



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS



KELEN KARLA REIS OLIVEIRA MOREIRA

**MODELAGEM BASEADA EM AGENTES COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA  
OPERAÇÃO FLORESTAL DE BALDEIO**

Belo Horizonte

2017

KELEN KARLA REIS OLIVEIRA MOREIRA

**MODELAGEM BASEADA EM AGENTES COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA  
OPERAÇÃO FLORESTAL DE BALDEIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção de título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Ricardo Alexandrino Garcia.

Co-orientador: Britaldo Silveira Soares Filho.

Belo Horizonte  
Instituto de Geociências da UFMG  
2017



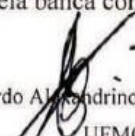
## FOLHA DE APROVAÇÃO

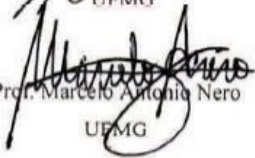
**MODELAGEM BASEADA EM AGENTES COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA  
OPERAÇÃO FLORESTAL DE BALDEIO**

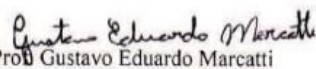
**KELEN KARLA REIS OLIVEIRA MOREIRA**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 25 de maio de 2017, pela banca constituída pelos membros:

  
Prof. Ricardo Alexandrino Garcia - Orientador  
UFMG

  
Prof. Marcelo Antonio Nero  
UFMG

  
Prof. Gustavo Eduardo Marcatti  
UFSJ

*Ao meu amado marido Marccone, e  
aos meus pais Ronaldo e Aparecida  
Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

---

À Deus por todas as oportunidades maravilhosas que me foram concedidas. Com a Sua ajuda, venci mais esta etapa em minha vida. A Ele dirijo minha maior gratidão!

À minha família pelo apoio incondicional e confiança que sempre depositaram em mim, em especial aos meus pais Ronaldo e Aparecida. Ao meu amado marido Marcone pelo incentivo, carinho e auxílio durante este período. Ao meu querido parceiro de quatro patinhas Logan por encher meus dias de alegria. Amo vocês!

À Universidade Federal de Minas Gerais, em especial ao Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. Ao prof. Ricardo Alexandrino Garcia pela orientação, confiança e tempo dedicados à minha pesquisa e ao prof. Britaldo Soares Filho pela co-orientação.

Ao Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG, em especial ao Willian Costa Leles por toda ajuda e apoio com o Dinamica EGO.

À empresa Fibria, pela concessão de dados e pela confiança no trabalho desenvolvido. Em especial, ao Dennis Bernardi pelo apoio e amizade.

Aos meus queridos amigos Tatiana e Mateus por serem anjos na minha vida, nunca vou me esquecer de toda amizade e ajuda que me ofereceram neste período. Ao amigo Germano Cabral pelo auxílio na elaboração das tabelas de dados.

A todos os meus amigos de mestrado, pela amizade e pelos infinitos momentos que compartilhamos durante esta caminhada. Em especial a Elaine, Samira, Rayane, Gustavo e Andreas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa.

A todos, Obrigada!

## RESUMO

---

Ao longo dos últimos anos, o planejamento eficiente das operações florestais envolvidas no processo de produção da madeira permitiu que o setor conquistasse importantes avanços técnicos, operacionais e, sobretudo, de produtividade. Entretanto, o crescente aumento de custos tem despertado o setor para a necessidade de buscar novas ferramentas, que objetivem a racionalização de recursos e a minimização dos impactos ambientais. Diante deste contexto, esta pesquisa tem por objetivo desenvolver, através de ferramentas de modelagem espacial, um modelo de simulação baseado em agentes (MBA) capaz de analisar a atividade de baldeio de madeira, presente em operações de colheita florestal de eucalipto, com base em critérios pré-estabelecidos que visam otimizar o desempenho de três importantes componentes da atividade de baldeio, ligadas ao principal agente do processo: os tratores florestais *forwarders*. Estes componentes são: a distância total percorrida; o tempo gasto para execução da atividade; e o consumo de combustível. Os critérios estabelecidos deram origem a dois cenários de execução da atividade. Os dados obtidos por meio das simulações mostraram que no primeiro cenário a distância total percorrida pelos tratores foi, em média 7% menor que no segundo. Aos valores médios de distância percorrida por cada uma das oito configurações de frota testadas, foi aplicado um teste estatístico de comparação de médias, que apontou diferença estatística entre as médias dos dois cenários. O tempo gasto para execução da atividade foi menor no primeiro cenário para as configurações de frota 1, 2 e 3; para as demais o tempo foi menor no segundo cenário. Pôde-se observar também que o tempo médio de execução da atividade com o maior número de tratores, em relação a atividade de menor número chega a ser, em média, 62 % menor para ambos os cenários. Os dados de consumo de combustível indicaram um consumo menor dos tratores do primeiro cenário. Verificou-se também que a cada acréscimo de tratores na frota, houve um incremento médio de 24L no consumo de combustível pelos tratores no primeiro cenário e 25L no segundo. O coeficiente de Gini indicou que a desigualdade no trabalho realizado por cada trator é muito pequena e sofre um ligeiro aumento a medida que mais tratores são adicionados ao modelo. Os resultados demonstram o potencial da ferramenta para a compressão dos padrões resultantes das interações entre os agentes. Sendo possível analisar e compreender o comportamento das variáveis de interesse dentro do modelo.

