realidade, figura 20.

Figura 20– Animação da frente de colheita da cana-de-açúcar e chegada a usina



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 20 mostra a movimentação dos caminhões e dos tratores-transbordos e a presença de *displays* que informam valores de interesse do sistema como o dia, o tempo do dia, a quantidade de cana entregue, o turno atual, o horário de refeição e o tempo na usina.

Segundo Silva (2006), os recursos gráficos do software Arena permitem a checagem do modelo e realização de discussões do sistema com as pessoas envolvidas no processo, podendo-se também ver e acompanhar as ocorrências de filas, movimentação de entidades, quebras de equipamentos e os valores das variáveis de interesse.

3.5. Dados Gerais

Nesta subseção, foram realizados o tratamento e as respectivas análises dos dados das 6 colhedoras com fabricação de 2012 a 2017 e com diferentes participações em safras fornecidas pela empresa parceira. Desse modo, foi feita a análise das informações de forma individual de cada colhedora e em seguida, a análise em conjunto. Os tempos, a distância entre a usina e o campo e a velocidade do caminhão no deslocamento utilizados no modelo de simulação encontram-se no apêndice A.

3.5.1. Colhedora 2012

A colhedora 2012 com atuação em 6 safras apresenta os seguintes dados fornecidos na tabela 1, conforme fornecido pela empresa parceira.

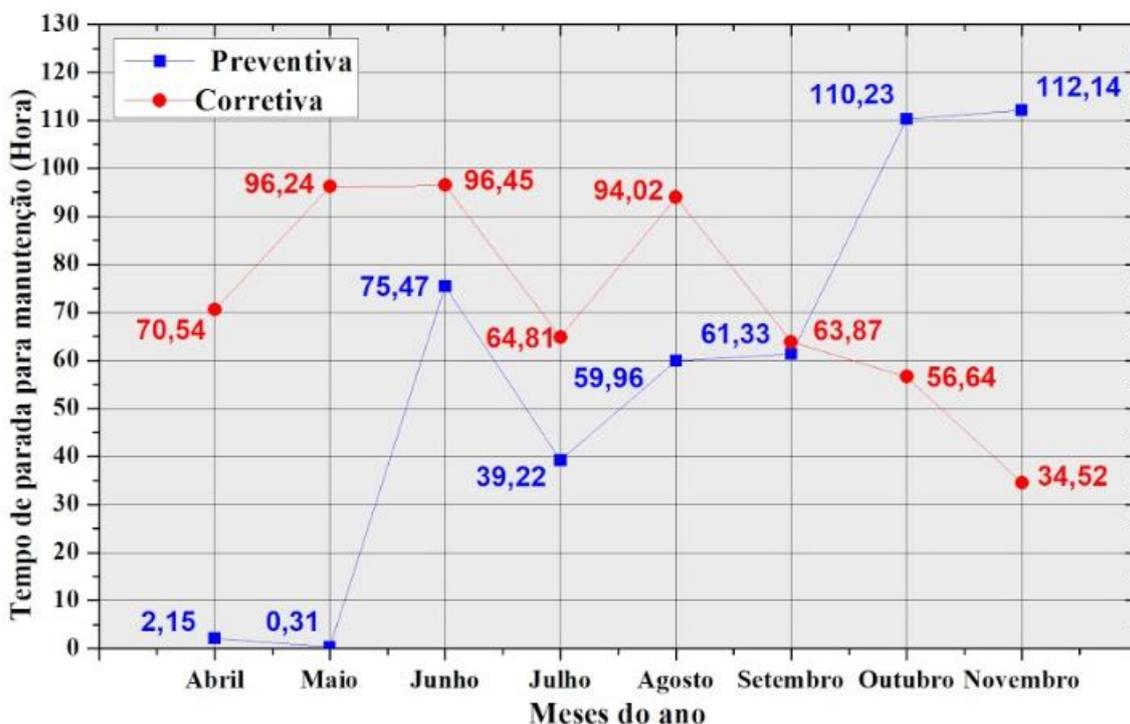
Tabela 1– Dados da colhedora 2012

Mês	Tempo Produtivo (h)	Quantidade de Manutenção Preventiva	Quantidade de Manutenção Corretiva	Quantidade Total de Manutenções	Tempo de Manutenção Preventiva (h)	Tempo de Manutenção Corretiva (h)	Tempo Total de Manutenção (h)	Disponibilidade
Abril	528,01	16	2372	2388	2,15	70,54	72,70	86,23%
Maio	720,45	9	713	722	0,31	96,24	96,55	86,60%
Junho	713,34	29	714	743	75,47	96,45	171,92	75,90%
Julho	744,00	18	609	627	39,22	64,81	104,02	86,02%
Agosto	740,00	31	529	560	59,96	94,02	153,97	79,21%
Setembro	720,00	29	419	448	61,33	63,87	125,21	82,61%
Outubro	734,47	33	463	496	110,23	56,64	166,87	77,28%
Novembro	696,97	43	127	170	112,14	34,52	146,66	78,96%
Média	699,66	26	743	769	57,60	72,14	129,74	81,60%
Total	5597,24	208	5946	6154	460,82	577,08	1037,90	-

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para entender a evolução dos tempos de parada ao longo do tempo, foi plotado o gráfico do tempo de parada de manutenção na figura 21 e o gráfico de disponibilidade na figura 22.

Figura 21– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2012

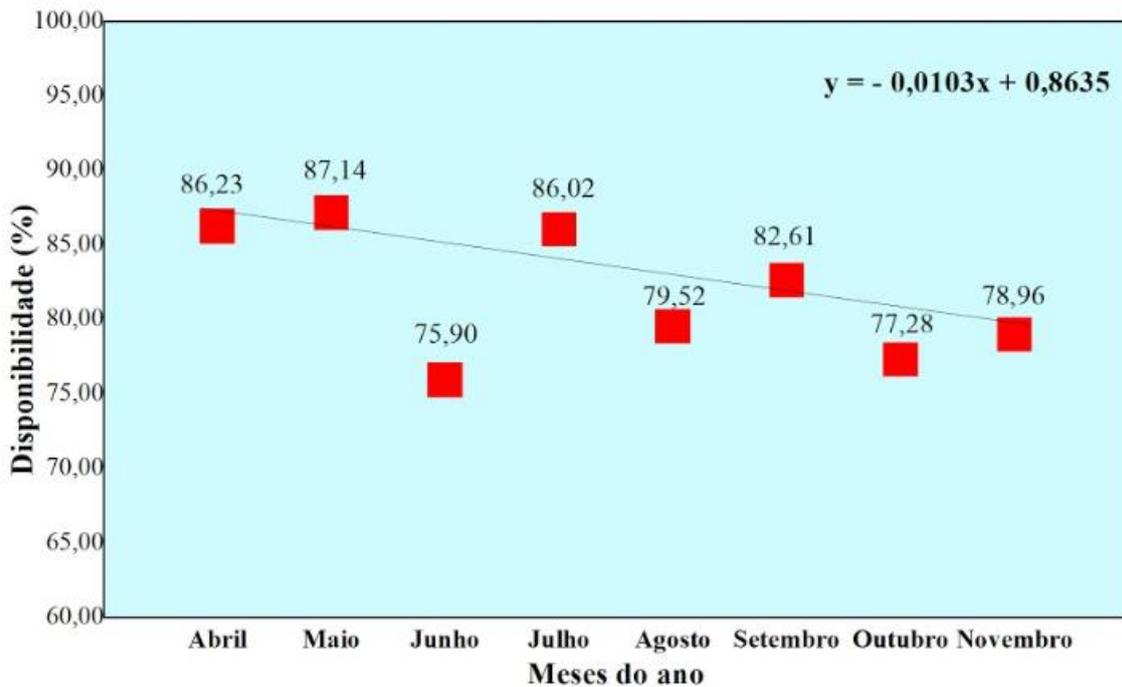


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao analisar a figura 21, pode-se reparar que o tempo de manutenção preventiva foi inferior ao tempo de manutenção corretiva no início da safra. O mês de junho mostrou uma aproximação maior entre os tempos de manutenção preventiva e corretiva, mantida de maneira similar para os meses de julho e agosto. A partir do mês de agosto, a manutenção preventiva apresentou um aumento de tempo em sua operação e a

manutenção corretiva mostrou-se um decaimento em seu tempo. Ao reparar o mês de setembro, o tempo de manutenção preventiva se inverteu ao tempo de manutenção corretiva, o que se manteve até o final da safra. Logo, pode-se concluir que o aumento do tempo de manutenção preventiva fez com que se diminuísse o tempo de manutenção corretiva e a máquina terminasse a safra em operação.

Figura 22 - Disponibilidade da colhedora 2012 na safra



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na figura 22 é possível observar a disponibilidade ao longo dos meses, e a linha de regressão do comportamento da disponibilidade com o passar do tempo de safra. Desse modo, a colhedora 2012 com atuação em 5 safras apresentou no início da safra uma disponibilidade de 86,23%, o qual teve um aumento no mês seguinte que passou a ter disponibilidade de 87,14%. O mês de junho apresentou a menor disponibilidade da colhedora durante a safra com 75,90%. A disponibilidade do mês de julho a novembro apresentou uma oscilação entre 86,02% e 77,28%, terminando a safra com a disponibilidade de 78,96%. Logo, a equação linear representa a queda da disponibilidade com 1,03% a cada mês que passa na operação da colhedora 2012 após realizada quinta safra.

3.5.2. Colhedora 2013

A colhedora 2013 com atuação em 5 safras apresenta os seguintes dados fornecidos na tabela 2, conforme fornecido pela empresa parceira.

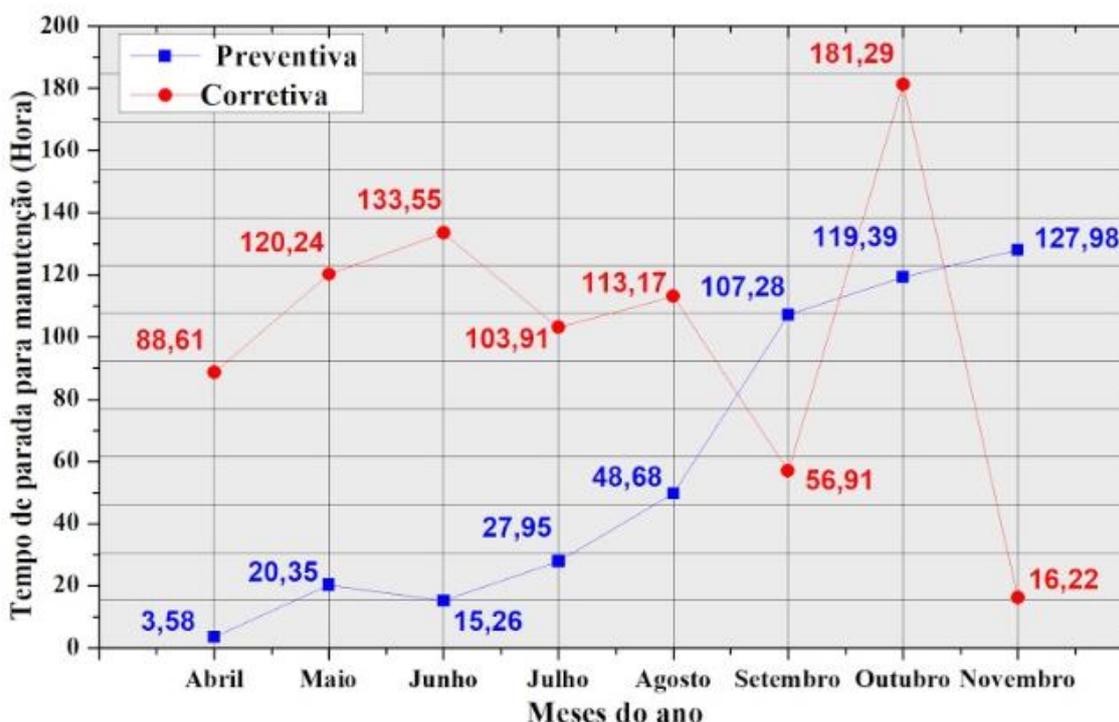
Tabela 2 - Dados da colhedora 2013

Mês	Tempo Produtivo (h)	Quantidade de Manutenção Preventiva	Quantidade de Manutenção Corretiva	Quantidade Total de Manutenções	Tempo de Manutenção Preventiva (h)	Tempo de Manutenção Corretiva (h)	Tempo Total de Manutenção (h)	Disponibilidade
Abril	534,51	21	766	787	3,58	88,61	92,18	82,75%
Mai	744,00	22	1818	1840	20,35	120,24	140,59	81,10%
Junho	712,99	19	931	950	15,26	133,55	148,81	79,13%
Julho	743,51	15	750	765	27,95	103,91	131,87	82,26%
Agosto	737,23	37	388	425	49,68	113,17	162,85	77,91%
Setembro	728,39	33	296	329	107,28	56,91	164,19	77,46%
Outubro	690,17	33	438	471	119,39	181,29	300,68	56,43%
Novembro	710,21	34	118	152	127,98	16,22	144,20	79,70%
Média	700,13	27	688	715	58,93	101,74	160,67	77,09%
Total	5601,00	214	5505	5719	471,47	813,90	1285,37	-

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Em relação ao tempo total de manutenção e a disponibilidade da colhedora 2013 apresentados na tabela 2, será explicado por meio das figuras 23 e 24.

Figura 23– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2013



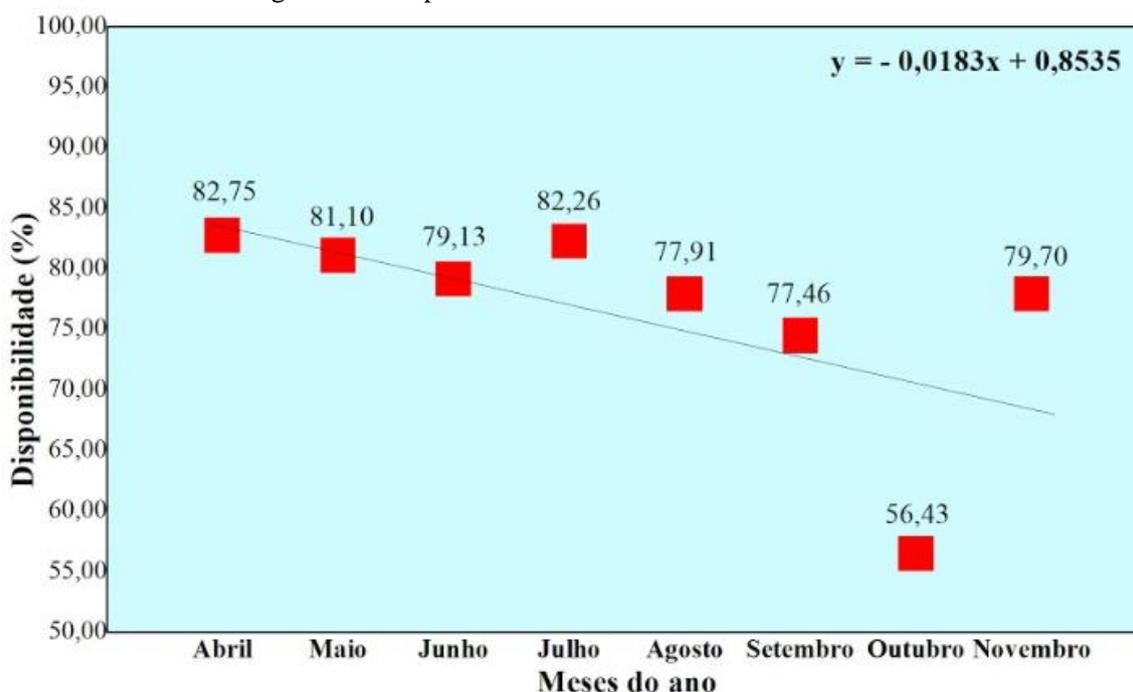
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao reparar a figura 23, pode-se observar que o tempo de manutenção preventiva apresentou um crescimento ao longo da safra e com o decorrer dos meses de abril a junho, a colhedora 2013 teve a menor tempo de manutenção quando comparado aos meses

seguintes. Nos meses de julho a novembro, a colhedora 2013 aumentou o seu tempo de manutenção preventiva de forma gradual que fez terminar a safra com o maior tempo de manutenção preventiva, sendo de 127,98 horas.

O tempo de manutenção corretiva da colhedora 2013 mostra que, no início da safra, se obteve um aumento nos meses de abril, maio e junho com tempo entre 88,61 e 133,55 horas. Já nos meses de julho, agosto e setembro apresentou-se uma queda no tempo em relação ao mês de julho. Entretanto, o mês de outubro apresenta o maior tempo de manutenção corretiva em toda safra, sobrepondo também o tempo de manutenção preventiva.

Figura 24– Disponibilidade da colhedora 2013 na safra



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 24 apresenta a disponibilidade da colhedora 2013 com o passar do tempo da safra. Pode-se observar que a maior disponibilidade da colhedora é no início da safra, com 82,75% e nos meses de maio e junho é apresentada uma queda da disponibilidade. O mês de julho apresentou a segunda maior disponibilidade da colhedora 2013, obtendo 82,26%. Em controvérsia, o mês de outubro teve a menor disponibilidade da colhedora 2013 com 56,43%. Ao chegar ao término da safra, a colhedora 2013 teve sua disponibilidade final de 79,70%. Logo, a equação linear representa a queda da disponibilidade quase de 1,83% a cada mês que passa na operação da colhedora 2013 após realizar sua quarta safra.

3.5.3. Colhedora 2014

A colhedora 2014 com atuação na sua quarta safra apresenta os seguintes dados fornecidos na tabela 3, conforme fornecido pela empresa parceira.

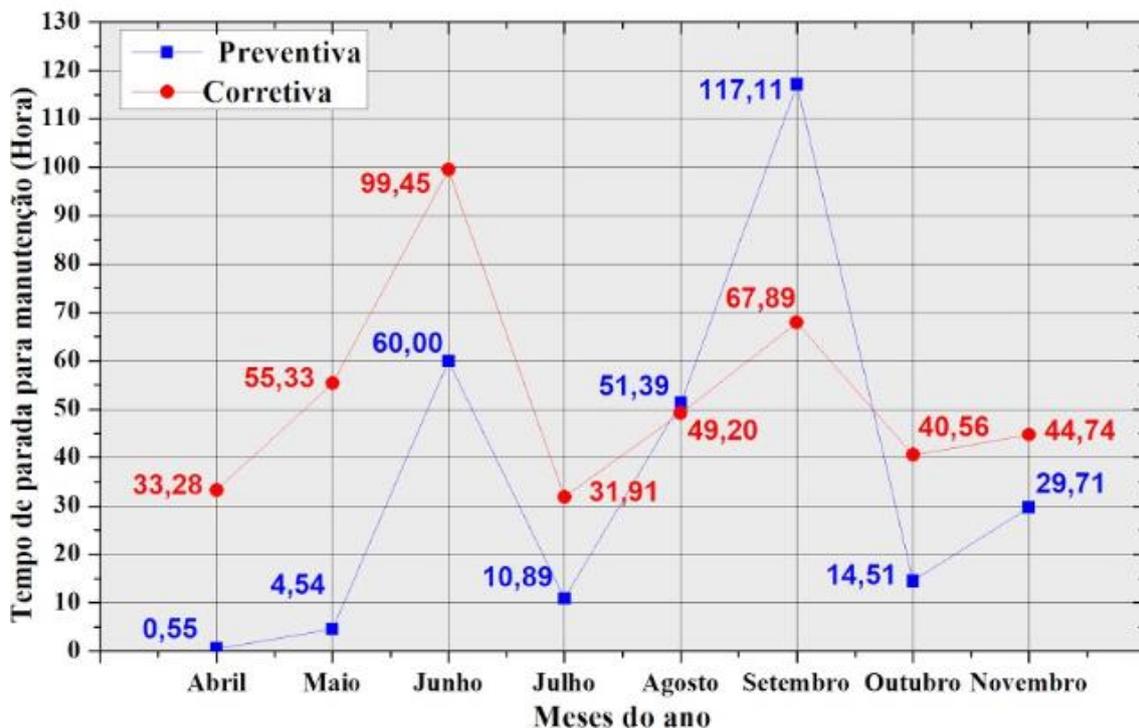
Tabela 3 - Dados da colhedora 2014

Mês	Tempo Produtivo (h)	Quantidade de Manutenção Preventiva	Quantidade de Manutenção Corretiva	Quantidade Total de Manutenções	Tempo de Manutenção Preventiva (h)	Tempo de Manutenção Corretiva (h)	Tempo Total de Manutenção (h)	Disponibilidade
Abril	527,97	9	2508	2517	0,55	33,28	33,83	93,59%
Mai	742,00	24	894	918	4,54	55,33	59,87	91,93%
Junho	711,71	44	841	885	60,00	99,45	159,45	77,60%
Julho	743,99	23	534	557	10,89	31,91	42,81	94,25%
Agosto	743,69	43	544	587	51,39	49,20	100,59	86,47%
Setembro	720,00	49	473	522	117,11	67,89	185,00	74,53%
Outubro	735,91	36	369	405	14,51	40,56	55,07	92,52%
Novembro	696,05	44	412	456	29,71	44,74	74,45	89,30%
Média	702,66	34	822	856	36,09	52,80	88,88	87,52%
Total	5621,31	272	6575	6847	288,71	422,36	711,07	-

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os fatores de tempo de manutenção e de disponibilidade da colhedora 2014 apresentados na tabela 3, será explicado por meio das figuras 25 e 26.

Figura 25– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2014

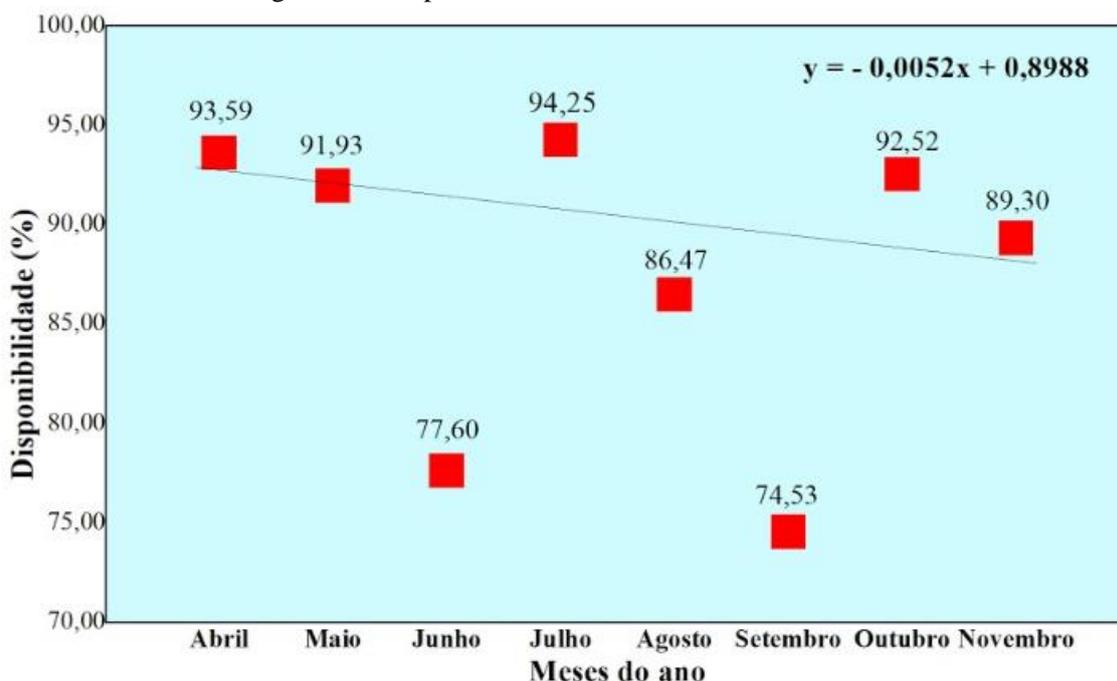


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao analisar a figura 25 que mostra a evolução das horas mensais por tipo de manutenção da colhedora 2014 depois de ter realizado a terceira safra, pode-se ver que o tempo de manutenção preventiva começa em baixa no mês de abril, tendo um aumento somente no mês de junho com 60 horas. Já o tempo de manutenção corretiva começa com um tempo superior em relação à manutenção preventiva com 33,28 horas e fechando no mês de junho com 99,45 horas. Entretanto, os dois tempos de manutenção sofrem uma queda no mês de julho, tendo tempo de parada de manutenção preventiva e corretiva da colhedora 2014 aproximados neste período.

No mês de agosto, a colhedora 2014 sofreu um aumento de tempo de parada de manutenção preventiva, o que fez ultrapassar o tempo de parada de manutenção corretiva. Não obstante, a colhedora 2014 apresentou o seu maior tempo de manutenção preventiva no mês de setembro com 117,11 horas. Nos meses de outubro e de novembro, a colhedora 2014 reduziu o seu tempo de parada de manutenção preventiva, o que fez o tempo de parada de manutenção corretiva ser maior no final da safra.

Figura 26– Disponibilidade da colhedora 2014 na safra



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 26 apresenta a disponibilidade da colhedora 2014 durante a safra, o que permite observar uma disponibilidade de 93,59% no mês de abril e a maior de toda safra. Porém, no mês de maio, a colhedora 2014 sofreu uma queda em sua disponibilidade,

tendo somente 91,93%. A menor disponibilidade da colhedora 2014 foi no mês de setembro com 74,53%. Ao final da safra, a colhedora 2014 obteve uma disponibilidade de 89,30%. Logo, a equação linear representa a perda da disponibilidade com 0,52% a cada mês que passa na operação da colhedora 2014 após sua quarta safra.

3.5.4. Colhedora 2015

A colhedora 2015 com atuação na terceira safra apresenta os dados da tabela 4, conforme fornecido pela empresa parceira.

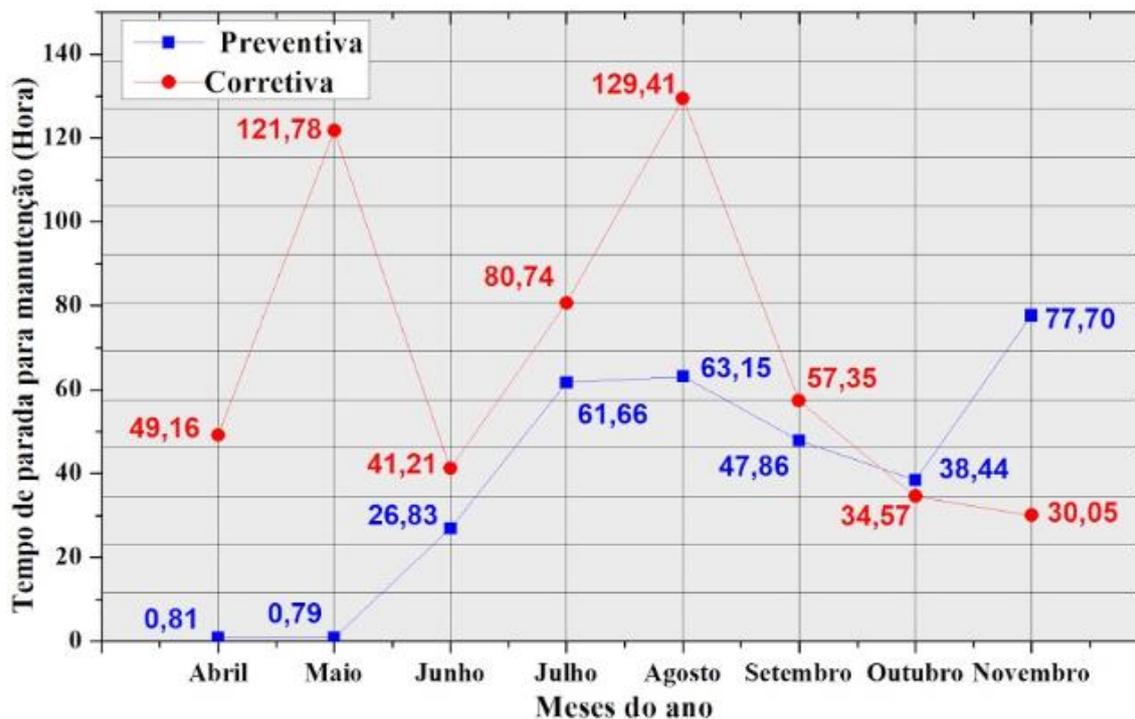
Tabela 4– Dados da colhedora 2015

Mês	Tempo Produtivo (h)	Quantidade de Manutenção Preventiva	Quantidade de Manutenção Corretiva	Quantidade Total de Manutenções	Tempo de Manutenção Preventiva (h)	Tempo de Manutenção Corretiva (h)	Tempo Total de Manutenção (h)	Disponibilidade
Abril	478,46	26	150	176	0,81	49,16	49,97	89,56%
Mai	734,76	17	1120	1137	0,79	121,78	122,57	83,32%
Junho	710,11	35	1495	1530	26,83	41,21	68,03	90,42%
Julho	744,00	33	1046	1079	61,66	80,74	142,40	80,86%
Agosto	744,00	29	340	369	63,15	129,41	192,55	74,12%
Setembro	720,00	30	321	351	47,86	57,35	105,21	85,39%
Outubro	735,46	21	340	361	38,44	34,57	73,00	90,07%
Novembro	679,72	32	162	194	77,70	30,05	107,75	84,15%
Média	693,31	28	622	650	39,65	68,03	107,69	84,74%
Total	5546,50	223	4974	5197	317,23	544,25	861,48	-

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os fatores de tempo de manutenção e de disponibilidade da colhedora 2015 apresentados na tabela 4, será explicado por meio dos gráficos plotados na figura 27 e 28.

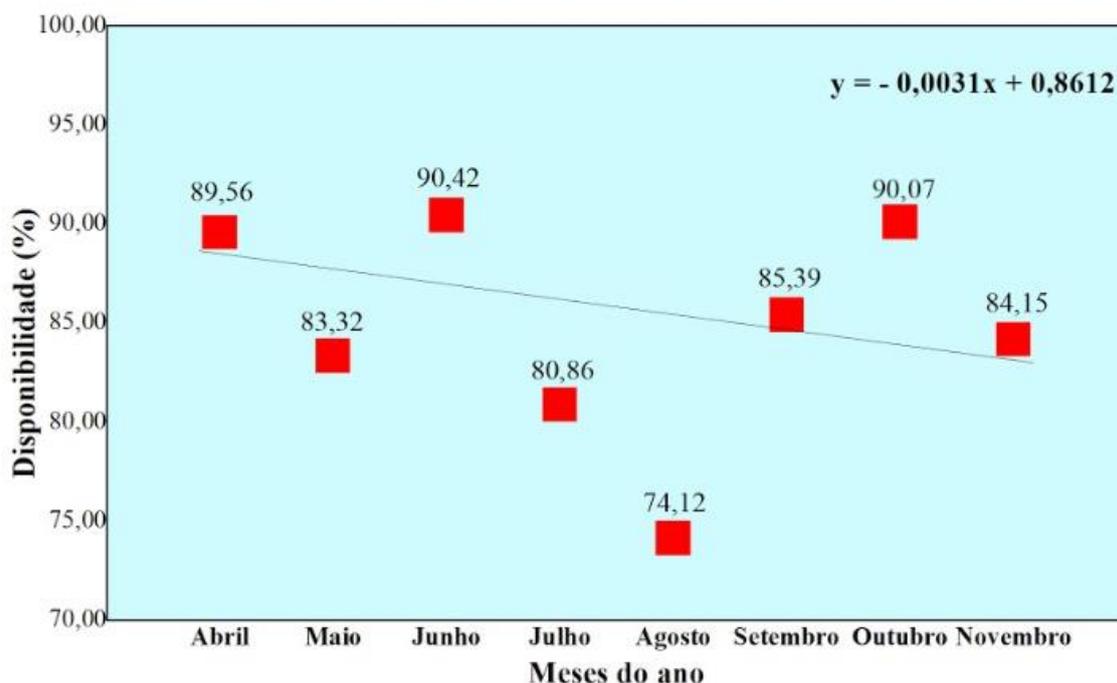
Figura 27– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2015



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 27 mostra o tempo de parada de cada manutenção realizada na colhedora 2015 na atuação de sua terceira safra. O tempo de manutenção preventiva apresentou um tempo menor que 1 hora nos meses de abril e maio. No entanto, a manutenção corretiva apontou tempos superiores a 40 horas nesses meses. Os meses de junho e julho demonstraram tempos de manutenção preventiva e corretiva com diferença por volta de 20 horas. Os meses de agosto e setembro, apontaram um decaimento tanto da manutenção preventiva quanto da manutenção corretiva. Dessa forma, o mês de outubro foi marcado pelo aumento do tempo de manutenção preventiva e pelo decaimento da manutenção corretiva, o que faz a manutenção corretiva terminar com 30,05 horas e a manutenção preventiva com 77,70 horas no mês de novembro.

Figura 28 – Disponibilidade da colhedora 2015 na safra



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A figura 28 apresenta a disponibilidade da colhedora 2015 na safra, o que mostra a disponibilidade de 89,56% no início da safra. Por conseguinte, a colhedora 2015 apontou a menor disponibilidade no mês de agosto com 74,12%. As maiores disponibilidades apresentadas foram nos meses de junho e outubro, tendo 90,42% no mês de junho e 90,07% no mês de outubro. Logo, a equação linear representada na figura 31 apresentou uma queda da disponibilidade de 0,31% a cada mês que passa na operação da colhedora 2015 após a terceira safra.

3.5.5. Colhedora 2016

A colhedora 2016 com atuação na segunda safra apresenta os dados fornecidos na tabela 5, conforme fornecido pela empresa parceira.

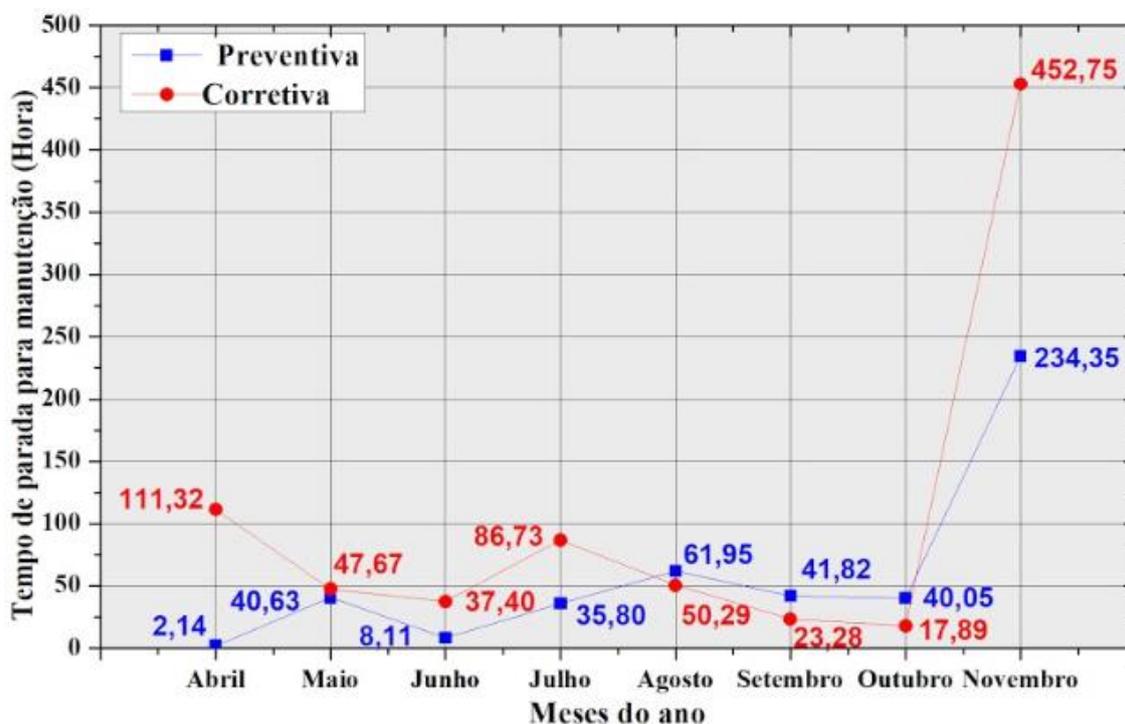
Tabela 5– Dados da colhedora 2016

Mês	Tempo Produtivo (h)	Quantidade de Manutenção Preventiva	Quantidade de Manutenção Corretiva	Quantidade Total de Manutenções	Tempo de Manutenção Preventiva (h)	Tempo de Manutenção Corretiva (h)	Tempo Total de Manutenção (h)	Disponibilidade
Abril	528,09	34	513	547	2,14	111,32	113,46	87,42%
Maio	750,80	29	1575	1604	40,63	47,67	88,30	88,24%
Junho	713,04	53	1534	1587	8,11	37,40	45,51	93,62%
Julho	743,87	36	1342	1378	35,80	86,73	122,53	78,00%
Agosto	744,00	36	885	921	61,95	50,29	112,24	81,52%
Setembro	720,00	35	915	950	41,82	23,28	65,09	85,32%
Outubro	732,22	30	1335	1365	40,05	17,89	57,94	83,40%
Novembro	647,26	29	988	1017	40,05	17,89	57,94	88,24%
Média	697,41	35	1136	1171	33,82	49,06	82,88	85,72%
Total	5579,27	282	9087	9369	270,55	392,47	663,01	-

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O tempo de manutenção e a disponibilidade da colhedora 2016 apresentados na tabela 5, são explicados por meio dos gráficos plotados nas figura 29 e 30.

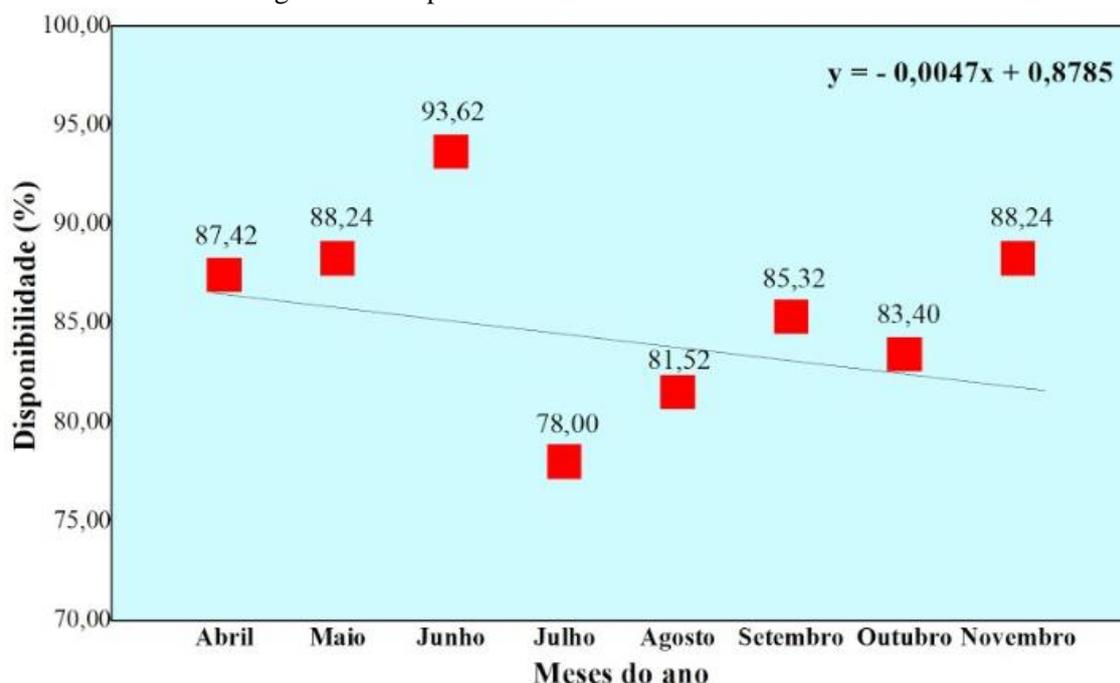
Figura 29– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2016



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Ao analisar a figura 29 que se trata do tempo de parada de cada manutenção realizada na colhedora 2016 na sua segunda safra, pode-se ver que a manutenção preventiva apresentou 2,14 horas de parada quanto a manutenção corretiva teve 111,32 horas. No mês de maio, as manutenções tiveram tempos quase semelhantes, tendo uma diferença de 7,04 horas. Entre julho e agosto, a manutenção preventiva e corretiva teve um aumento no seu tempo de parada. No entanto, o mês de agosto obteve um tempo maior de manutenção preventiva em relação à manutenção corretiva, mantendo-se superior também no mês de setembro e outubro. Ao final da safra, a manutenção corretiva apresentou um tempo superior quando comparado a manutenção preventiva.