**Palavras chave:** Baldeio florestal, modelagem baseada em agentes (MBA), simulações.

## ABSTRACT

---

Over the last few years, efficient planning of the forest operations involved in the timber production process has enabled the sector to achieve important technical, operational and, above all, productivity gains. However, the increasing costs have awakened the sector to the need to seek new tools, which aim at rationalizing resources and minimizing environmental impacts. In this context, this research aims to develop, through spatial modeling tools, an agent - based simulation model (MBA) capable of analyzing the wood recycling activity, present in eucalypt forest harvesting operations, based on Pre-established criteria aiming to optimize the performance of three important components of the extraction activity, linked to the main agent of the process: forest tractors forwarders. These components are: the total distance traveled; The time spent to execute the activity; And fuel consumption. The established criteria gave rise to two scenarios of execution of the activity. The data obtained through the simulations showed that in the first scenario the total distance traveled by the tractors was, on average, 7% lower than in the second one. The mean values of distance traveled by each of the eight fleet configurations tested were applied to a statistical test comparing means, which showed statistical difference between the means of the two scenarios. The time spent to execute the activity was lower in the first scenario for the fleet configurations 1, 2 and 3; For the others the time was lower in the second scenario. It was also observed that the average time of execution of the activity with the largest number of tractors, in relation to the activity of smaller numbers, is on average 62% lower for both scenarios. The fuel consumption data indicated a lower consumption of the tractors of the first scenario. It was also verified that with each addition of tractors in the fleet, there was an average increase of 24L in the fuel consumption by the tractors in the first scenario and 25L in the second. The Gini coefficient indicated that the inequality in work performed by each tractor is very small and increases slightly as more tractors are added to the model. The results demonstrate the potential of the tool for the compression of the patterns resulting from the interactions between the agents. It is possible to analyze and understand the behavior of the variables of interest within the model.

**Key words:** Forest extraction, agent-based modeling, simulations.

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1: Área de floresta plantada por ano no Brasil (2007-2015).....	18
Figura 2: Distribuição das áreas com plantios de Eucalipto e Pinus por estados brasileiros em 2015. ....	19
Figura 3: Mapa de localização da área de estudo. ....	36
Figura 4: Detalhamento da área de estudo.....	38
Figura 5: Caracterização da operação de corte com o Harvester. ....	40
Figura 6: Disposição das toras de madeira no solo. ....	41
Figura 7: Forwarder Komatsu 895. ....	42
Figura 8: Forwarder TigerCat 1075.....	42
Figura 9: Modelo de identificação das áreas adequadas ao empilhamento da madeira. ....	44
Figura 10: Dimensões das pilhas de madeira .....	45
Figura 11: Esquema simplificado de coexistência entre agentes e ambiente.....	45
Figura 12: Visão geral do modelo. ....	46
Figura 13: Atributos dos agentes.....	47
Figura 14: Critérios de deslocamento do trator pela tora mais próxima. ....	49
Figura 15: Critérios de deslocamento do trator pela tora mais próxima ao centro do talhão .....	50
Figura 16: Identificação das áreas aptas ao empilhamento de madeira.....	51
Figura 17: Gráficos de apresentação dos valores médios de distância total percorrida pelos tratores forwarders durante a execução da atividade de baldeio. ....	55
Figura 18: Gráficos de apresentação dos valores médios de distância total percorrida por cada trator forwarders durante a execução da atividade de baldeio. ....	57
Figura 19: Gráfico de apresentação dos valores percentuais de distância percorrida pelos tratores em cada tipo de deslocamento. ....	58
Figura 20: Gráficos de apresentação dos valores de tempo médio de execução da atividade de baldeio.....	60



Figura 21: Gráfico de apresentação dos valores de consumo total médio de combustível dos tratores para execução da atividade. ....	62
Figura 22: Gráficos de apresentação dos valores médios de consumo de combustível para cada trator forwarders durante a execução da atividade de baldeio. ....	63
Figura 23: Coeficiente de Gini .....	64

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1: Área manejada e plantada certificada por sistema de certificação. ....	20
Tabela 2: Caracterização da área estudada pelo tipo de uso do solo. ....	37
Tabela 3: Características do povoamento florestal. ....	37
Tabela 4: Descrição dos Cenários. ....	48
Tabela 5: Configurações dos Cenários por frota de tratores e número de execuções. ...	50
Tabela 6: Volume máximo de madeira comportado por cada área de empilhamento. ...	52
Tabela 7: Resumo estatístico de dados das principais variáveis analisadas pelo MBA. ...	53
Tabela 8: Resumo estatístico de dados da variável distância total (km). ....	54
Tabela 9: Resumo estatístico de dados da variável tempo (H). ....	59
Tabela 10: Resumo estatístico de dados da variável consumo de combustível (L). ....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS

---

AAP	Área de Preservação Permanente
CERFLOR	Programa Nacional de Certificação Florestal.
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
F <sub>e</sub>	Fator de Empilhamento
FSC	<i>Forest Stewardship Council</i>
Ha	Hectares
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
L	Litros
M	Metros
Máx	Máximo
M <sup>3</sup>	Metros cúbicos
MBA	Modelagem Baseada em Agentes
Mín	Mínimo
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MS	Mato Grosso do Sul
PEFC	<i>Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes</i>
PIB	Produto Interno Bruto
REPAST	<i>Recursive Porous Agent Simulation Toolkit</i>
RL	Reserva Legal
SBS	Sociedade Brasileira de Silvicultura
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
St	Estério
UNCED	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento

## ÍNDICE

---

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA .....	16
3	OBJETIVOS.....	17
3.1	Geral.....	17
3.2	Específicos .....	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
4.1	O setor brasileiro de florestas plantadas .....	18
4.1.1	A importância do setor no contexto socioambiental .....	20
4.2	Colheita florestal.....	21
4.2.1	Corte .....	22
4.2.2	Extração ou baldeio .....	24
4.3	Planejamento florestal.....	26
4.3.1	Planejamento estratégico .....	27
4.3.2	Planejamento tático.....	28
4.3.3	Planejamento operacional.....	28
4.4	Modelagem de sistemas baseada em agentes .....	29
4.4.1	Histórico e conceitos fundamentais.....	29
4.4.2	Agentes inteligentes.....	31
4.4.3	Possibilidades e limitações da modelagem baseada em agentes .....	31
4.4.4	Ferramentas utilizadas na modelagem baseada em agentes .....	32
4.4.5	Modelagem baseada em agentes no Dinamica EGO.....	34
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
5.1	Material.....	36
5.1.1	Caracterização da área de Estudo .....	36
5.1.2	Banco de dados.....	38
5.1.3	Análise e processamento dos dados.....	39
5.1.4	Caracterização do sistema de colheita de madeira .....	40
5.1.5	Caracterização das máquinas utilizadas na operação de baldeio.....	41
5.2	Métodos .....	43
5.2.1	Posicionamento ideal das pilhas de madeira .....	43
5.2.2	Modelo baseado em agentes .....	45
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
6.1	Áreas aptas ao empilhamento de madeira.....	51
6.2	Simulação dos Cenários.....	52

6.2.1	Avaliação da distância percorrida.....	54
6.2.2	Avaliação do tempo gasto pelos tratores para execução da atividade.....	59
6.2.3	Avaliação do consumo total de combustível.....	61
6.2.4	Coeficiente de Gini.....	64
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
9	APÊNDICE.....	75
9.1	Testes de Normalidade.....	75
9.2	Teste-T Independente.....	76
9.3	Simulações.....	80

## 1 INTRODUÇÃO

---

Com uma das maiores coberturas florestais do mundo, o Brasil detém hoje cerca de 516 milhões de hectares de florestas. Deste total, cerca de 7,8 milhões de hectares correspondem a áreas de florestas plantadas, menos de 1% do território nacional. Apesar da maior parte das florestas do país serem nativas, o setor de florestas plantadas, segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores – Ibrá (2016), fechou o ano de 2015 com 1,2% de representação em toda a riqueza gerada no País e 6,0% do PIB industrial.

As florestas plantadas brasileiras são responsáveis por abastecer importantes cadeias produtivas da economia, como papel e celulose, produção de carvão, movelaria, construção civil, dentre outras. Para Simões (2008) aspectos como o crescimento dos mercados domésticos e internacionais, bem como as vantagens competitivas do setor de base florestal brasileiro frente aos competidores internacionais são responsáveis pelo ambiente altamente favorável para o crescimento desse segmento. Entretanto, este cenário positivo contrasta com o crescente aumento dos custos para a produção de madeira no país que, no período entre 2003 a 2013, foi de 93% (IBÁ, 2016).

Para minimizar estes custos o setor tem buscado investir em novas ferramentas que visam promover o aumento da produção através da melhoria dos seus processos, principalmente dos de colheita da madeira que, juntamente com os de transporte, representam as atividades que mais afetam o custo total da madeira (MACHADO, 2002).

Nos últimos anos a aquisição de máquinas de alta tecnologia para aumentar o nível de mecanização nos processos florestais se intensificou. Contudo, por si só, a utilização destes equipamentos não é sinônimo ou garantia de benefícios, é necessário planejar corretamente a execução de cada uma das atividades envolvidas nos processos de produção de madeira.

O planejamento eficiente das operações florestais é fundamental para potencializar os ganhos advindos da mecanização. É através dele que resultados cada vez melhores são alcançados, principalmente quanto à melhoria da qualidade do produto e do serviço, das condições de saúde e segurança dos trabalhadores, à minimização dos impactos ambientais, e ao aumento de produtividade (MACHADO e LOPES, 2008).

Neste sentido algumas ferramentas de apoio ao planejamento têm sido utilizadas a fim de trazer maior eficiência as operações florestais. Dentre as principais, destacam-se os sistemas de informação geográfica (SIG), os métodos estatísticos sofisticados e a pesquisa operacional. Estas ferramentas têm permitido a adoção de metodologias inteiramente científicas, em substituição aos métodos empíricos comumente empregados no planejamento das operações, principalmente das de colheita florestal.

Diante deste contexto, esta pesquisa tem por objetivo analisar, através de ferramentas de modelagem espacial, a atividade de baldeio florestal, que é parte constituinte da operação de colheita de madeira. A colheita representa a operação final do processo de produção de madeira, na qual são obtidos os produtos de maior valor agregado, sendo considerada uma atividade extremamente relevante e que mais sofre o processo de mecanização (MACHADO, 2002).