Figura 30– Disponibilidade da colhedora 2016 na safra



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Ao observar a figura 30, a colhedora 2016 apresentou uma disponibilidade de 87,42% no início da safra, tendo o aumento nos meses de maio e junho. Em controvérsia, no mês julho a colhedora 2016 teve a menor disponibilidade da safra com 78%. De agosto a novembro, a colhedora 2016 apresentou sua disponibilidade superior que 81%, terminando a safra com 88,24%. Logo, a equação linear representa a queda da disponibilidade com 0,47% a cada mês que passa na operação da colhedora 2016 após realizada a segunda safra da máquina.

3.5.6. Colhedora 2017

A colhedora 2017 na primeira safra apresenta os seguintes dados fornecidos na tabela 6, conforme fornecido pela empresa parceira.

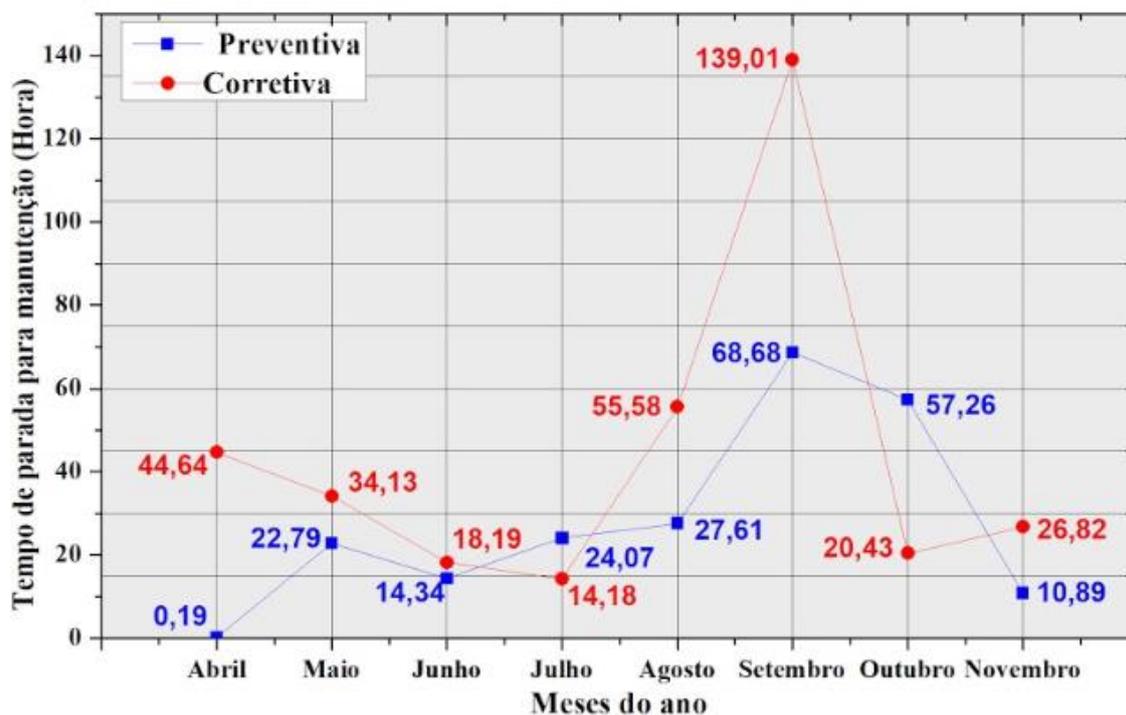
Tabela 6– Dados da colhedora 2017

Mês	Tempo Produtivo (h)	Quantidade de Manutenção Preventiva	Quantidade de Manutenção Corretiva	Quantidade Total de Manutenções	Tempo de Manutenção Preventiva (h)	Tempo de Manutenção Corretiva (h)	Tempo Total de Manutenção (h)	Disponibilidade
Abril	344,73	9	946	955	0,19	44,64	44,83	87,00%
Maio	744,00	25	489	514	22,79	34,13	56,92	92,35%
Junho	688,90	29	840	869	14,37	18,19	32,56	95,27%
Julho	718,48	37	705	742	24,07	14,18	38,25	94,68%
Agosto	743,93	40	646	686	27,61	55,58	83,19	88,82%
Setembro	720,00	36	375	411	68,68	139,01	207,69	71,47%
Outubro	734,45	30	216	246	57,26	20,43	77,69	89,42%
Novembro	695,90	29	296	325	10,89	26,82	37,71	94,58%
Média	673,80	29	564	594	28,23	44,12	72,35	89,20%
Total	5390,39	235	4513	4748	225,85	352,98	578,83	-

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Os fatores de tempo de manutenção e da disponibilidade da colhedora 2017 apresentados na tabela 6, será explicado por meio dos gráficos plotados na figura 31 e 32.

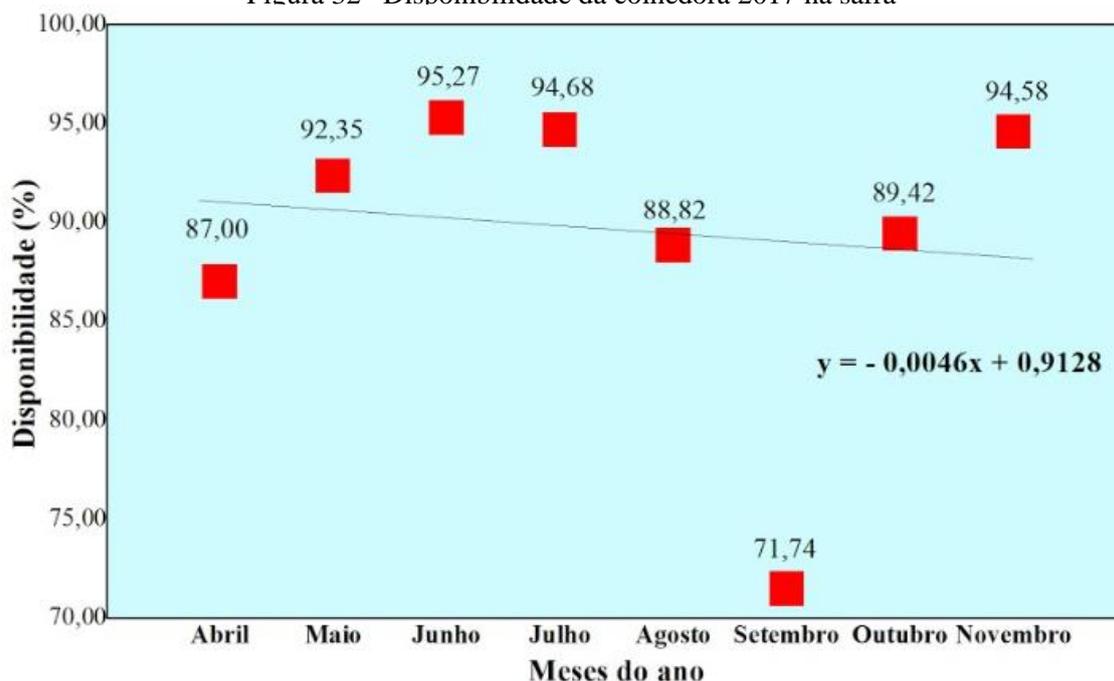
Figura 31– Tempo de parada de manutenção preventiva x manutenção corretiva da colhedora 2017



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Ao ver os tempos de cada manutenção da colhedora 2017 na primeira safra que participa, pode-se dizer que tiveram um aumento no tempo de manutenção preventiva e um decaimento no tempo de manutenção corretiva nos meses de abril e maio. Já o mês de junho mostrou um aumento do tempo de manutenção preventiva o que fez ser superior ao tempo de manutenção corretiva. No entanto, a partir de julho, a manutenção corretiva teve o seu tempo superior ao tempo de manutenção preventiva até o mês de setembro, tendo o maior tempo de manutenção de toda safra. No mês de outubro, a manutenção preventiva foi superior ao tempo de manutenção corretiva. Por fim, o mês de novembro apresentou o tempo de manutenção corretiva superior ao tempo de manutenção preventiva.

Figura 32– Disponibilidade da colhedora 2017 na safra



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 32 apresenta a disponibilidade da colhedora 2017 na safra, o que mostra a disponibilidade de 87% no seu início de safra. Por conseguinte, a colhedora 2017 apontou um aumento da disponibilidade nos meses de maio e junho, sendo a maior disponibilidade no mês de junho com 95,27%. Entre os meses de julho a setembro, a colhedora 2017 apresentou uma menor disponibilidade, tendo o mês de setembro a menor disponibilidade de toda safra com 71,47%. Logo, a equação linear representada na figura 48 apresentou uma queda da disponibilidade de 0,46% a cada mês que passa na operação da colhedora 2017 após realizada sua primeira safra.

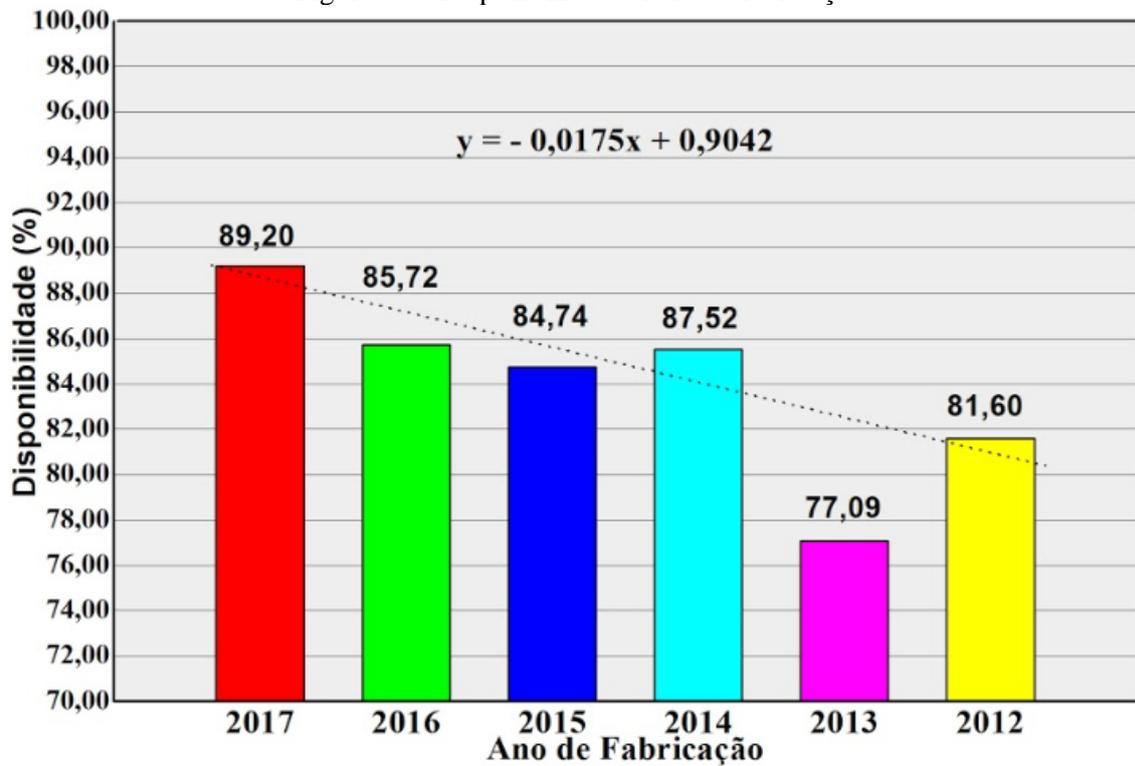
3.5.7. Análise conjunta

Neste subtópico, foi realizada a análise de dados do comportamento da disponibilidade ao longo da safra 2018 e a sua linha de tendência mês a mês das 6 colhedoras a fim de se obter fatores de perdas relacionados à manutenção na safra.

A figura 33 representa a disponibilidade por ano de cada colhedora da empresa parceira. Desse modo, a colhedora 2017 em sua primeira safra apresentou uma disponibilidade com 89,20%, sendo a maior a disponibilidade entre o grupo das colhedoras. Já a colhedora 2016 na sua segunda safra e a colhedora 2015 na terceira safra apresentaram disponibilidade próximas, tendo uma diferença 0,98% de disponibilidade. A colhedora 2014 na sua quarta safra apresentou a segunda maior disponibilidade com

87,54%. A colhedora 2013 na sua quinta safra teve uma disponibilidade de 77,09%, sendo a menor disponibilidade entre as colhedoras. A colhedora 2012 na sua sexta safra apresentou a segunda menor disponibilidade com 81,60%. Dessa maneira, a equação linear apresentou uma queda de 1,75% na disponibilidade, em média, por ano, das colhedoras.

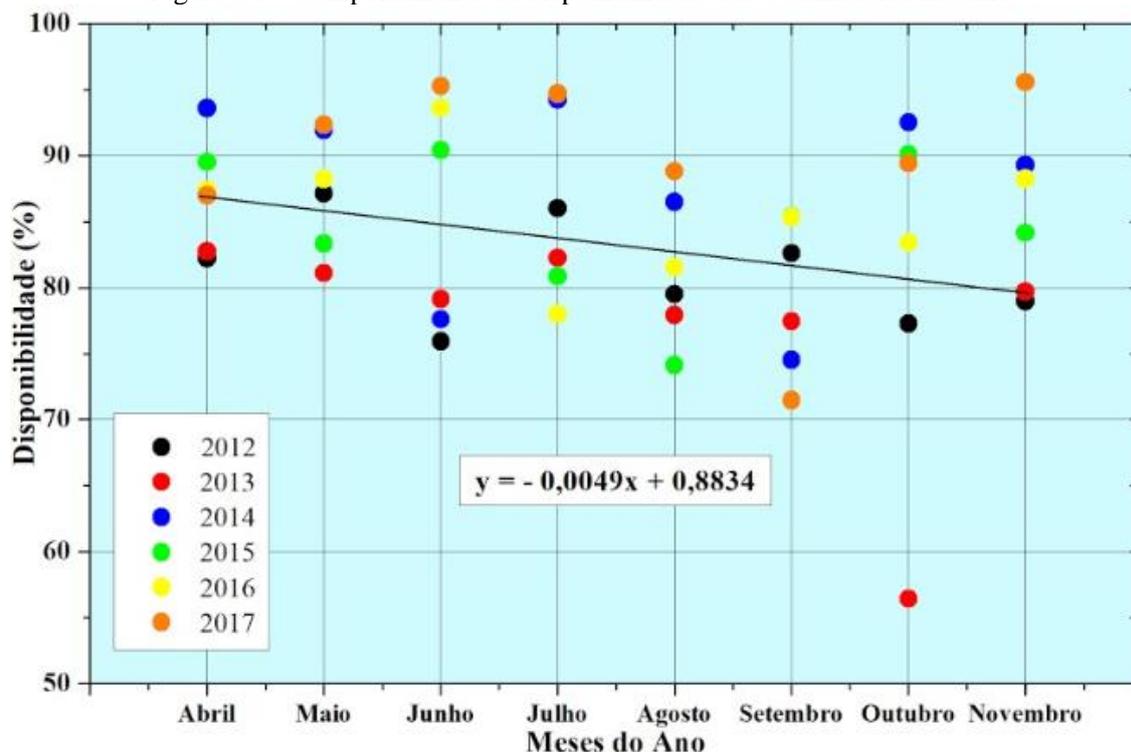
Figura 33 – Disponibilidade x ano de fabricação



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 34 mostra o comportamento da disponibilidade das seis colhedoras ao longo da safra, que apresentou uma redução média de 0,49% ao mês representada na equação linear.

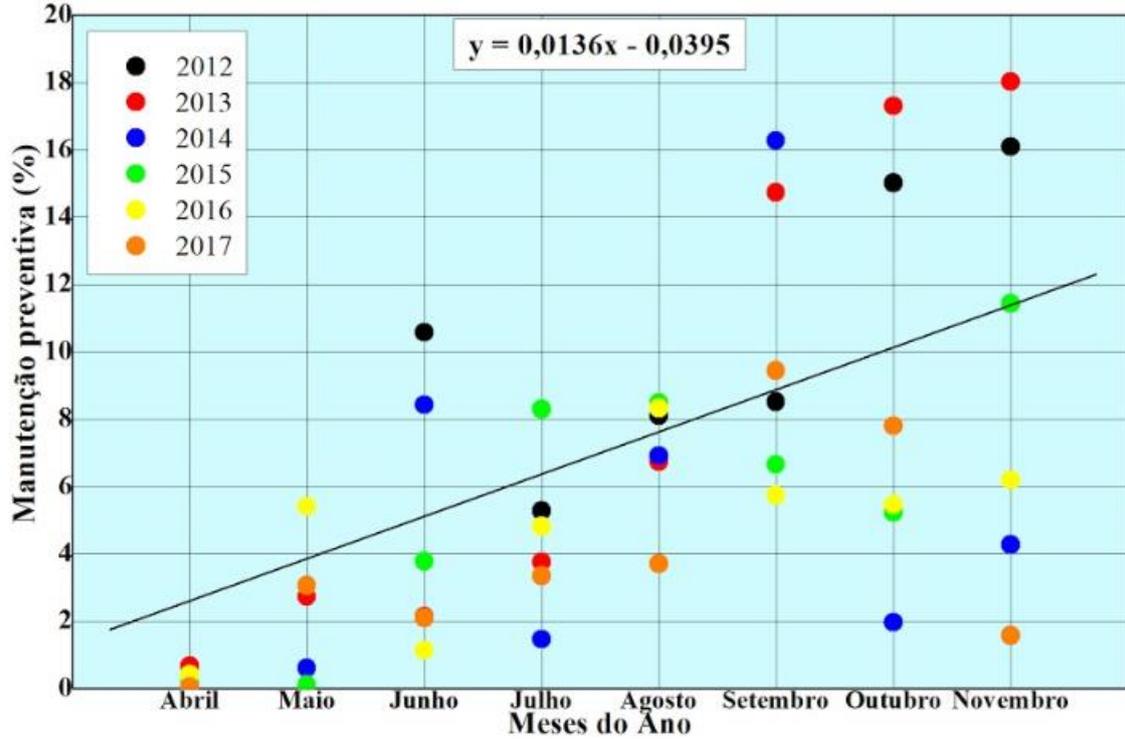
Figura 34 – Comportamento da disponibilidade das 6 colhedoras na safra



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 35 representa o percentual das manutenções preventivas das colhedoras na safra, onde a colhedora 2012 em sua sexta safra e a colhedora 2013 em sua quinta safra apresentam os maiores percentuais de manutenção preventiva em relação às outras. Já a colhedora 2016 em sua segunda safra e a colhedora 2017 em sua primeira safra apresentaram os menores percentuais quando comparado com as outras colhedoras. A colhedora 2014 em sua quarta safra e a colhedora 2015 em sua terceira safra apresentaram percentuais de manutenções preventivas próximos. Dessa forma, ao plotar a linha de tendência para identificar o comportamento dos dados, pode-se perceber que o coeficiente da equação linear apresenta um aumento médio de 1,36% da manutenção preventiva ao mês.

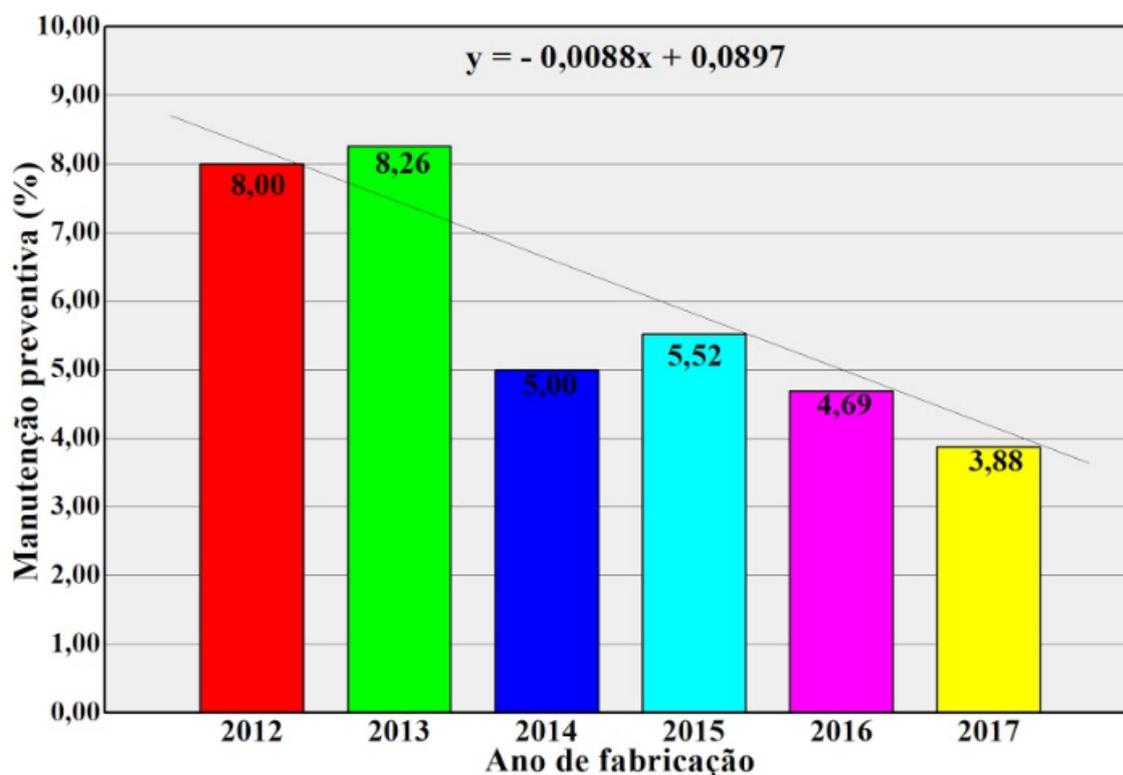
Figura 35 – Comportamento das manutenções preventivas das colhedoras por mês



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 36 representa a manutenção preventiva das colhedoras por ano de fabricação. A figura apresenta a colhedora 2013 com 5 safras de operação tendo a maior porcentagem de manutenções dentre as colhedoras e a colhedora 2017 na sua primeira safra com a menor porcentagem de manutenções no período de safra. A equação linear apresentou um decréscimo médio de 0,88% ao ano nas manutenções preventivas, o que difere entre os anos de fabricação das colhedoras.

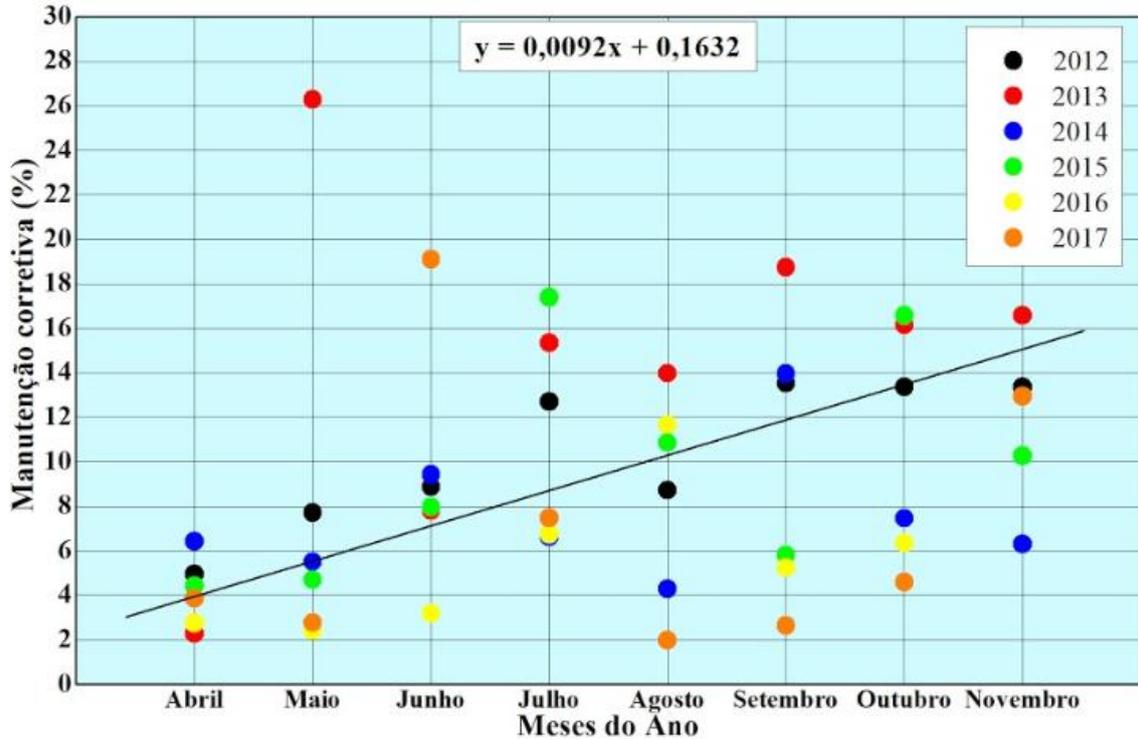
Figura 36– Manutenção preventiva das colhedoras por ano de fabricação



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 37 exprime o percentual do tempo das manutenções corretivas por mês das colhedoras, para o qual foi calculado a regressão linear a fim de normalizar os dados, apresentando um aumento médio de 0,92% ao mês, à medida que a safra avança. Infere-se que, com o passar do tempo, o desgaste dos mecanismos devido ao uso promoveu a intensificação das manutenções corretivas.

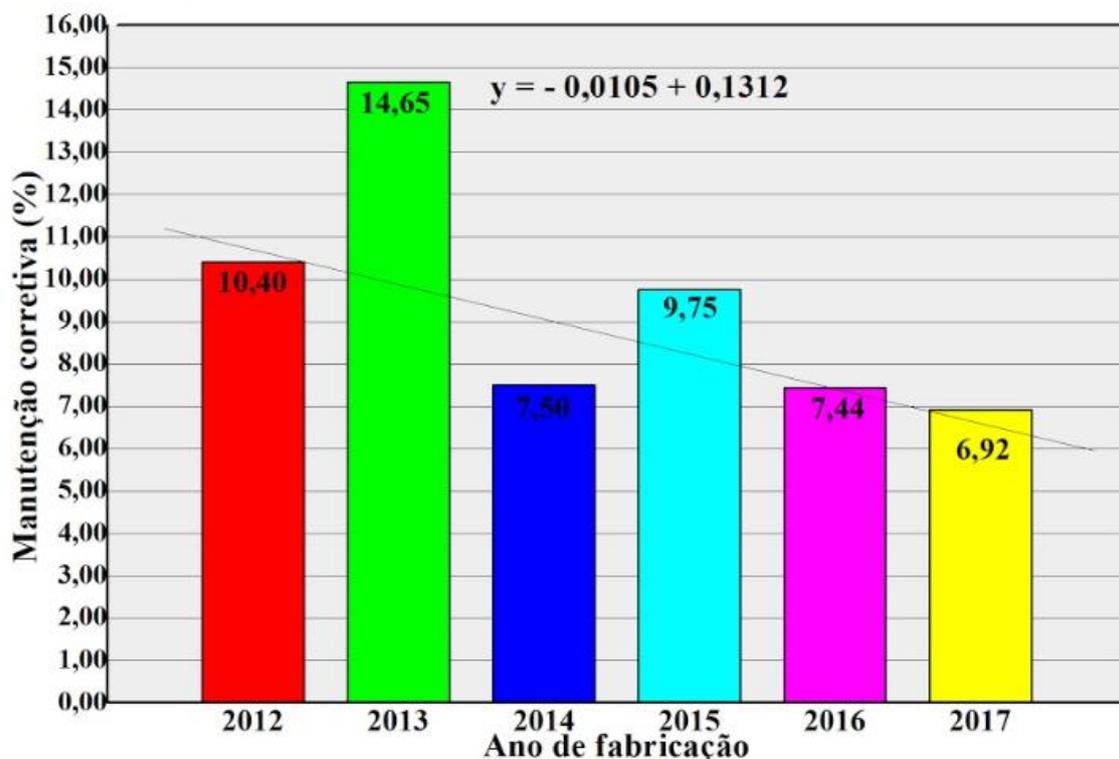
Figura 37– Comportamento das manutenções corretiva das colhedoras por mês



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 38 expressa a manutenção corretiva de cada colhedora, conforme o ano de fabricação. A colhedora 2013 apresentou em sua quinta safra um percentual de 14,65% superior as outras colhedoras e a colhedora 2017 na sua primeira safra com o percentual de 6,92%, sendo o menor percentual entre as colhedoras. A colhedora 2016 em sua segunda safra e a colhedora 2014 em sua quarta safra apresentaram percentuais bem próximos, tendo uma diferença percentual de 0,06%. Já colhedora 2012 em sua sexta safra e a colhedora 2015 em sua terceira safra apresentaram percentuais também próximos, tendo uma diferença percentual de 0,65%. A equação linear indica uma queda de 1,05%, em média ao ano, das colhedoras.

Figura 38 – Manutenção corretiva da colhedora por ano de fabricação



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.6. Processamento dos dados de manutenção

Para realizar o tratamento dos dados, o *software Input Analyzer* foi utilizado para ler os dados mensurados do sistema reportado da empresa parceira e elaborar um histograma com os dados agrupados em classes de frequência. Dessa maneira, o *software* permite que as distribuições teóricas de probabilidade (Normal, Exponencial, Lognormal e entre outras) sejam testadas quanto a aderência do histograma e ordenadas em função do erro quadrático.

Segundo Freitas Filho (2001), o *software Input Analyzer* possui duas ferramentas de testes de aderências para avaliar a qualidade do ajuste: Qui-quadrado (χ^2) e Kolmogorov-Smirnov (KS). A decisão de quando aplicar um ou outro teste baseia-se no tamanho da amostra definido e na natureza da distribuição. O teste χ^2 é geralmente aplicado conjuntos com pelo menos 100 valores, o que difere do KS que é aplicável a pequenas amostras. O teste KS é válido apenas para as distribuições contínuas enquanto o χ^2 pode ser aplicado a ambos os tipos, contínuos e discretos. Os dois testes de aderência fornecem análise de qualidade de ajuste ao parâmetro *p-value*.

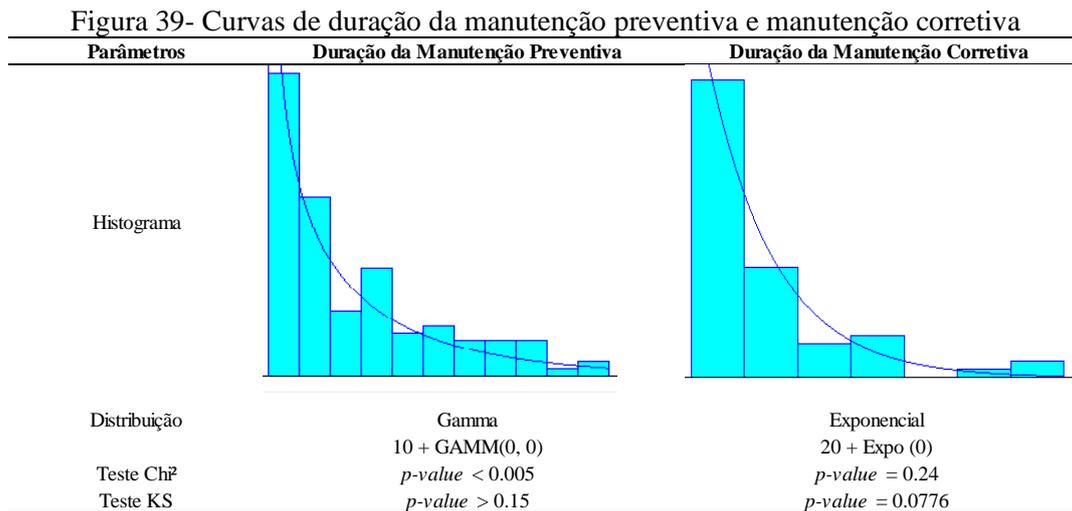
“Mais precisamente, o p-value é a probabilidade de se obter um conjunto de dados que seja mais inconsistente com a distribuição ajustada do que o conjunto de dados que na verdade foi obtido, caso a distribuição ajustada corresponda à verdadeira.”

(KELTON; SADOWSKI & SADOWSKY, p.137)

Para Freitas Filho (2001), o significado p-value indica que valores menores do que 0,05 é aconselhável não confiar no resultado do ajuste realizado e valores acima de 0,10 pode-se confiar na distribuição teórica obtida.

Nesta dissertação, foi usado o *software Input Analyzer* que já resulta de forma independente na aplicação dos testes do Chi² e do KS. Vale lembrar que os dados fornecidos pela empresa parceira ultrapassaram mais de 100 dados, sendo analisado o Chi² com os seus *p-value*.

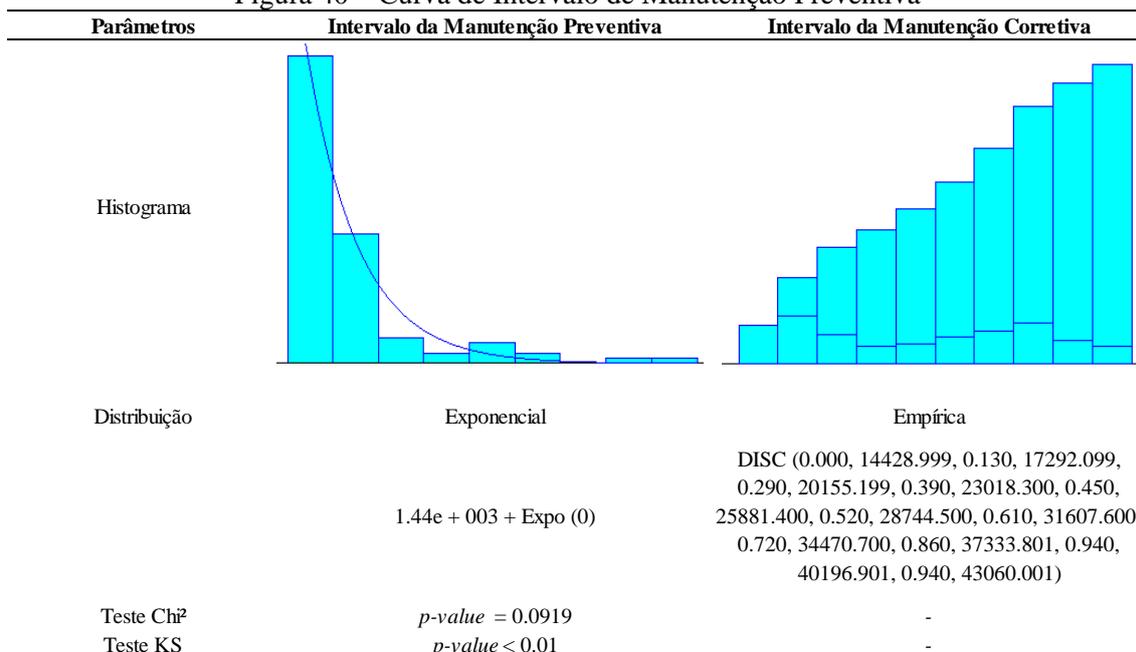
A curva de duração da manutenção preventiva das colhedoras, teve o melhor ajuste na distribuição Gamma e um *p-value* inferior a 0,005 que pode ser vista na figura 39. A curva para duração da manutenção corretiva teve ajuste de uma distribuição Exponencial e um *p-value* igual 0.24, o que torna uma distribuição confiável (figura 39).



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Acrescentou-se uma curva de intervalo da manutenção preventiva para o modelo de simulação, obtendo-se uma distribuição Exponencial com *p-value* 0.0919, o que se mostra superior 0,05 como estabelecido (figura 40). Por último, foi plotado uma curva de intervalo da manutenção corretiva, o qual teve o melhor ajuste a distribuição Empírica.

Figura 40 – Curva de Intervalo de Manutenção Preventiva



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao realizar a curva de intervalo da manutenção corretiva, foi observado que o teste do Chi² não resultou em $p\text{-value}$ superior que a 0,05 para um nível de significância de 95%. Logo, teve-se que optar pela utilização da distribuição empírica.

O uso de distribuições empíricas como dados de entrada em modelos de simulação pode produzir um resultado com maior validade externa (FLYNN *et al.*, 1990). Entretanto, o modelo terá que trabalhar dentro dos limites estabelecidos pelos dados colhidos, não podendo avaliar diferentes situações da variável no passado (FREITAS FILHO, 2001). Dessa forma, será remediado na utilização dos cenários.

3.7. Determinação do tempo transiente e da duração da simulação

Após a coleta de dados, o tratamento de dados e a verificação do modelo computacional, rodadas de simulação preliminares foram realizadas a fim de obter o período transiente (tempo de *warm-up*) e a determinação do período total de simulação. Segundo Freitas Filho (2001), é necessário que se realize a classificação do sistema em sistemas terminais e não-terminais (FREITAS FILHO, 2001).

Os sistemas terminais são aqueles que apresentam condições iniciais fixas (o sistema volta assumir o seu estado inicial após cada rodada de simulação) e um evento que determina o término natural para o processo de simulação (PRADO, 2004). Por exemplo, setor de serviços como restaurantes, bancos, lojas, comércios, entre outros.

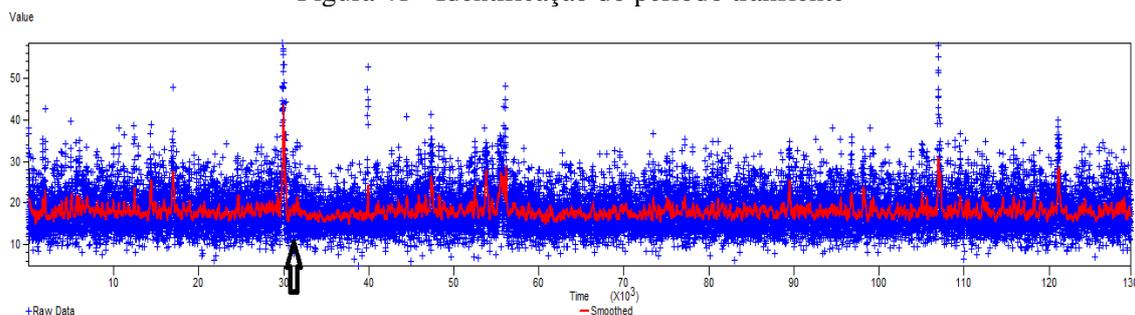
Os sistemas não terminais não possuem condições iniciais fixas e nem um evento que determina o fim do processo de simulação. Por exemplo, os serviços de 24 horas, os hospitais, os sistemas de comunicação, entre outros.