Segundo Machado (2002) a operação florestal de colheita da madeira é subdividida em duas etapas básicas: corte e extração. Sendo a extração da madeira representada pela retirada das arvores cortadas dos talhões até a estrada. Esta operação é também denominada de baldeio quando a madeira é transportada por tratores com plataformas, como por exemplo o *forwarder*

A proposta deste estudo compreende o desenvolvimento de um modelo de simulação baseado em agentes (MBA) capaz de analisar a atividade de baldeio florestal, com base em critérios pré-estabelecidos que visam otimizar o desempenho de três importantes componentes da atividade de baldeio, ligadas ao principal agente do processo: os tratores florestais *forwarders*. Estes componentes são: a distância total percorrida; o tempo gasto para execução da atividade; e o consumo de combustível.

## **2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA**

---

O processo de mecanização das operações florestais, principalmente das atividades de colheita de madeira permitiu que o setor conquistasse importantes avanços ao longo dos últimos anos. A redução da dependência de mão-de-obra, a melhoria das condições de trabalho e a redução do custo final da madeira podem ser vistos como importantes ganhos do setor (BURLA, 2008).

Paccola (2003) ainda ressalta que nesse processo evolutivo da mecanização, a utilização de máquinas permitiu que o trabalho fosse realizado de forma ininterrupta e com alta produtividade.

Entretanto, ainda existem desafios a serem superados pelo setor. Apesar da busca contínua pela redução de custos, a colheita florestal, assim como as demais operações florestais, precisa buscar a racionalização dos recursos materiais e humanos e a minimização dos impactos ambientais negativos de suas atividades.

Nota-se, neste sentido, a importância e necessidade de intensificar-se os estudos que visem contribuir para o desenvolvimento do setor brasileiro de florestas plantadas, especialmente daqueles que se dedicam a análise dos sistemas mecanizados de colheita de madeira. Portanto, a proposta desta pesquisa mostra-se relevante pelo seu intuito de melhorar, através do emprego de metodologias científicas, o planejamento da atividade de baldeio florestal.



### **3 OBJETIVOS**

---

#### **3.1 Geral**

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver, através de ferramentas de modelagem computacional e análises espaciais, um modelo de simulação baseado em agentes (MBA) capaz de analisar a atividade de baldeio florestal, com base em critérios pré-estabelecidos que visam minimizar a distância total percorrida pelos tratores florestais durante a execução da atividade, bem como o tempo e o consumo de combustível, tendo como objeto de estudo áreas com povoamentos clonais de *Eucalyptus ssp.* no estado do Mato Grosso do Sul.

#### **3.2 Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho serão:

- Definir as áreas mais adequadas ao empilhamento de madeira, indicando também o volume máximo de madeira comportado pelas pilhas;
- Realizar simulações da atividade de baldeio, avaliando o comportamento das variáveis distância, tempo e consumo de combustível;
- Comparar os cenários de simulação, indicando aqueles cujos resultados demonstraram ganhos significativos a atividade de baldeio.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 O setor brasileiro de florestas plantadas

No Brasil os plantios de florestas tiveram início há mais de um século, mas foi a partir da década de 60, com o início dos incentivos fiscais que estes se intensificaram, principalmente os plantios de Eucalipto (*Eucalyptus spp.*) e Pinus (*Pinus spp.*), sendo o primeiro introduzido nos cerrados paulistas e o segundo no sul do Brasil (SFB, 2015).

Desde então, inúmeras pesquisas voltadas a silvicultura dessas espécies foram desenvolvidas, consolidando seu uso em plantios comerciais. A figura 1 apresenta o total de florestas plantadas no Brasil entre os anos de 2007 a 2015 segundo a Indústria Brasileira de Árvores – Ibá (2016). Dentre os plantios comerciais de outras espécies podemos destacar a Acácia (*Acacia mearnsii*), Seringueira (*Hevea spp.*), Teca (*Tectona grandis*), Paricá (*Schizolobium parahyba*), Araucária (*Araucaria angustifólia*) e Álamo (*Populus sp.*).