Por se tratar de um sistema de CTT, o sistema foi classificado em sistema não-terminal, uma vez que não é possível definir um ponto de início e um ponto de término, por possuir um comportamento contínuo. Dessa forma, o *software Output Analyzer* foi utilizado para determinar a fase transiente no início da simulação e do período total simulado.

O tempo de simulação estipulado do modelo foi de 244 dias o que equivale a 351.360 minutos para o período da safra completa do ano de 2018 (abril a novembro). No entanto, o esforço computacional para essa representação do período de safra foi pequeno, possibilitando a representar a safra toda. Dessa forma, o período transiente do início da simulação foi determinado por meio de uma simulação piloto de 90 dias (de 24 horas cada dia) referente ao tempo de safra, onde teve a observação do comportamento da variável “tempo de colheita” da colhedora, sendo considerada representativa para avaliação da disponibilidade da colhedora. A variável tempo de colheita consiste no tempo de início das atividades de colheita até o momento de sua parada para troca de turnos, refeições, espera de trator-transbordo e manutenções. Logo, foi estabelecido que as variações poderiam ser até 5% em torno da média da variável de estudo para se ter um intervalo de confiança de 95%.

Para identificar o término do período transiente foi utilizado o método visual, uma vez que, a partir da construção de um gráfico, pode-se apontar o comportamento da variável de resposta ao longo do tempo e observar em que momento as respostas passam a ter uma conduta mais estabilizada (FREITAS FILHO, 2001). A figura 41 apresenta o comportamento dos registros da variável, o que pode concluir que o período transiente se encerra próximo a 32.000 minutos de operação como apontado pela seta. Sendo assim, o tempo de trabalho da colhedora apresenta um comportamento estabilizado alcançados picos de tempo semelhantes, mas inferiores ao máximo identificado com o decorrer da simulação. Logo, considerou-se que período transiente é de 23 dias (33.120 minutos).

Figura 41 - Identificação do período transiente

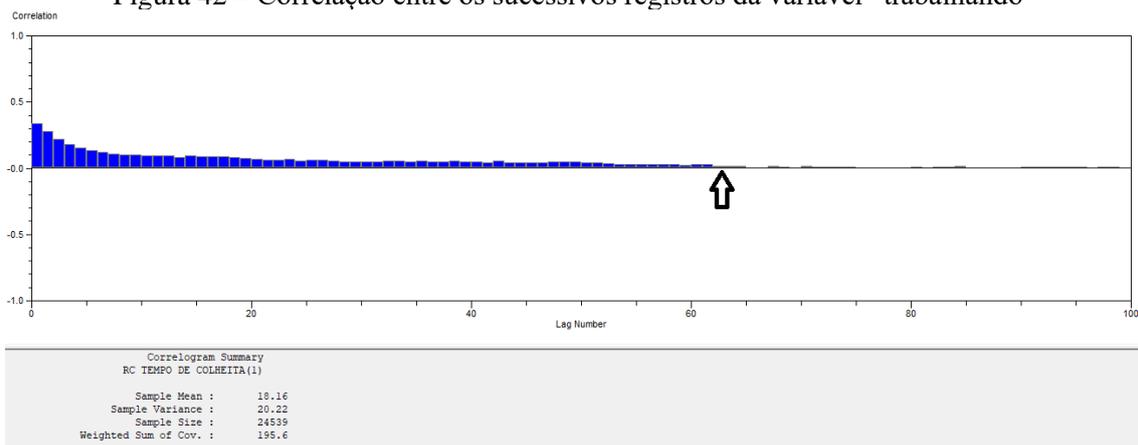


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para se calcular o período total de simulação foi usado o método de loteamento, o qual determinou-se um tamanho de lote a fim de ter correlação dos sucessivos registros da variável “tempo de colheita”.

Os lotes formados foram por 65 observações, uma vez que obteve uma baixa correlação e os registros sucessivos se mostraram independentes. Isto quer dizer que a influência do tempo trabalhando pelo sistema de uma determinada entidade sobre o tempo trabalhando é praticamente nula. Na figura 42 e no anexo A, pode-se observar o comando de correlograma do *software Output Analyzer* para encontrar 65 lotes de observações.

Figura 42 – Correlação entre os sucessivos registros da variável “trabalhando”



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para garantir a independência entre as médias dos lotes, os analistas têm por costume multiplicar o tamanho do lote mínimo por um coeficiente de segurança 10 (FREITAS FILHO, 2001). Sendo assim, o lote mínimo identificado foi multiplicado e obteve-se um total de 650 (10 x 65) registros por lote.

A simulação piloto de 90 dias teve 46.000 registros da variável em estudo “tempo de colheita” num período de 130.000 minutos. Dessa maneira, o intervalo médio entre os registros sucessivos da variável em estudo foi de 2,82 minutos por observação.

A equação 9 determinou o tempo de simulação e utilizou uma quantidade de amostras desejadas de 30, visto que a literatura indica que é suficiente para se conhecer sua variabilidade e estimar intervalos de confiança no entorno da média (FREITAS FILHO, 2001).

$$TS = TD + N \times Q \times TA \quad (\text{Equação 9})$$

em que:

TS = Tempo de simulação;

TD = Tempo de descarte;

N = Quantidade de amostras;

Q = Quantidade de observações por amostras (tamanho dos lotes);

TA = Tempo de simulação de cada amostra;

Assim, atribuindo-se valores aos termos da equação 9, tem-se:

$$TS = 33.120 + (30 \times 640 \times 2,82) = \mathbf{87.264 \text{ minutos}}$$

O valor encontrado do TS foi de 87.264 minutos equivalente aproximadamente 61 dias, sendo menor que o tempo utilizado na rodada de 90 dias. Para o passo seguinte, foi utilizado o tempo de 61 dias para confirmar a quantidade de lotes formados de 650 registros cada. Pode-se observar que se formou 28 lotes (amostras) de 650 registros cada um (figura 43).