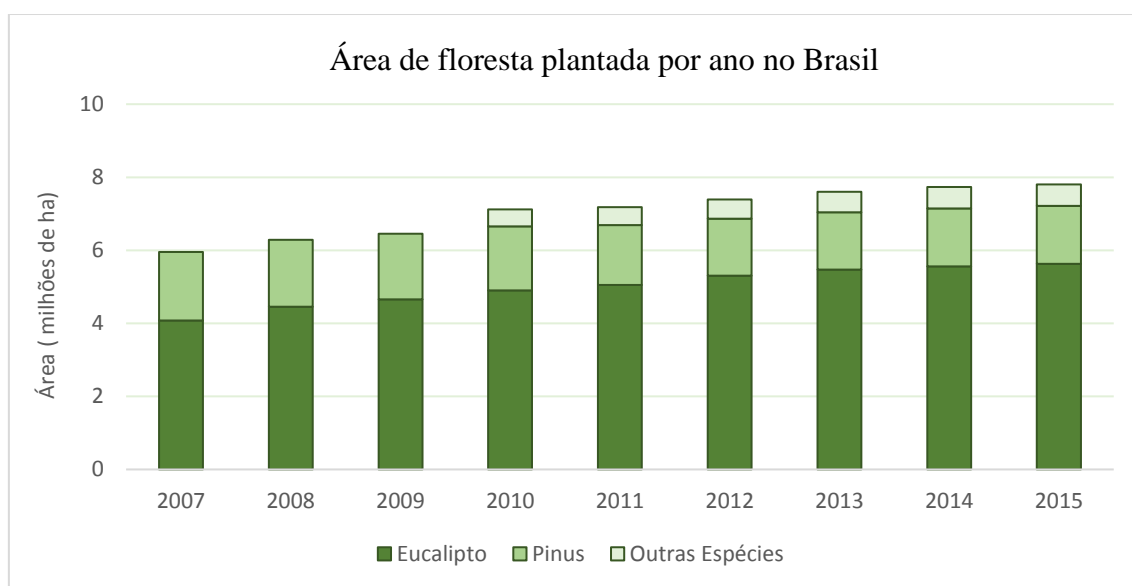
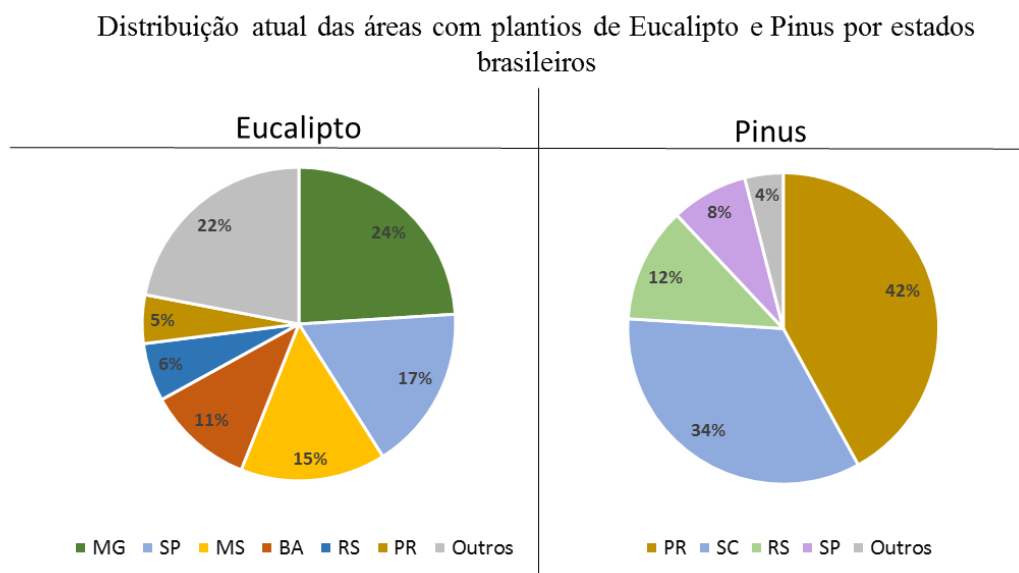


Figura 1: Área de floresta plantada por ano no Brasil (2007-2015).<sup>1</sup>

As florestas de Eucalipto, ocupam atualmente 5,6 milhões de hectares no Brasil e encontram-se, conforme apresentado pela figura 2, concentradas nos estados de Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%), já as florestas de Pinus ocupam 1,6 milhão de hectares e estão localizadas na região sul do país, nos estados

<sup>1</sup> Fonte: Ibá (2016). Elaboração do autor.

do Paraná (42%) e de Santa Catarina (34%). Nos últimos cinco anos as áreas de eucalipto cresceram cerca de 2,8% a.a., enquanto as áreas de pinus diminuíram cerca de 2,1% a.a., sendo em grande maioria, substituídas por áreas de eucalipto (IBÁ,2016).



**Figura 2: Distribuição das áreas com plantios de Eucalipto e Pinus por estados brasileiros em 2015.<sup>2</sup>**

Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (2015) atualmente o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no País, o restante vem de florestas nativas legalmente manejadas. O aumento crescente das florestas plantadas para produção de madeira indica, não somente a preferência por suas vantagens econômicas e operacionais, mas também, em certa medida, a dificuldade e o insucesso do manejo das florestas nativas em suprir a demanda requerida pela população (SBS, 2009).

Conforme dados da Indústria Brasileira de Árvores – Ibá (2016) a maior parte das florestas plantadas brasileiras pertencem às empresas do segmento de celulose e papel com 34% do total. Uma outra parcela, cerca 29% são de domínio de proprietários independentes e fomentados que investem em plantios florestais para comercialização da madeira *in natura*. Logo em seguida, com 14 % de área plantada está o segmento de siderurgia a carvão vegetal.

<sup>2</sup> Fonte: Ibá (2016). Elaboração do autor.

#### 4.1.1 A importância do setor no contexto socioambiental

Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS (2009) o alcance das dimensões econômicas, sociais e ambientais das florestas plantadas é reconhecido em fóruns internacionais desde o Simpósio Mundial sobre o tema realizado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) na Austrália em 1967, e reforçado nos compromissos e declaração de princípios sobre florestas da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (UNCED) em 1992 no Rio de Janeiro.

Um dos principais instrumentos utilizados pelas empresas deste setor para reafirmar seu comprometimento com as questões socioambientais e para evidenciar a sustentabilidade da cadeia produtiva de árvores plantadas é a certificação florestal, que tem por objetivo atestar que o manejo florestal é conduzido conforme os princípios e critérios de responsabilidade social e ambiental estabelecidos pelas normas do sistema de certificação (NUSSBAUM; SIMULA, 2005).