Figura 43 – Quantidade de lotes formados em 90 dias de simulação

```

Batch/Truncate Summary
RC TEMPO DE COLHEITA

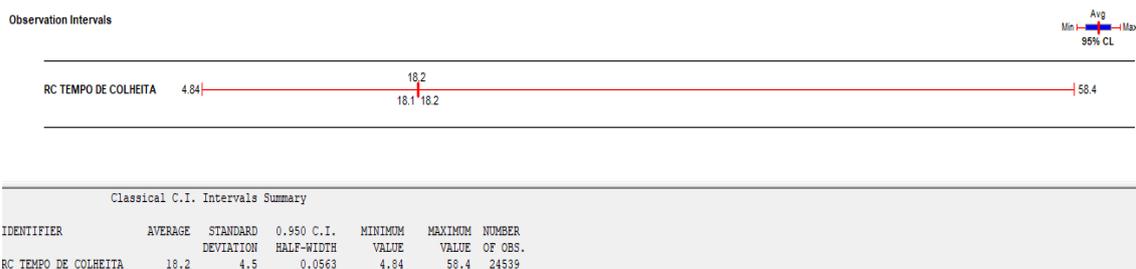
Batched observations stored in file : C:\Users\55219\Desktop\Dissertação\Output\batch.tru

Initial Time Truncated : 3.312e+004
Number of Batches : 28
Number of Observations Per Batch : 650
Number of Trailing Obs'ns Truncated : 63
Estimate of Covariance Between Batches : 0.4069
    
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O intervalo de confiança da variável usada como referência foi obtido com base nas 28 amostras de lotes formados. Neste caso, a figura 44 representa o semi-intervalo de confiança que foi de 0,06 minutos no entorno da média de 18,2 minutos.

Figura 44 – Intervalo de confiança de 95% no entorno da média



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Considerando a busca pelo intervalo de confiança em torno de 5% da média amostral, ou seja, 0,91 minutos, o valor é superior ao semi-intervalo, o que pode concluir que as 28 amostras geradas são suficientes para garantir que a variável de interesse esteja dentro do intervalo de confiança [17,29; 19,11] em 95% das observações, conforme apresentada na figura 43.

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos cenários propostos por meio do modelo de simulação, tendo sua estrutura em forma de tabela com as seguintes informações: produtividade das colhedoras no período de safra, manutenções de cada colhedora, disponibilidade e o percentual das atividades das colhedoras. Em seguida, foi elaborado o gráfico de acompanhamento da disponibilidade com as suas respectivas linhas de tendências de cada cenário.

Para finalizar as análises, foi acrescentado um subtópico com ênfase na comparação dos cenários propostos. Para se obter a porcentagem de tempo de cada atividade realizada pelas colhedoras utilizou-se a equação 8.

$$Perc. = \frac{\text{Tempo total da atividade}}{318.240 \text{ min}} \times 100 \quad (\text{equação 8})$$

4.1. Cenário 1

Os principais resultados obtidos do cenário 1 são referentes as colhedoras 2017 em sua primeira safra, onde são apresentados na tabela 7 e nas figuras 45.

Tabela 7 – Resultados do cenário 1

PRODUÇÃO (t)				
1.231.675				
MANUTENÇÃO				
Descrição	2017.1	2017.2	2017.3	2017.4
Tempo total de manutenção preventiva (min)	6.212	4.626	3.949	6.617
Tempo médio de manutenção preventiva (min)	52	42	33	54
Tempo total de manutenção corretiva (min)	1.034	1.213	1.297	1.582
Tempo médio de manutenção corretiva (min)	115	111	118	122
ATIVIDADES DAS COLHEDORAS (%)				
Descrição	2017.1	2017.2	2017.3	2017.4
Abastecimento	2,2	2,2	2	2,2

Manutenção preventiva	2	1,5	1,2	2,1
Manutenção corretiva	0,3	0,4	0,4	0,5
Trabalhando	77,3	77,5	77,8	76,7
Ociosa	18,2	18,4	18,4	18,5

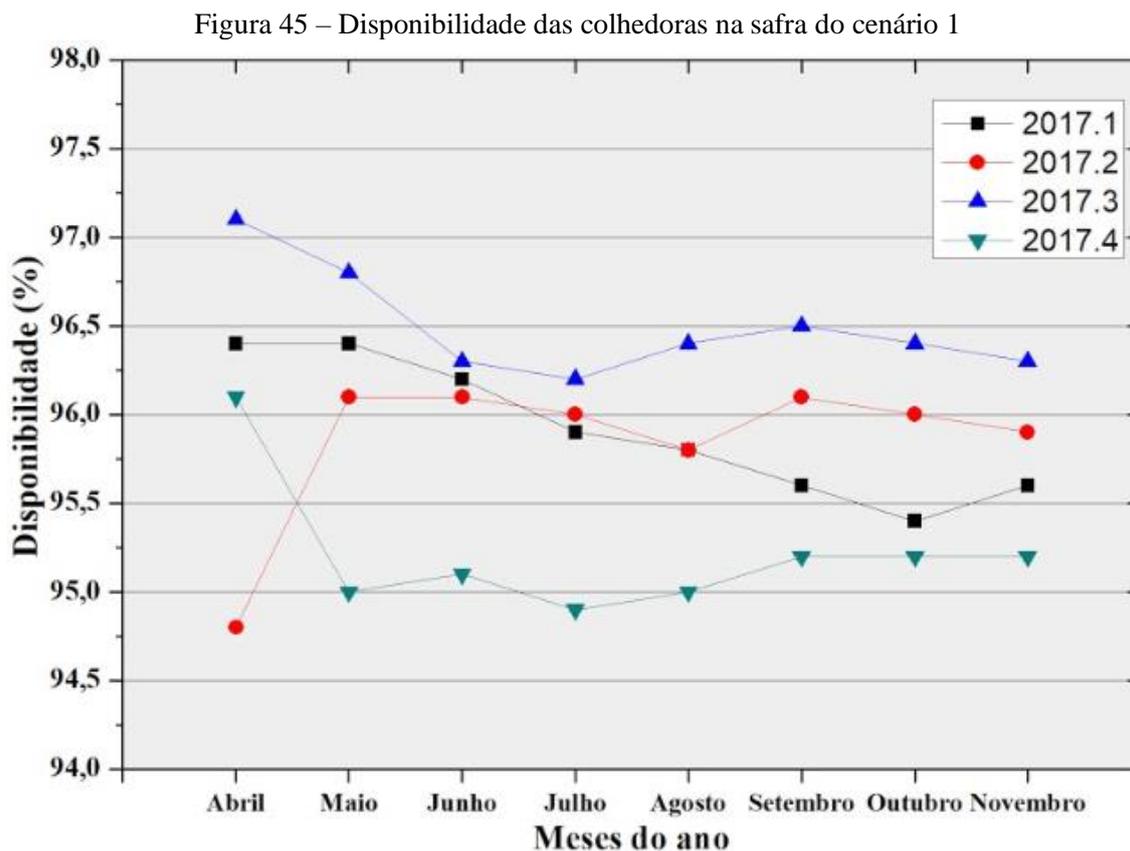
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao ver o resultado da produtividade das colhedoras de ano 2017 na primeira safra, pode-se dizer que sua a produtividade na safra foi de 1.231.675 toneladas colhidas de cana-de-açúcar, obtidas por meio do modelo de simulação.

O tempo total de manutenção preventiva dentro do período de safra variou de 3.949 minutos até 6.617 minutos. Quando se observa o tempo total de manutenção corretiva, pode se ver que o seu tempo mínimo foi de 1.034 minutos e o seu máximo de 1.582 minutos.

O tempo médio mínimo de manutenção preventiva das colhedoras de mesmo ano neste cenário foi de 33 minutos, podendo chegar até 54 minutos. Já o tempo médio mínimo obtido para manutenção corretiva das colhedoras foi de 111 minutos, o que pode ter um máximo de 122 minutos como apresentado pela máquina 2017.4.

A figura 45 representa o comportamento da disponibilidade das colhedoras do cenário 1 durante a safra.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao ver a figura 45, pode-se dizer que as colhedoras 2017.1, 2017.3 e 2017.4 apresentaram maior parte da safra com queda na disponibilidade, mas tendo pequenas variações de aumento da disponibilidade em alguns períodos de safra. No entanto, a colhedora 2017.2 apresentou aumento da disponibilidade entre os meses, mas terminou a safra com queda na disponibilidade.

A maior disponibilidade apresentada no início da safra foi da colhedora 2017.3 com 97,1% e quando se ver a menor disponibilidade das colhedoras, encontra-se a colhedora 2017.2 com 94,8%. Ao término da safra, colhedora 2017.3 permaneceu com a maior disponibilidade de 96,3% entre as colhedoras e a colhedora 2017.4 passou a apresentar a menor disponibilidade com 95,2%.

4.2.Cenário 2

Os principais resultados obtidos do cenário 2 são referentes as colhedoras 2017, 2016, 2015 e 2014, onde que são apresentados na tabela 8 e na figura 46 e 47. Vale ressaltar que as colhedoras do cenário 2 possuem as seguintes características: colhedora 2017 em sua primeira safra, colhedora 2016 em sua segunda safra, colhedora 2015 em sua terceira safra e colhedora 2014 em sua quarta safra.

Tabela 8 – Resultados do cenário 2

PRODUÇÃO (t)				
1.215.819				
MANUTENÇÃO				
Descrição	2017	2016	2015	2014
Tempo total de manutenção preventiva (min)	5.016	5.586	5.850	5.412
Tempo médio de manutenção preventiva (min)	44	49	50	44
Tempo total de manutenção corretiva (min)	1.248	726	1.716	2.004
Tempo médio manutenção corretiva (min)	104	66	132	167
ATIVIDADES DAS COLHEDORAS (%)				
Descrição	2017	2016	2015	2014
Abastecimento	2,2	2,1	2,2	2,3

Manutenção preventiva	1,6	1,8	1,8	1,7
Manutenção corretiva	0,4	0,2	0,5	0,6
Trabalhando	76,3	76,4	75,8	75,9
Ociosa	19,5	19,5	19,6	19,5

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A produtividade do mix de colhedoras do cenário 2 foi de 1.215.819 toneladas de cana-de-açúcar colhidas na safra pelo modelo de simulação.

O maior tempo total em manutenção preventiva durante a safra foi da colhedora de ano 2015 na sua terceira safra com 5.850 minutos; tendo em seguida a colhedora 2016 na sua segunda safra com 5.586 minutos. Já a colhedora 2017 na sua primeira safra apresentou o menor tempo total de manutenção preventiva, com 5.016 minutos e o segundo menor tempo com 5.412 minutos foi o da colhedora 2014.

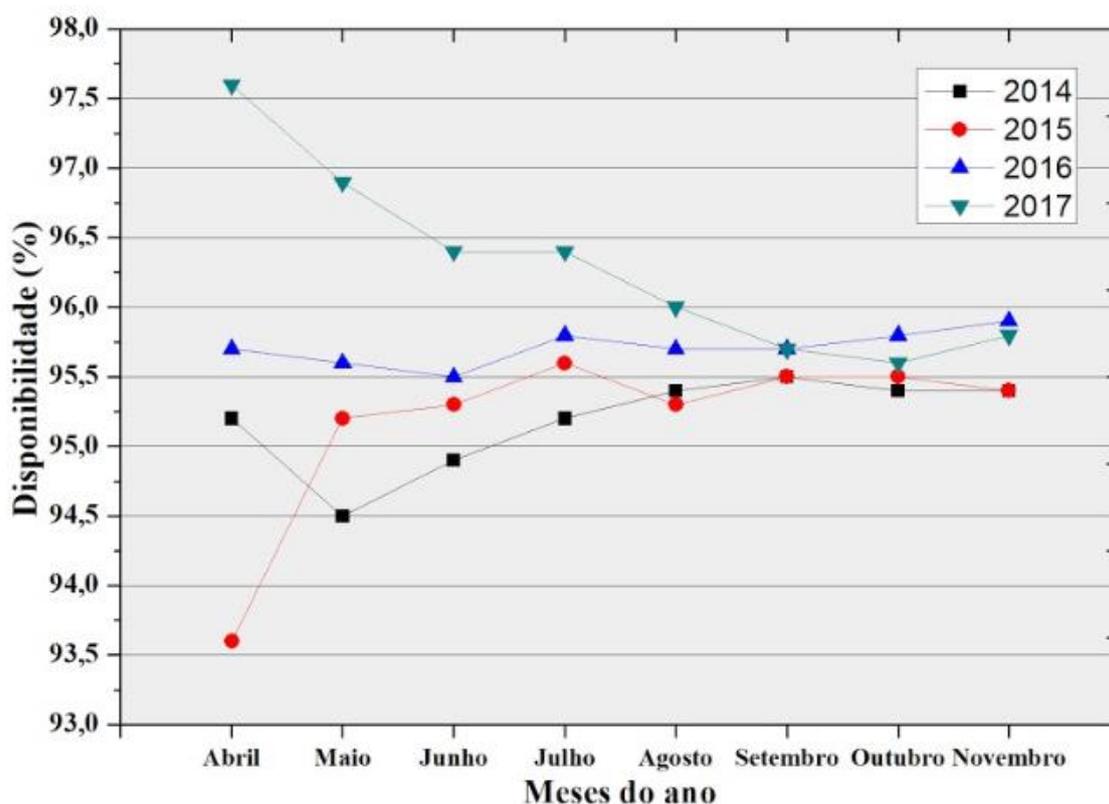
O tempo médio de manutenção preventiva foi numericamente próximo para as quatro máquinas, apresentando igualdade para as colhedoras 2017 na sua primeira safra e 2014 na sua quarta safra, com 44 minutos. A colhedora 2015 na sua terceira safra teve o maior tempo médio entre as colhedoras que foi de 50 minutos e a colhedora 2016 na sua segunda safra obteve um tempo médio com diferença de 1 minuto para a colhedora 2015 na sua terceira safra.

Quando se observa o tempo total de manutenção corretiva, pode-se afirmar que o maior tempo foi da colhedora 2014 na quarta safra com 2.004 minutos e a colhedora 2015 na sua terceira safra com 1.716 minutos. O menor tempo total de manutenção corretiva foi da colhedora 2016 com 726 minutos.

O tempo médio de manutenção corretiva mostrou uma grande variação entre as colhedoras, visto que o menor tempo médio foi da colhedora 2016 com 66 minutos diferindo da colhedora 2014 na sua quarta safra com um tempo médio de 167 minutos, podendo ser considerado o maior tempo médio entre as colhedoras. A colhedora 2017 na sua primeira safra apresentou um tempo médio de 104 minutos o que distancia em 28 minutos da colhedora 2015 na sua terceira safra.

Para colaborar na análise da disponibilidade do mix das colhedoras do cenário 2 da tabela 3, foi elaborado um gráfico a fim de acompanhar a disponibilidade das colhedoras mês a mês (figura 46).

Figura 46 - Disponibilidade das colhedoras na safra do cenário 2



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

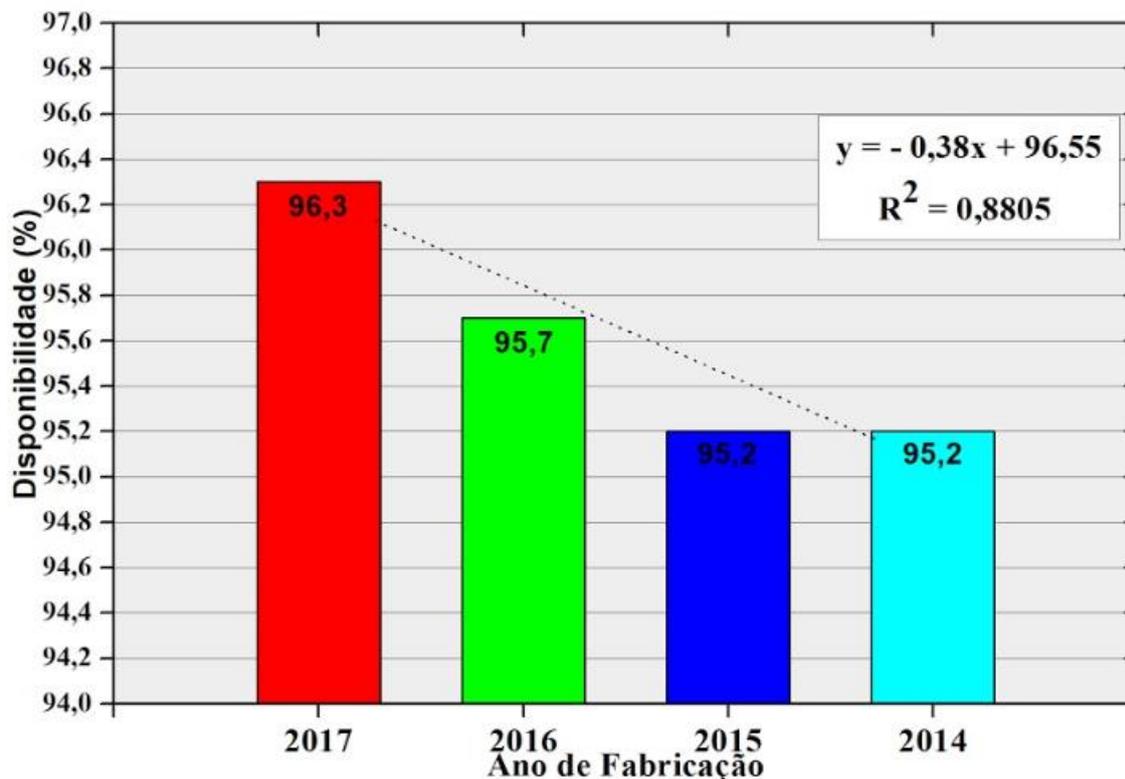
Ao reparar a figura 46, pode-se ver que a colhedora 2017 na sua primeira safra apresenta no início de safra uma disponibilidade de 97,6%, o que mostra o decaimento da reta com o passar da safra e terminando a safra com uma disponibilidade de 95,8%. Já a colhedora 2016 na sua segunda safra começa com uma disponibilidade de 95,7% sendo inferior quando comparado com a colhedora 2017 na sua primeira safra e termina a safra com uma disponibilidade de 95,8% um pouco superior de seu início e igual a colhedora 2017 na sua primeira safra. Dessa maneira, a colhedora 2017 na sua primeira safra foi a única que apresentou queda da disponibilidade neste cenário.

A colhedora 2015 na sua terceira safra apresentou a menor disponibilidade do mix de colhedoras atuais com 93,6%. Ao decorrer do tempo safra, sua disponibilidade sofre aumento e diminuição da disponibilidade, tendo do período de agosto a novembro o acompanhamento da disponibilidade da colhedora 2014 na sua quarta safra, o que resultou o término de safra com a disponibilidade de 95,4%.

Para analisar o comportamento das disponibilidades do mix das colhedoras do cenário 2, foi traçado um gráfico com sua respectiva linha de tendência que resultou uma

regressão linear, conforme a figura 47. Dessa forma, o comportamento percentual da disponibilidade foi de queda de 0,38% ao ano no mix das colhedoras atuais.

Figura 47 - Comportamento da disponibilidade das colhedoras do cenário 2



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao observar sobre o percentual das atividades realizadas das mix das colhedoras atuais, o abastecimento teve uma representação em torno de 2,2%, variando 1% para cima e para baixo dentre as colhedoras de estudo. Em relação à manutenção preventiva, as colhedoras tiveram uma variação de 1,6% a 1,8% representadas nas atividades. Já a manutenção corretiva teve uma oscilação 0,2% a 0,6% dentre as colhedoras. Acrescentando o tempo de trabalho, as colhedoras tiveram suas representações bem próximas oscilando entre 75,8% e 76,4%. Por fim, o tempo de ociosidade das colhedoras teve uma representação de 19,5% nas colhedoras 2017, 2016, 2014 e 19,6% nas colhedoras 2015.

4.3.Cenário 3

Os principais resultados obtidos do cenário 3 são referentes as colhedoras 2015, 2014, 2013 e 2012, conforme apresentados na tabela 9 e na figura 48 e 49. Cabe ressaltar que as colhedoras do cenário 3 possuem as seguintes características: colhedora 2015 em

sua terceira safra, colhedora 2014 em sua quarta safra, colhedora 2013 em sua quinta safra e colhedora 2012 em sua sexta safra.

Tabela 9 – Resultados do cenário 3

PRODUÇÃO (t)				
1.228.947				
MANUTENÇÃO				
Descrição	2015	2014	2013	2012
Tempo total de manutenção preventiva (min)	4.799	570	4.561	5.951
Tempo médio de manutenção preventiva (min)	39	38	38	45
Tempo total de manutenção corretiva (min)	1.171	1.347	1.770	2.464
Tempo médio de manutenção corretiva (min)	107	104	103	190
ATIVIDADES DAS COLHEDORAS (%)				
Descrição	2015	2014	2013	2012
Abastecimento	2,2	2,2	2,1	2,2
Manutenção Preventiva	1,5	1,4	1,4	1,9
Manutenção Corretiva	0,4	0,4	0,6	0,8
Trabalhando	77,1	77,4	77,2	76,5
Ociosa	18,8	18,6	18,7	18,6

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao ver o resultado da produtividade do mix de colhedoras do cenário 3, pode-se afirmar que totalizou 1.228.947 toneladas de cana-de-açúcar colhidas na safra pelo modelo de simulação.

Ao se observar o resultado do tempo total de manutenção preventiva, pode-se afirmar que o maior tempo foi da colhedora 2012 na sua sexta safra com 5.951 minutos e tendo a colhedora 2015 na sua terceira safra com 4.799 minutos em seguida. Já a colhedora 2014 na sua quarta safra apresentou o menor tempo de manutenção preventiva com 570 minutos o que se supõe alguma reforma da colhedora antes do início da safra para apresentar este resultado. Por último, a colhedora 2013 na sua quinta safra teve 4.561 minutos de tempo total de manutenção preventiva.

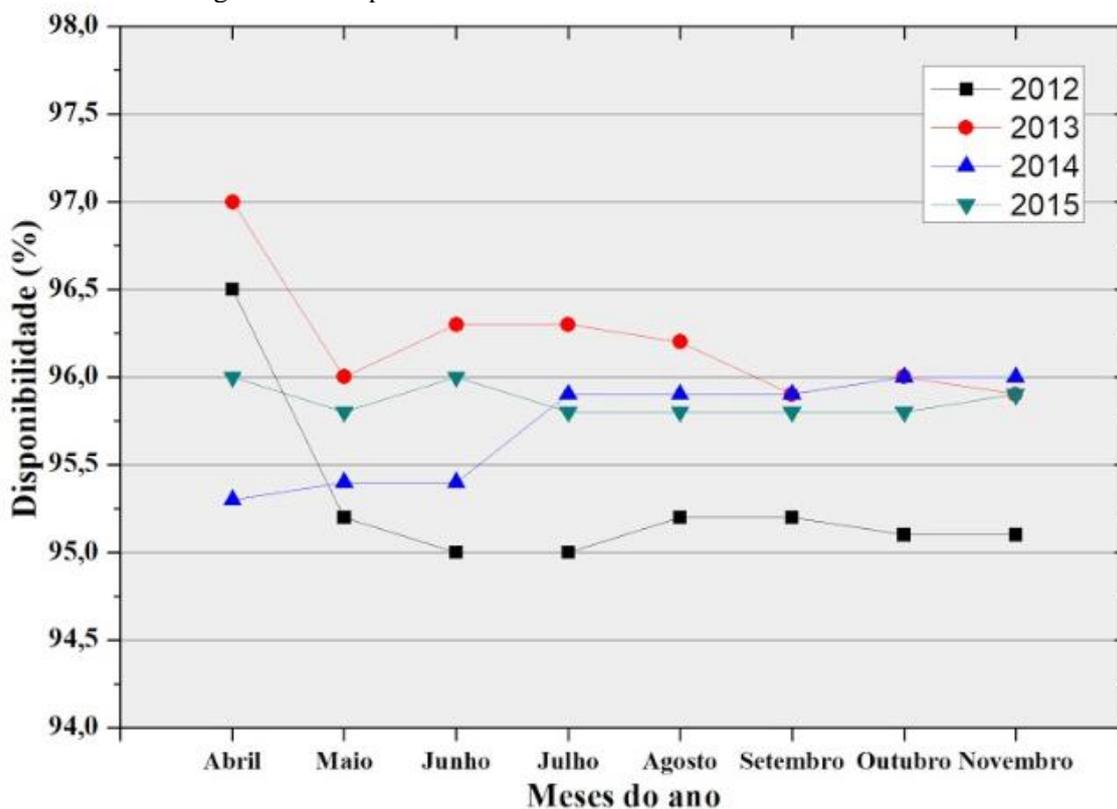
Os tempos médio de manutenção preventiva foram iguais para as colhedoras 2013 na sua quinta safra e 2014 na sua quarta safra, de 38 minutos. Em controvérsia, a colhedora 2015 na sua terceira safra apresentou 1 minuto a mais que as colhedoras anteriores e a colhedora 2012 na sua sexta safra apresentou um tempo médio de 45 minutos, sendo maior do mix de colhedoras antigas.

A colhedora 2012 na sua sexta safra apresentou o maior tempo total de manutenção corretiva na safra com 2.464 minutos, tendo depois a colhedora 2013 com 1.770 minutos. A colhedora 2015 na sua terceira safra teve o menor tempo total de manutenção corretiva da safra com 1.171 minutos. Por outro lado, a colhedora 2014 na sua quarta safra teve um acréscimo apenas de 176 minutos em relação à colhedora 2015 na sua terceira safra.

Em relação ao tempo médio da manutenção corretiva, a colhedora 2013 na sua quinta safra apresentou o menor tempo médio entre as colhedoras do mix antigo com 103 minutos, tendo proximidade com os tempos médio das colhedoras 2015 na sua terceira safra e 2014 na sua quarta safra. Contudo, a colhedora 2012 na sua sexta safra apresentou o maior tempo médio de manutenção corretiva entre as colhedoras do mix antigo com 190 minutos.

Para compreender o comportamento da disponibilidade das colhedoras do mix antigo ao longo do tempo, foi plotado o gráfico para analisar o comportamento das colhedoras durante a safra (figura 48).

Figura 48 - Disponibilidade das colhedoras na safra do cenário 3

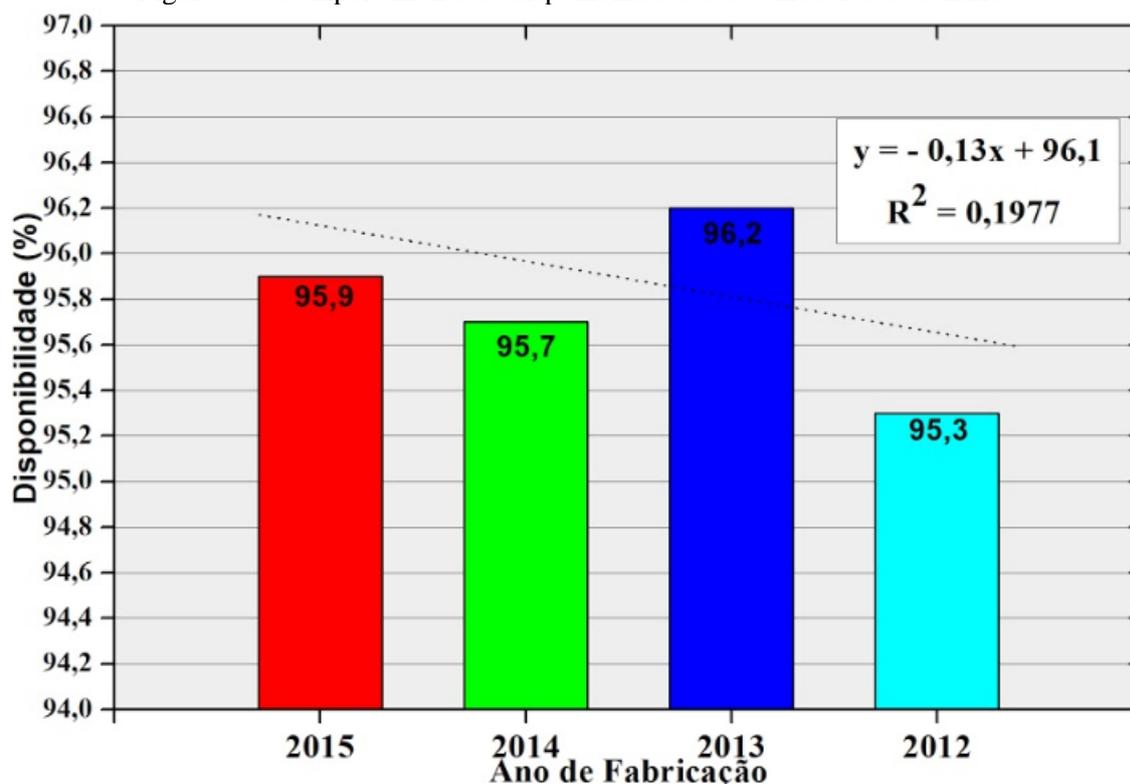


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao analisar a figura 48, a colhedora 2015 na sua terceira safra teve em seu início de safra uma disponibilidade de 96%, o qual teve uma oscilação entre 95,8% a 96% durante a safra, terminando com uma disponibilidade de 95,9%. Já a colhedora 2014 na sua quarta safra iniciou com uma disponibilidade de 95,3% que teve seu aumento durante safra, chegando ao final com uma disponibilidade de 96%. A colhedora 2013 na sua quinta safra teve uma disponibilidade de 97% no início da safra que com o decorrer do tempo, foi tendo queda em sua disponibilidade e terminou a safra com 95,9% de disponibilidade. Por fim, a colhedora 2012 na sua sexta safra com uma disponibilidade de 96,5% no início da safra e teve caimento em sua reta, fechando a safra com uma disponibilidade de 95,3%.

Para acompanhar o comportamento das disponibilidades das colhedoras de mix antigo, foi traçado um gráfico com sua respectiva linha de tendência que resultou em uma regressão linear, conforme a figura 49. Dessa forma, o comportamento percentual da disponibilidade foi de queda de 0,13% ao ano do mix de colhedoras antigas.

Figura 49 - Comportamento da disponibilidade das colhedoras do cenário 3



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao ver o percentual das atividades das colhedoras, pode-se afirmar que o abastecimento representou 2,2% para as colhedoras 2015 na sua terceira safra, 2014 na sua quarta safra e 2012 na sua sexta safra e 2,1% para as colhedoras 2013 na sua quinta safra, o qual mostra a proximidades entre as colhedoras. A manutenção preventiva teve uma representação de 1,4% para as colhedoras 2013 na sua quinta safra e a colhedora 2014 na sua quarta safra, 1,5% para colhedora 2015 na sua terceira safra o que não afasta muito das colhedoras anteriores e colhedora 2012 na sua sexta safra apresentou 1,9% o que resulta num distanciamento de 0,5% das demais colhedoras. A manutenção preventiva teve um percentual de 0,4% para as colhedoras 2015 na sua terceira safra e 2014 na sua quarta safra. Já colhedora 2013 na sua quinta safra teve um percentual de 0,6% o que a próxima das colhedoras anteriores e a colhedora 2012 na sua sexta safra teve um percentual 0,8% o que diferencia das demais colhedoras.

O tempo trabalhando das colhedoras 2015, 2014 e 2013 tiveram resultados próximos, o qual fez oscilar entre 77,1% e 77,4%. Não obstante, a colhedora 2012 apresentou o menor percentual de trabalho entre as colhedoras, sendo de 76,5%.

O tempo de ociosidade das colhedoras do mix antigo apresentou um percentual 18,6% para as colhedoras de 2012 e 2014, tendo a maior ociosidade para colhedora 2015

com 18,8% e um percentual entre as colhedoras de 18,7% para colhedora 2013, o que permite concluir que os percentuais são bem próximos.

4.4. Cenário 4

Os principais resultados obtidos do cenário 4 com as colhedoras do ano 2012 na sua sexta safra são apresentados na tabela 10 e nas figuras 50.

Tabela 10 - Resultados do cenário 4

PRODUÇÃO(t)				
1.216.213				
MANUTENÇÃO				
Descrição	2012.1	2012.2	2012.3	2012.4
Tempo total de manutenção preventiva (min)	5.580	5.330	6.144	6.164
Tempo médio de manutenção preventiva (min)	45	41	48	46
Tempo total de manutenção corretiva (min)	1.976	1.378	2.015	1.617
Tempo médio de manutenção corretiva (min)	152	106	155	147