As certificações florestais são atribuídas por organizações independentes, como o FSC – Forest Stewardship Council, e o PEFC – Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes, representado no Brasil pelo CERFLOR – Programa Nacional de Certificação Florestal. O Brasil possui atualmente 5,5 milhões de hectares certificados, estas áreas contemplam além da área produtiva, áreas de conservação e destinadas a outros usos presentes nos empreendimentos certificados. As áreas exclusivamente de árvores plantadas representam 3,2 milhões de hectares (IBÁ, 2016).

**Tabela 1: Área manejada e plantada certificada por sistema de certificação.<sup>3</sup>**

Certificação	Área manejada* Milhões (ha)	Área plantada Milhões (ha)
Apenas FSC	2,7	1,6
Apenas CERFLOR	0,5	0,3
FSC + CERFLOR	2,3	1,3
<b>Total</b>	<b>5,5</b>	<b>3,2</b>

(\*) Inclui área produtiva, área de conservação e outras áreas.

<sup>3</sup> Fonte: Ibá (2016). Elaboração do autor.

## 4.2 Colheita florestal

Segundo Machado (2002) a colheita florestal pode ser conceituada como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visa preparar e extrair a madeira até o local de transporte, fazendo uso de técnicas e padrões estabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final.

Nas últimas décadas, a colheita florestal no Brasil passou por profundas mudanças, apresentando grandes avanços técnicos, operacionais, ergonômicos e, sobretudo, de produtividade. De acordo com Machado (2002), foi a partir dos anos 90 que a mecanização da colheita florestal em nosso país se intensificou, com a abertura do mercado pelo governo brasileiro à importação de máquinas e equipamentos de países de maior tradição florestal.

O uso de máquinas de alta tecnologia permitiu colocar os custos de produção de madeira entre os mais competitivos do mundo, tornou as operações mais seguras e aumentou consideravelmente o rendimento operacional da colheita florestal (MAGALHÃES e KATZ, 2010)

Segundo Stöhr e Baggio (1981) a mecanização, embora não seja a única maneira de racionalizar os trabalhos florestais, tem elevado destaque nos esforços para reduzir custos, substituir mão-de-obra e tornar mais ameno o trabalho florestal.

Conforme classificação da FAO (1974) e Malinovski e Malinovski (1998), os sistemas de colheita mecanizados podem ser classificados quanto ao comprimento das toras, a forma como são extraídas e ao local de processamento. Atualmente, os sistemas mais utilizados pelas grandes empresas nacionais são os de toras curtas (*cut-to-length*) e os de árvores inteiras (*full-tree*) (ROBERT, 2013).

No sistema de colheita de toras curtas (*cut-to-length*) a árvore é processada no local de derrubada, sendo extraída para a margem da estrada ou para o pátio temporário em forma de pequenas toras, apresentando em média seis metros de comprimento. Já nos sistemas de árvores inteiras (*full-tree*), a árvore é derrubada e levada para estrada ou para o pátio onde é processada (MALINOVSKI e MALINOVISK, 1988).

A operação de colheita florestal é comumente dividida em três etapas: corte, extração e transporte (MALINOVSKI et al., 2008)

#### **4.2.1 Corte**

##### ***Descrição***

A primeira atividade envolvida na operação de colheita florestal é o corte, esta é considerada também a primeira fase de preparação da árvore para o mercado (GREULICH et al,1996). Para Pulkki (2006) a operação de corte pode ser conceituada como a separação da árvore do toco a partir do seu lugar de crescimento.

A atividade de corte compreende as etapas de derrubada, desgalhamento, traçamento e empilhamento e pode ser realizada de forma manual, semi-mecanizada e mecanizada. Esta é uma operação de grande importância, pois influencia na realização das operações subsequentes. (SANT'ANNA, 2002).

Com o surgimento e a evolução das motosserras os trabalhadores florestais puderam abandonar o uso de machados e facões, equipamentos comumente utilizados nas operações manuais, para utilizar métodos semi-mecanizados de corte. Mas, apesar de o sistema semi-mecanizado ser muito usado no Brasil, o sistema mecanizado vem sendo adotado pela grande maioria das empresas florestais, que fazem uso de máquinas do tipo *harvester* e *Feller-Buncher* (SIMÕES, 2008).

##### ***Principais equipamentos utilizados***

Atualmente o mercado oferece inúmeros equipamentos e máquinas para as operações florestais de corte. Dentre os principais, Lima e Leite (2008) destacam:

- Motosserra

A motosserra pode ser conceituada como uma máquina portátil destinada às operações de derrubada, desgalhamento, destopamento e traçamento. A sua estrutura é constituída basicamente por duas partes: o corpo, incluindo o motor, carburador e o sistema elétrico e o conjunto de corte composto pela corrente, sabre e pinhão.

Para o processo de mecanização da colheita florestal, as motosserras tiveram papel fundamental, pois, substituíram o machado nas operações de corte (MINETTI, 1996). Para Sant'anna (2002) as motosserras exigem um baixo investimento inicial, e apresentam produtividade individual elevada e podem alcançar lugares de difícil acesso às máquinas especializadas.

- *Harvester*

Segundo Machado (2002), o *harvester* pode executar, simultaneamente, as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento e empilhamento da madeira., sendo composta por uma máquina base de pneus ou esteira, uma lança hidráulica e um cabeçote.

O cabeçote possui braços preensores, que seguram e levantam a árvore após o corte que é realizado por uma serra, um disco ou sabre, no qual árvore é posicionada horizontalmente, e através de rolos dentados em movimentos de vai-e-vem promovem o descascamento e desgalhamento por meio de uma estrutura metálica de corte. Toda movimentação e o acionamento dos dispositivos são realizados por um operador, que empunha um *joystick*. (LIMA e LEITE, 2008).

Como o *harvester* é uma máquina de campo, seu desempenho é diretamente influenciado por fatores ambientais e técnicos, como clima (chuva e ventos), a capacidade de suporte do terreno, a topografia, as características das árvores quanto ao seu diâmetro, tamanho dos galhos e da copa, peso e qualidade da madeira (BRAMUCCI e SEIXAS 2002).

- *Feller-Buncher*

O *Feller Buncher* é um trator florestal de pneus ou esteira com cabeçote frontal que faz o corte, acumula várias árvores e tomba-as (báscula), formando feixes de toras ou de árvores, empilhando-as para a posterior operação. (MACHADO, 2002).

O cabeçote, formado de uma peça rígida, é onde se encontra o mecanismo de corte da máquina, acionado por sistema hidráulico, compõe-se de um disco dentado, uma tesoura de dupla ação, ou um sabre e os braços acumuladores (MACHADO, 2002).

Segundo Bertin (2010) esta é uma máquina utilizada principalmente em cortes rasos, pois não tem mobilidade para realizar desbastes.

O *Feller-Buncher* realiza o corte por meio da fixação da árvore através de suas duas garras, o corte se dá ao nível do solo. Após o corte o braço acumulador é acionado, onde a árvore é firmada no cabeçote, posteriormente a máquina reabre as garras e segue para sua próxima operação, até que se atinja a capacidade de carga (MACHADO E LOPES, 2008).

Segundo Sant'Anna (2002), o corte realizado com sabre é similar ao efetuado com motosserra, distinguindo-se exclusivamente pela força propulsora da corrente, que na motosserra é gerada por um motor a explosão, e não por motor hidráulico.

### ***Fatores de influência no corte***

Os fatores que mais influenciam a atividade de corte, segundo Canto (2006) são a declividade do terreno, o diâmetro das árvores, a densidade do povoamento, a situação do sub-bosque, o tipo de equipamento utilizado e a capacidade e treinamento do operador.

## **4.2.2 Extração ou baldeio**

### ***Descrição***

A atividade de extração ou baldeio de madeira pode ser definida como a retirada da madeira dos talhões para a remoção (RIBEIRO E SOUZA, 1992). Para Staff e Wiksten (1984), é de grande importância para a viabilidade das operações florestais que a extração seja desenvolvida ao menor custo possível.

Segundo Malinovski e Perdoncini (1990) a atividade pode ser compreendida como o procedimento de retirada da árvore da floresta até a estrada ou estaleiro, após a sua derrubada no talhão.

Existem vários sinônimos para esta atividade, variando, muitas vezes de acordo com o modo como ela é realizada ou o tipo de equipamento utilizado, podendo-se citar os mais comuns, como extração, baldeio, arraste, encoste e transporte primário (SEIXAS, 2008).

Cada empresa adota o sistema de extração em função de suas características ou limitações como, por exemplo, a topografia, a disponibilidade de capital, entre outros (SANT'ANNA, 1992).

Segundo Malinovski e Malinovski (1998), no baldeio a madeira é geralmente transportada por tratores com plataformas, como por exemplo o *Forwarder*. Já no arraste, uma parte, ou o todo da carga está apoiada sobre o solo, podendo ser realizado por um guincho ou trator arrastador. Segundo Leite et al. (2014), o uso de *forwarders* de alta tecnologia no baldeio da madeira tem permitido altos rendimentos operacionais.



### ***Principais equipamentos utilizados***

No Brasil a extração mecanizada da madeira tem sido realizada por meio de *skidders* e *forwarders* (OLIVEIRA et al., 2006).

- *Skidders*

De acordo com Machado e Lopes (2008) o *Skidder* é um trator florestal articulado desenvolvido exclusivamente para o arraste de árvores, sua principal ferramenta constitui-se de uma pinça, ou também chamada de garra, localizada na sua parte traseira que é acionada hidráulicamente de forma a coletar os feixes de árvores.

Seixas (2008) cita que na parte frontal a máquina apresenta uma lâmina que auxilia na limpeza de vias de acesso, remoção de algum obstáculo no talhão, entre outros.

- *Forwarders*

O *forwarder* pode ser conceituado como um trator florestal automotriz que possui uma caixa de carga para depósito de madeira, uma lança hidráulica (grua) e uma garra para o auto carregamento, sendo projetado para o processo de extração de madeira do interior da floresta para as margens das estradas (LEITE, 2012). A movimentação da máquina e o acionamento de dispositivos, assim como acontece nos *harvesters*, são realizados com a ajuda de um joystick (MALINOVSKI, 2007).

Segundo Seixas (2008) os *forwarders* foram projetados para trabalhar no sistema de toras curtas (*cut-to-length*) sendo máquinas não muito velozes, mas muito versáteis, com grande capacidade de superar as condições adversas encontradas no campo. Em função do seu alto valor de aquisição, é um equipamento utilizado apenas em florestas de alta produtividade.