ATIVIDADES DAS COLHEDORAS (%)				
Descrição	2012.1	2012.2	2012.3	2012.4
Abastecimento	2,2	2,1	2,2	2,2
Manutenção Preventiva	1,8	1,7	1,9	1,9
Manutenção Corretiva	0,6	0,4	0,6	0,5
Trabalhando	76,4	77	76,4	76,6
Ociosa	19	18,8	18,9	18,8

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A produtividade das colhedoras de ano 2012 na sua sexta safra, resultou em 1.216.213 toneladas de cana-de-açúcar colhida na safra pelo modelo de simulação.

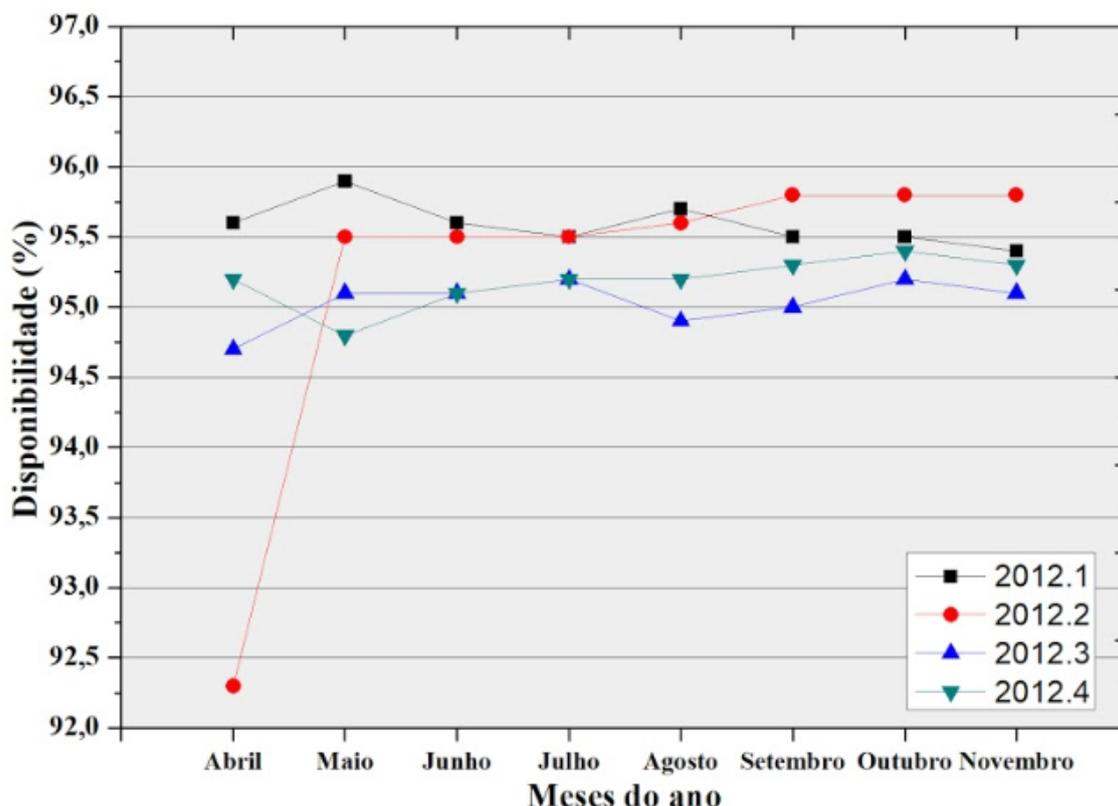
O tempo total de manutenção preventiva dentro do período de safra variou de 5.330 minutos até 6.164 minutos. Quando se observa o tempo total de manutenção corretiva, pode se verificar que o seu tempo mínimo foi de 1.378 minutos e o seu máximo de 2.015 minutos.

O tempo médio de manutenção preventiva das colhedoras de ano 2012 na sua sexta safra apresentou um tempo médio mínimo de 41 minutos, podendo chegar um

tempo médio máximo de 48 minutos. Já o tempo médio de manutenção corretiva teve um tempo médio mínimo de 106 minutos e chegando ao máximo de 155 minutos.

Para auxiliar na análise da disponibilidade do conjunto das colhedoras de ano 2012 da tabela 5, foi plotado um gráfico para acompanhar a disponibilidade das colhedoras mês a mês (figura 50).

Figura 50 - Disponibilidade das colhedoras na safra do cenário 4



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao analisar a disponibilidade das colhedoras do ano 2012, pode-se ver que a máquina 2012.1 inicia a safra com uma disponibilidade de 95,6% e sofre variações que chegam a ser estáveis, porém termina a safra com uma disponibilidade de 95,4% bem menor que sua disponibilidade inicial. Já a colhedora 2012.2 começa a safra com a menor disponibilidade entre as colhedoras, com 92,3% e que com o decorrer da safra sofre variações percentuais entre 95,5% e 95,8%, terminando a safra com disponibilidade superior ao seu início com 95,8%. A colhedora 2012.3 teve sua disponibilidade inicial de 94,7% que com o passar da safra sofreu variações de 94,9% e 95,2%, terminando a safra com uma disponibilidade superior à inicial de 95,2%. Por último, a colhedora 2012.4 teve em seu início uma disponibilidade de 95,2%, tendo variações entre 94,8% e 95,4%, finalizando a safra com uma disponibilidade de 95,3%. Desse modo, pode-se afirmar que

as variações foram pequenas das colhedoras de ano 2012, o que se aproxima quase de uma constante.

Ao discorrer sobre o percentual das atividades realizadas das colhedoras de ano 2012, o abastecimento teve uma representação 2,2% dentre as colhedoras. Em relação à manutenção preventiva, as colhedoras tiveram uma pequena variação, de 1,7% a 1,9%. Já a manutenção corretiva teve uma oscilação percentual de 0,4% a 0,6% no seu tempo. Acrescentando o tempo de trabalho, as colhedoras tiveram uma representação praticamente estável, entre 76,4% e 77,0%. Por fim, o tempo de ociosidade das colhedoras manteve-se igualmente estável variando entre 18,8% e 19,0%. Logo, pode-se afirmar que as variações foram bem próximas entre as colhedoras.

4.5. Comparação entre os cenários

Para comparar os resultados dos cenários propostos, a tabela 11 foi elaborada para facilitar as percepções de cada cenário em relação aos demais.

Tabela 11 – Comparação entre cenários

PRODUÇÃO (t)				
C1	C2	C3	C4	
1.231.675	1.215.819	1.228.947	1.216.213	
MANUTENÇÃO				
Descrição	C1	C2	C3	C4
Tempo total de manutenção preventiva (min)	21.403	21.864	15.881	23.218
Tempo médio de manutenção preventiva (min)	45	47	40	45
Tempo total de manutenção corretiva (min)	5.126	5.694	6.752	6.986
Tempo médio manutenção corretiva (min)	117	117	126	140
DISPONIBILIDADE (%)				
Cenários	C1	C2	C3	C4
Disponibilidade (%)	95,9	95,6	95,5	95,2

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A princípio, todos os cenários apresentaram uma produtividade muito próxima e acima de 1.200.000 toneladas de cana-de-açúcar colhidas na safra, tendo destaque o cenário 1 que apresentou uma produtividade de 1.231.675 toneladas de cana-de-açúcar colhidas, com todas as máquinas referentes ao ano de 2017 em sua primeira safra. O segundo melhor cenário foi o cenário 3 que teve 1.228.947 toneladas de cana-de-açúcar

colhidas na safra com o uso de mix de colhedoras com 4 safras ou mais que foram as colhedoras de ano de fabricação 2012 a 2015. O terceiro melhor cenário foi o cenário 4 com 1.216.213 toneladas de cana-de-açúcar colhida com o uso de colhedoras do ano de 2012 na sua sexta safra. O cenário 2 apresentou a menor produtividade entre os cenários com 1.215.819 toneladas de cana-de-açúcar colhida, sendo usado o mix de colhedoras atuais com 4 safras ou menos que foram as colhedoras com ano de fabricação de 2017 a 2014. Cabe ressaltar que a única mudança entre os cenários foi o agrupamento das colhedoras por ano de fabricação e quantidade de safras operadas.

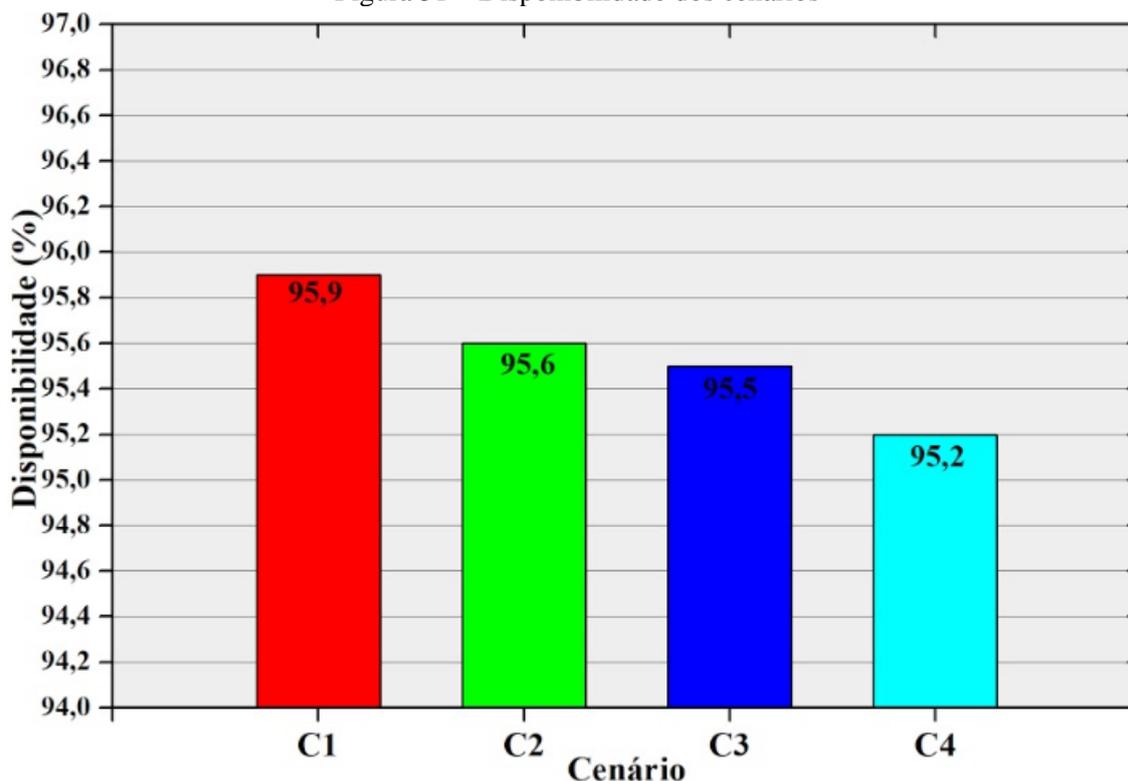
Ao comparar o tempo total de manutenção preventiva com o tempo total de manutenção corretiva, infere-se que quanto menor era o tempo de manutenção preventiva, maior foi o tempo de manutenção corretiva, tendo em vista que a empresa prioriza a manutenção corretiva. O cenário 3 apresentou o menor tempo total de manutenção preventiva com 15.881 minutos, porém seu tempo total de manutenção corretiva foi o segundo maior entre os cenários, com 6.752 minutos. O cenário 4 teve o maior tempo total de manutenção preventiva entre os cenários com 23.218 minutos, no entanto apresentou o maior tempo total de manutenção corretiva com 6.986 minutos. Vale ressaltar que o cenário 4 é composto por um grupo de colhedoras do ano de fabricação 2012 na operação de sua sexta safra. Os cenários 1 e 2 apresentaram o tempo total de manutenção preventiva próximos, o cenário 1 com 21.403 minutos e o cenário 2 com 21.864 minutos, tendo uma diferença pequena de 461 minutos. Em relação ao tempo total de manutenção corretiva, o cenário 1 teve 5.126 minutos e o cenário 2 com 5.694 minutos, uma diferença de 568 minutos.

Vale ressaltar que os tempos médios de MTTRs de manutenções preventivas e corretivas não foram alterados no modelo de simulação, tendo o resultado de tempo médio de manutenções aproximados como apresentado na tabela 11.

Ao observar a disponibilidade das colhedoras de cada cenário na figura 51, pode-se afirmar que o cenário 1 apresentou a maior disponibilidade das colhedoras com 95,9% por ter em seu grupo apenas máquinas novas. O cenário 2 é composto por um mix de máquinas do ano 2014 até o ano 2017 e obteve uma disponibilidade de 95,6%. O cenário 3 do mix de colhedoras do ano de 2012 a 2015 apresentou uma diferença de 0,1% quando comparado com o cenário 2, tendo a disponibilidade de 95,5%. O cenário 4 teve a menor percentagem dentre os cenários, com disponibilidade de 95,2 %, devido ser o mix de

colhedoras do ano de 2012. De qualquer maneira, as disponibilidades foram muito próximas, com diferença de apenas 0,7 pontos percentuais entre os cenários C1 e C4.

Figura 51 – Disponibilidade dos cenários



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao retornar à literatura, pode-se afirmar que a disponibilidade das colhedoras pode ser representada por uma reta decrescente que varia com o tempo de uso dos equipamentos (BANCHI, LOPES e ROCCO, 2009d). Desse modo, todos os gráficos plotados referentes à disponibilidade nos cenários e na análise prévia dos dados fornecidos pela empresa parceira para simulação obteve-se o decrescimento da reta que representa a disponibilidade conforme o avanço do tempo.

A importância de identificar cada atividade realizada pela colhedora colabora para a análise da disponibilidade, pois, por meio das atividades realizadas, pode-se identificar quais interrupções são relacionadas à manutenção preventiva e à manutenção corretiva com os seus respectivos tempos. Dessa forma, os dados fornecidos com suas atividades e seus respectivos tempos pela empresa parceira auxiliaram no cálculo da disponibilidade, conforme apresentado na literatura do estudo realizado em unidades produtoras por Banchi, Lopes e Zago (2008c).

Segundo Ramos *et al.* (2018), as colhedoras destacam-se dentro do grupo de máquinas utilizados no campo, visto que o tempo de vida útil dos seus componentes é

menor devido as condições de campo. Logo, possuem uma grande quantidade de paradas para manutenções preventivas e quase não possuem uma política eficaz de manutenção, uma vez que o seu cronograma de trabalho é alterado frequentemente. Por outro lado, quando se compara com as horas consumidas, a manutenção preventiva apresenta ordem de grandeza a partir de 15.000 horas *versus* a ordem de grandeza a partir de 5.000 horas da manutenção corretiva, ou seja, um peso maior para a manutenção preventiva.

Para Galvão *et al.* (2018), os modelos matemáticos específicos para grupos de máquinas com características semelhantes levam a resultados mais consistentes em comparação com os modelos matemáticos gerais. Nesse sentido, na presente pesquisa todas máquinas eram do mesmo fabricante, sendo um resultado mais consistente.

5. CONCLUSÃO

A dissertação atingiu o objetivo geral de avaliar os efeitos da disponibilidade das colhedoras de cana-de-açúcar, com diferentes tempos de uso, na produção das frentes de corte ao longo das safras. Dessa forma, foi mensurada a disponibilidade das colhedoras de cana-de-açúcar ao longo da safra e foi analisado o desempenho de uma frente de colheita de cana-de-açúcar em cenários com colhedoras de diferentes idades por meio de um modelo de simulação.

Como resultados principais do estudo, o cenário 1, composto apenas por colhedoras de primeira safra, apresentou 95,9% de disponibilidade e teve a maior produção canavieira dos cenários testados. Em relação às disponibilidades, obteve-se a perda média da disponibilidade das colhedoras ao longo da safra em função do ano de fabricação / safras trabalhadas, por meio de retas de regressão. Encontrou-se uma redução média de 1,03% ao mês para a colhedora 2012 em sua sexta safra, 1,83% ao mês para a colhedora 2013 operando na quinta safra, 0,52% ao mês para a colhedora 2014 operando na quarta safra, 0,31% ao mês para colhedora 2015 operando na terceira safra, 0,47% ao mês para colhedora 2016 operando na segunda safra e 0,46% para colhedora 2017 operando na primeira safra. Tais números indicam que observando-se os números absolutos da disponibilidade e as respectivas safras para as seis máquinas analisadas, não houve uma linearidade das perdas conforme o aumento do ano de fabricação/safras trabalhadas. No entanto, ao efetuar a análise conjunta das seis máquinas estudadas, sem observar o ano de fabricação/safra trabalhada, os resultados apresentaram uma redução média de 0,49% da disponibilidade das colhedoras ao mês (redução mensal na safra). Quando observa-se a perda da disponibilidade por ano trabalhado de safra, os resultados apresentaram uma redução média de 1,75% ao ano da disponibilidade das colhedoras (redução entre safras).

Os cenários propostos para simulação forneceram entendimentos da teoria com a prática. Confirmou-se que as colhedoras de cana-de-açúcar possuem alta disponibilidade quando são novas e que com o passar do tempo vão apresentando queda em sua disponibilidade. Por outro lado, as colhedoras mais antigas por possuírem uma menor disponibilidade devido ao seu tempo de uso, levam a apresentar paradas de manutenção corretiva mais frequentes. Em relação à manutenção preventiva, as máquinas novas e antigas apresentam tempos de reparos semelhantes, visto que as atividades de manutenção preventivas são recorrentes independentemente da idade. O comportamento das linhas de

tendência referentes à disponibilidade das colhedoras mais antigas sofreu pequenas variações durante a safra quando comparadas às colhedoras mais novas. Cabe ressaltar que as máquinas diferem no desempenho conforme a idade, da mesma maneira que o tempo de safra também compromete a disponibilidade. Dessa maneira, a disponibilidade e o tempo de uso das colhedoras afetam diretamente a produção da frente de colheita.

O estudo apresentou diversas limitações como a quantidade pequena de amostras, de apenas uma máquina por ano e de apenas de um ano de registro fornecido pela empresa parceira. Reconhece-se que o estudo incorpora diversas fontes de variabilidade tais como políticas diferentes de garantia referentes a manutenções das máquinas, locais diferentes de operação, critérios diferentes de apontamento dos operadores, políticas de priorização de ações preventivas e corretivas etc.

Os diferentes conceitos de operação por parte dos operadores contribuíram para possíveis apontamentos inconsistentes no computador de bordo da colhedora. Os locais diferentes de operação das colhedoras, não sendo todas nas mesmas condições de colheita, possivelmente as colhedoras mais novas deveriam ser alocadas em locais melhores de operação. A forma de operar e registrar as atividades variam muito conforme o entendimento dos operadores. Logo, uma coleta exaustiva de dados, por um longo período, pode-se ter dados de melhor qualidade para a detecção das tendências e interpretação plena das interferências referentes a manutenção causadas pela influência do tempo de safra e entre safras no desempenho das colhedoras.

O modelo elaborado desta dissertação foi útil para representar a disponibilidade das colhedoras. Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se avaliar também a disponibilidade dos tratores e dos caminhões, já que essas máquinas fazem parte do sistema de CTT. Poderia ser também avaliado o volume de cana-de-açúcar que deixou de ser colhida por causa da indisponibilidade dos maquinários. Outro estudo que pode ser conduzido a partir do modelo de simulação desenvolvido, é referente à escolha de maquinários de diferentes idades para realizar toda a operação de CTT numa usina, com todas as frentes. Vários agrupamentos de máquinas nas frentes, por idade, poderiam ser testados. Seriam considerados critérios de custo, produtividade, disponibilidade, desempenho, entre outros. Ao final do estudo, pode-se chegar ao melhor grupo de máquinas para realizar a safra, analisando os custos e os lucros.

REFERÊNCIAS

ABNT - TB - 19 Grupo 05: Termos fundamentais de eletricidade, 1971.

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.29, n.3, p.440-451, jul./set. 2009.

AOE, G. X.; LEAL, G. C. L. Gestão da informação no gerenciamento de frotas de uma empresa de prestação de serviços. In: **XXXI Enc. Nac. de Engenharia de Produção**, 2011, Belo Horizonte.

BANCHI, A. D.; LOPES, J. R.; ZAGO, C. A. Estudo dos custos com reparo e manutenção em colhedoras de cana-de-açúcar, parte I. *Revista Agrimotor*, n. 38, p. 12-13, 2008c.

BANCHI, A. D.; LOPES, J. R.; ROCCO, G. C. Estudo da Eficiência de Disponibilidade Mecânica em Frotas Agrícolas. **Revista Agrimotor**, São Paulo, v. 47, p. 10 - 12, 01 set. 2009d.

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; FERREIRA, V.A.C; SCARANELLO, L.T. Análise de reforma de colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista AgriMotor**, v. 75, p. 40-43, 2012c.

BANCHI, A. D. **Impacto da produtividade agrícola e da vida dos equipamentos na produção e no custo da colhedora de cana-de-açúcar**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas-SP, 2017.

BANCHI, A. D. et al. Operating cost of sugarcane harvester in function of agricultural productivity and harvester age. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 23, n. 7, p. 552-557, July 2019.

BEZUIDENHOUT, C. N. & P., Langlois. **Performance evaluation analyses of commercial sugarcane mechanical harvesting contractor operations**. AMA,

Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, v. 46, n. 3, p. 80-86, 2015.

BIASOTTO, E. **Aplicação do BSC na gestão da TPM – Estudo de caso em indústria de processo**. 2006. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

BNS. *Company, Accompanying Brazilian safra: Sugarcane*, v. 4 - harvest 2017/18, n. 1 - first survey, Brasília, p. 1-57, abril, 2017.

BOMFIM RODRIGUES, E.; GRIGOLI ABI SAAB, O. J.. Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (*saccharum spp*) na região de Bandeirantes–Pr. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 4, 2007.

BOURAHILI, A.; MONTENEGRO, L. C. S.; FERNANDES, I. A. Determinação do momento adequado para substituição de veículos em empresas com frota própria: estudo de caso no setor público. **Revista de Administração, Contabilidade e Economia da FUNDACE**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2011.

CALLADO, A. L. C.; CALLADO, A. A. C. HOLANDA, F.M.A.; LEITÃO, C.R.S. Utilização de indicadores de desempenho no setor hoteleiro de João Pessoa-PB. **Turismo – Visão e Ação**, Balneário Camboriú, v.10, n.1, p.23-38, jan./abr. 2008.

CAMPOS, F. C.; BELHOT, R. V. Maintenance management of vehicle fleets: a review. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 1, n. 2, p. 171-188, Aug. 1994. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X1994000200004&lng=en&nrm=iso> Acessado em 02 de abril de 2019.

CASSIA, M. T. et al. **Desgaste das facas do corte basal na qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 987-993, June 2014.

CEOLIM, A.J. **Aplicação de Metodologias Multicritério na Avaliação dos Cursos da UNESPAR/FECILCAM**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; SILVA, H. de O. F.; ISLER, P. R.; OLIVEIRA, P. A. de. Avaliação do desempenho operacional da colheita e transbordo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Energia na Agricultura**, v.30, p.232-241, 2015.

CERVEIRA, D.; SELLITTO, M.. Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise quantitativa de um forno elétrico a indução. *Revista Produção Online*. 15. 405. 10.14488/1676-1901.v15i2.1615, 2015.

CHIARADA, A. J. P.: **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos: Um estudo de caso na indústria automobilística. 2004**. Tese de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira - cana-de-açúcar, 2015/2016. Brasília, v. 2, n. 1, p. 1 – 33, Abril 2015.

CONAB - **COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – Análise Mensal. Brasília, 2018, v.1.

CODEMEC – **COMITÊ PARA O DESENVOLVIMENTO DO MERCADO DE CAPITAIS** - Disponível em < <http://codemec.org.br/geral/bndes-psi-programa-de-sustentacao-investimento/> > Acesso em 16 de julho de 2019.

COSTA NETO, J. D. da. A cana em tempo bom . **Revista CREA-PR**, Curitiba, n. 41, p. 16-19, out. 2006.

DE ARAUJO, J. M. M.; GOMES, M. C.; CARRARO, A.. The Economic Incentives for Purchasing Harvester Combine via Pronaf-Mais Alimentos for Irrigated Rice Farmers in Rio Grande do Sul. **Braz. J. Pub. Pol'y**, v. 6, p. 70, 2016.

DE FARIA, D. A., Figueira et al. A combination of discrete event simulation and multi-criteria analysis to configure sugarcane drop and hook delivery systems. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 2, 2019.

FAO – **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS**. Disponível em

<http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity> Acesso em 21 de março de 2019.

FARIA, D. A. F. de et al. A combination of discrete event simulation and multi-criteria analysis to configure sugarcane drop and hook delivery systems. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 39, n. 2, p. 248-256, Apr. 2019.

FARIA, L. F. F.; SILVA, J. E. A. R. **Effects of maintenance management procedures in sugarcane mechanic harvesting system equipment**. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 1187-1197, 2015.

FLYNN, B. B. et al. Empirical research methods in operations management. **Journal of Operations Management**, v. 9, n. 2, p. 250–284, 1990.

FRANSOO, J. C.; BERTRAND, J. W. M. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241, 2002.

GALVÃO, C. B.; GARCIA, A. P.; ALBIERO, D.; RIBEIRO, A. Í.; BANCHI, A. D. **Operational management of the cane infield wagon: Analysis of the cost of repair and maintenance**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n 3, p. 218- 222, Mar 2018.

GIL, A. C.. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

HANSEN, R. C. **Eficiência global dos equipamentos: uma poderosa ferramenta de manutenção/produção para aumento dos lucros**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

JUNQUEIRA, R. A. R., & MORABITO, R. (2017). Abordagens de otimização para a programação e sequenciamento das frentes de colheita de cana-de-açúcar. **Gestão & Produção**, 24(2), 407-422.

KELTON, W.D.; SADOWSKI, R. P; SADOWSKY, D; A. **Simulation with Arena**. New York: McGraw-Hill, 1998.

LIMA, A. A. **Uma metodologia para determinação do ponto econômico de substituição de equipamentos de transporte**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

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. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. Anais [...]. São Carlos: ABEPRO, 2010. Disponível em: www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_113_743_16105.pdf. Acesso em: 20 jan. 2019.

LINHARES, M.; SETTE JÚNIOR, C. R.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.

LÖBLER, M.L. **Processamento da Informação: Uma Avaliação dos Diferentes Níveis de Conhecimento no Processo de Decisão**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

MANHÃES, C.M.C.. **Avaliação do desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar na região norte fluminense**. Tese de doutorado. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014.

MANTOAM, E. J., MILAN, M., GIMENEZ, L. M., & ROMANELLI, T. L.. **Embodied energy of sugarcane harvesters**. *Biosystems engineering*, v. 118, p. 156-166, 2014.

MARTINS, F. G.; COELHO, L. S. **Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em dutovias**. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, Ano 7, nº 1, jan-mar/2012, p. 65-80.

MENDES, A. A.; RIBEIRO, J. L. D. Estabelecimento de um plano de manutenção baseado em análises quantitativas no contexto da MCC em um cenário de produção JIT. *Prod.*, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 675-686, Sept. 2014. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132014000300015&lng=en&nrm=iso>. access on 27 July 2019. Epub Sep 10, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000065>.

MENGUE, D.; SELBITTO, M. Estratégia de manutenção baseada em funções de confiabilidade para uma bomba centrífuga petrolífera. **Produção Online**, v.13, n.2, p.759- 783, 2013. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v13i2.1341>

MILAN, M.; ROSA, M. J. H.. **Corte, transbordo e transporte (CTT): aspectos relevantes e uso de modelagem para CTT**. In: *Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar* [S.l: s.n.], 2015.

MONCHY, F., **A função manutenção – Formação para a gerência da manutenção industrial**. São Paulo: Ed. Brasileira, Ed. Durban, 1989, 424 p.

MOREIRA, E.. **Proposta de uma sistemática para o alinhamento das ações operacionais aos objetivos estratégicos, em uma gestão orientada por indicadores de**

desempenho. 2002. 198 p. Tese de Doutorado - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

MURCILI JUNIOR, J.; DA SILVA, W. G.; ABRITA, M. B.. A Produção e o Escoamento da Cana de Açúcar no Município de Dourados-MS (2007 a 2010). **Revista GeoPantanal**, v. 10, n. 19, p. 71-86, 2016.

NAJAFI, P.; MARZBAN, A.; HORMOZI, M. A. **Major causes of failure during harvesting in sugarcane chopper harvester machine.** *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, v. 17, n. 4, 2015.

NAJAFI, P.; MARZBAN, A.; HORMOZI, M. A. **Reliability analysis of agricultural machinery: A case study of sugarcane chopper harvester.** *AgricEngInt: CIGR Journal*, v. 17, n. 1, p. 158-165, 2015.

NEVES, J.L.M. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução.** 2003. 223p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

OEE for operators – **Overall Equipment Effectiveness. Estados Unidos da América: The Productivity Development Team**, 1990, 63 p.

PEGDEN, C.D., SHANNON, R.E., SADOWSKI, R.P. **Introduction to Simulation Using SIMAN**, McGraw-Hill, New York, USA. v. 2. 1990.

PRADO, D. **Teoria das filas e da simulação.** 2ª ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004.

PRICE, R. R., JOHNSON, R. M., VIATOR, R. P., LARSEN, J., & PETERS, A. **Fiber optic yield monitor for a sugarcane harvester.** *Transactions of the ASABE*, v. 54, n. 1, p.31-39, 2011.

RAMOS, P. L.; NASCIMENTO, D. C.; COCOLO, C.; NICOLA, M. J., ALONSO, C.; RIBEIRO, L. G.; ENNES, A.; LOUZADA, F.. Reliability-centered maintenance: analyzing failure in harvest sugarcane machine using some generalizations of the Weibull distribution. **Journal Modelling and Simulation in Engineering**, 2018.

REIS, R. A. et al. O impacto da implantação do TPM nos indicadores de manutenção: um estudo de caso. **Revista ADMpg Gestão Estratégica**, Ponta Grossa, v. 1, n. 1, p.111-114, 2008.

RIPOLI, M.L.C.; RIPOLI, T.C.C.; OLIVEIRA, M.A. Evaluation of two different base cutters in green cane mechanical harvest. In **ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING**, 2003, Las Vegas. *Proceedings...* St. Joseph: ASAE, 2003.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 1 ed. Piracicaba, 2004.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 333 p

ROSA, V. L.. **Desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar em função do perfil de carga do motor**. 2015. xii, 43 p. Dissertações (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2015.

SALVI, J. V.; MATOS, M. A.; MILAN, M.. Evaluation of the performance of a base cutting device of a sugar cane harvester. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 201-209, 2007.

SCHEIDL, H. A.; SIMON, A. T.; PACAGNELLA, A. C. J.; SALGADO, A. P. J. **Environmental impacts of mechanization in brazil’s sugar and ethanol industry: The cutting, loading, and transportation process case**. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v. 34, n. 6, p. 1748 – 1755, 2015.

SEIXAS, E.. **Indicadores de Desempenho**. Qualitymark Editora Ltda. 2005.

SHENG, J.; PRESCOTT, D.. A coloured Petri net framework for modelling aircraft fleet maintenance. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 189, p. 67-88, 2019.

SICHONANY, O. R. A. O.; SCHLOSSER, J. F.; MEDINA, R. D.; et al. Sistema computacional de gerenciamento para acompanhamento de desempenho de máquinas agrícolas instrumentadas com sensores. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 41, p. 1773–1776, 2011.

SILVA, J. E. A. R.: **Desenvolvimento de um modelo de simulação para auxiliar o desenvolvimento de sistemas de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar**, 2006. Dissertação (Mestrado acadêmico em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

TOMAZELA, M.; D., L. A.; FERREIRA, J. C. **Clean and lean administration in hydraulic systems of sugarcane harvesters**. Engenharia Agrícola, v.30, n. 2, p. 358-366, 2010.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P.. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. **Apostila do curso de Especialização em Qualidade e Produtividade**. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2012.

VALENTE, A. M.; PASSAGLIA, E.; NOVAES, A. G.. **Gerenciamento de transporte e frotas**. Pioneira, 1997.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 5. ed. São Paulo:Atlas, 2004.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

VIEIRA, M.G.: **Introdução à manutenção**. Publ. EESC-USP, nro.017/92, São Carlos, (15 p.), 1991.

WUTTKE, R. A.; SELBITTO, M. A. Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. **Revista Produção Online**, v.8, n.4, p.1- 23, 2008.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXO A – Correlação da variável do tempo total de separação

Lag	Covariance	Correlation	Lag	Covariance	Correlation
1	68.464	0.33866	51	0.8622	0.042649
2	56.398	0.27898	52	0.89285	0.044165
3	43.963	0.21746	53	0.69327	0.034293
4	36.381	0.17996	54	0.60222	0.029789
5	3.139	0.15527	55	0.5542	0.027414
6	27.103	0.13407	56	0.55128	0.027269
7	24.459	0.12099	57	0.60727	0.030038
8	22.125	0.10944	58	0.53564	0.026496
9	20.231	0.10007	59	0.60847	0.030098
10	1.995	0.098683	60	0.43821	0.021676
11	19.594	0.096924	61	0.5865	0.029011
12	19.662	0.097259	62	0.53241	0.026336
13	19.109	0.094521	63	0.34171	0.016903
14	16.957	0.083879	64	0.26864	0.013288
15	18.667	0.092338	65	0.26626	0.01317
16	1.794	0.08874	66	-0.024522	-0.001213
17	17.945	0.088765	67	0.097293	0.0048126
18	17.406	0.086101	68	0.33578	0.01661
19	16.823	0.083215	69	0.18002	0.0089047
20	1.59	0.078647	70	0.11942	0.0059073
21	13.911	0.06881	71	0.30862	0.015266
22	12.301	0.060847	72	0.19341	0.009567
23	12.705	0.062846	73	0.24804	0.012269
24	13.365	0.066112	74	0.2392	0.011832
25	11.797	0.058354	75	0.19087	0.0094416
26	12.285	0.060766	76	0.11438	0.0056578
27	11.937	0.059049	77	-0.077872	-0.0038519
28	11.438	0.056577	78	-0.077312	-0.0038243
29	10.123	0.050075	79	-0.12862	-0.0063623
30	0.94449	0.046719	80	-0.029661	-0.0014672
31	0.96686	0.047826	81	0.22158	0.010961
32	10.323	0.051063	82	0.074377	0.0036791
33	11.176	0.05528	83	0.17071	0.0084442
34	1.098	0.054314	84	0.14539	0.0071919
35	0.97036	0.047999	85	0.33731	0.016685
36	11.069	0.054755	86	0.088103	0.004358
37	0.95398	0.047189	87	0.049277	0.0024375
38	0.98993	0.048967	88	0.12659	0.0062619
39	1.182	0.058468	89	0.071188	0.0035213
40	10.537	0.052123	90	0.04746	0.0023476
41	0.93598	0.046298	91	0.25735	0.01273

42	0.92077	0.045546	92	0.19561	0.009676
43	11.139	0.0551	93	0.20297	0.01004
44	0.86224	0.042651	94	0.15606	0.0077195
45	0.85735	0.042409	95	0.16631	0.0082264
46	0.87272	0.043169	96	0.15923	0.0078766
47	0.89709	0.044375	97	0.10609	0.0052479
48	0.98193	0.048571	98	0.17599	0.0087055
49	0.9382	0.046408	99	0.22506	0.011132
50	0.97587	0.048272	100	0.096094	0.0047533

APÊNDICE A – Distribuições estatísticas das operações agrícolas, operação de usina, manutenção e dados da frente de colheita

Operação Agrícola	Distribuição
Tempo de colheita	NORM(16.2,2.75)
Tempo de deslocamento do transbordo carregado	NORM(4.33, 1.77)
Tempo de deslocamento do transbordo vazio	LOGN(8.63, 6.44)
Tempo de transferência de carga	CONT(0.000, 1.000, 0.050, 1.339, 0.260, 1.678, 0.470,2.017, 0.600, 2.356, 0.760, 2.695, 0.890, 3.034, 0.950,3.373, 0.970, 3.712, 0.990, 4.051, 1, 4.390)
Tempo de deslocamento do caminhão vazio	LOGN(2.65,2.04)
Tempo de deslocamento do caminhão carregado	LOGN(2.65,2.04)
Operação Usina	Distribuição
Tempo de descarga na usina	NORM (7.36, 1.03)
Manutenção	Distribuição
Curva intervalo manutenção campo trator	CONT(0.000, 9.999, 0.880, 7087.999, 0.959, 14165.999, 0.974,21244.000, 0.981, 28322.000, 0.988, 35400.000, 0.989, 42478.000,0.993, 49556.000, 0.995, 56634.001, 0.997, 63712.001, 1, 70790.001)
Curva duração manutenção oficina trator	CONT(0.000, 59.999, 0.747, 1019.999, 0.914,1979.999, 0.946,2940.000, 0.959, 3900.000, 0.968, 4860.000, 0.968, 5820.000, 0.982,6780.000, 0.982, 7740.001, 0.986, 8700.001, 1, 9660.001)
Curva intervalo manutenção oficina trator	CONT(0.000, 1199.999, 0.153, 8983.333, 0.521, 16766.666, 0.660,24550.000, 0.726, 32333.333, 0.860,40116.667, 0.958, 47900.000,0.972, 55683.334, 0.981, 63466.667, 1, 71250.001)
Curva duração abastecimento caminhão	TRIA(20,30,40)

Curva intervalo abastecimento caminhão	TRIA(1200,1440,1680)
Curva duração lavagem e lubrificação caminhão	TRIA(180,240,300)
Curva intervalo lavagem e lubrificação caminhão	TRIA(8640,10080,11520)
Curva duração manutenção campo caminhão	CONT(0.000, 4.999, 0.556, 27.499, 0.834, 49.999, 0.914, 72.500,0.952, 95.000, 0.974, 117.500, 0.981, 140.000, 0.986, 162.500, 0.988,185.001, 0.995, 207.501, 1, 230.001)
Curva intervalo manutenção campo caminhão	CONT(0.000, 19.999, 0.462, 8166.499, 0.687, 16312.999, 0.813,24459.500, 0.879, 32606.000, 0.929, 40752.500, 0.944, 48899.000,0.970, 57045.500, 0.975, 65192.001, 0.985, 73338.501, 1, 81485.001)
Curva duração abastecimento colhedora	TRIA(10,20,30)
Curva intervalo abastecimento colhedora	TRIA(540,600,660)
Curva duração preventiva colhedora	10 + GAMM(67.8, 0.595)
Curva intervalo preventiva colhedora	1440 + EXPO(1100)
Curva duração corretiva colhedora	20 + EXPO(114)
Curva intervalo corretiva colhedora	CONT (0.000, 14428.999, 0.130, 17292.099, 0.290, 20155.199, 0.390, 23018.300, 0.450, 25881.400, 0.520, 28744.500, 0.610, 31607.600, 0.720, 34470.700, 0.860, 37333.801, 0.940, 40196.901, 1, 43060.001)
Curva intervalo manutenção oficina caminhão	CONT(0.000, 19.999, 0.462, 8166.499, 0.687, 16312.999, 0.813,24459.500, 0.879, 32606.000, 0.929, 40752.500, 0.944, 48899.000,0.970, 57045.500, 0.975, 65192.001, 0.985, 73338.501, 1, 81485.001)

Curva duração manutenção oficina
caminhão

CONT(0.000, 4.999, 0.556,
27.499, 0.834, 49.999, 0.914,
72.500,0.952, 95.000, 0.974,
117.500, 0.981, 140.000, 0.986,
162.500, 0.988,185.001, 0.995,
207.501, 1, 230.001)

Descrição	Valor
Distância entre usina e campo	20 km
Velocidade do caminhão vazio	50 km/h
Velocidade do caminhão carregado	40 km/h
Transbordo por caminhão	8 unidades
Carga de cana-de-açúcar picada por caminhão	51,72 t
Colhedoras	4 unidades
Transbordos	8 unidades
Caminhão	6 unidades
Turnos	8h / turno
Refeição	1h / turno

Observação 1: Os turnos de trabalho foram 8h às 17h (1º turno), 17h às 23h (2º turno) e 23h às 8h (3º turno).