Geralmente o seu uso está associado ao *harvester*, ficando este posicionado perto dos feixes formados pela colheitadeira. Para Leite et al. (2014), o uso de *forwarders* de alta tecnologia na extração da madeira tem permitido altos rendimentos operacionais.

### ***Fatores de influência no baldeio***

Para Seixas (2008), o baldeio da madeira é um dos pontos críticos da operação de colheita florestal e necessita de um planejamento detalhado da operação, pois diversos fatores podem influenciar a atividade.

Para Silva (2014) o desempenho das máquinas é afetado por diversas variáveis operacionais e por condições da floresta, do relevo e do clima, sendo que as melhores condições operacionais aumentam a produtividade, e os custos de produção, consequentemente, diminuem.

Segundo Santos (2000) e Minette et al. (2004), no *forwarder* a produtividade cresce à medida que o volume por árvores aumenta e a distância de extração diminui e decresce na situação inversa.

Para Tufts (1993) e Kellogg e Bettinger (1994), a produtividade do *forwarder* está fortemente correlacionada com o tipo de manejo do talhão, com a distância média de transporte, com o volume de madeira a ser transportada e com o tamanho e densidade das toras. Nurminen et al. (2006), também ressalta que a operação de corte, efetuada pelo *harvester*, tem influência significativa na eficiência da operação de baldeio.

### **4.3 Planejamento florestal**

O planejamento pode ser conceituado como a elaboração, por etapas, com bases técnicas, de planos e programas de objetivos específicos. É a ciência de projetar, em uma base racional, cursos futuros de ação para indivíduos, grupos ou corporações. A sobrevivência de longo prazo de qualquer organização está intimamente associada ao planejamento, pois este as auxilia na determinação da melhor forma de alocar recursos escassos entre oportunidades de lucro (MACHADO e LOPES, 2008).

Para Banhara (2009) o planejamento apresenta-se como uma ferramenta imprescindível para o processo de tomada de decisão, sendo este indispensável à sustentabilidade de empreendimentos florestais.

Dentro do contexto florestal, o planejamento pode ser definido como uma identificação de atividades integradas, ao longo do tempo, e necessárias para atingir os objetivos dentro do manejo florestal (CHUNG E SESSIONS, 2003).

O objetivo do planejamento florestal é apoiar a tomada de decisão, de maneira que a melhor combinação de entradas e saídas atenda os objetivos definidos na gestão da propriedade florestal, levando-se em consideração a renda gerada, e também, a promoção de aspectos de lazer e a conservação (KANGAS et al.2008).

Tanto o planejamento, quanto o processo de tomada de decisão na área florestal são realizados, seguindo uma estrutura hierárquica, em que a informação é passada do nível mais alto para o nível mais baixo e as decisões são baseadas nas informações disponíveis em cada nível.

Os tipos de planejamento nas empresas dependeram do seu nível na organização, tamanho e o tipo de organização (WALDRON et al., 1997). De modo geral, existem três níveis de planejamento empresarial, sendo que a diferenciação entre eles ocorre em termos relativos e se fundamenta em quatro aspectos: nível de decisão, horizonte temporal, especificidade e a amplitude de efeitos (BEZERRA, 2014).

Segundo Terrece (2002) a hierarquia do planejamento florestal encontra-se dividida tradicionalmente em três classes: planejamento estratégico, planejamento tático e planejamento operacional.

#### **4.3.1 Planejamento estratégico**

Rebouças (2002) observa que o planejamento estratégico está relacionado com objetivos de longo prazo, e com estratégias e ações necessárias para alcançá-los, que afetam a empresa como um todo.

Segundo Terence (2002) o planejamento estratégico considera uma análise do ambiente externo e interno, de forma a determinar um rumo amplo e generalizado da empresa. O planejamento estratégico da colheita é realizado baseando-se na demanda da madeira pela indústria no horizonte de planejamento.

Para Gomide (2009) o planejamento florestal estratégico representa uma estratégia a longo prazo, sendo a escala mais distante do ano zero em termos de tempo, comparado com os outros estágios de planejamento. Em geral, o horizonte é definido em torno de 2 a 4 rotações silviculturais.

### **4.3.2 Planejamento tático**

O planejamento tático tem como base os objetivos e resultados adquiridos durante o planejamento estratégico, contudo uma escala menor de tempo é considerada. Neste nível de planejamento, são focadas as principais ações a serem empreendidas por cada unidade da empresa, para que sejam realizadas suas respectivas partes no plano estratégico (BATEMAN; SNELL, 1998).

Os planos táticos são desenvolvidos a mais curto prazo com relação os planos estratégicos, possuem etapas capazes de implementar as estratégias e ter resultados mensuráveis (KOKEMULLER e MEDIA, 2015).

Banhara (2009) ressalta que o horizonte de planejamento normalmente estimado no planejamento tático é de um a cinco anos. Nesse período, os objetivos estratégicos são traduzidos em metas mensais ou anuais, onde são decididas as medidas que devem ser realizadas, bem como os meios a serem utilizados para atingir estes objetivos.

No planejamento florestal, as principais definições abordadas nesta etapa referem-se ao sequenciamento das operações de colheita, ao dimensionamento de recursos e equipamentos a serem utilizados, com base em custos e rendimentos. Refere-se ainda à identificação de áreas críticas para a operação de colheita e ao estabelecimento de melhorias da malha viária necessárias para o escoamento da produção (MACHADO e LOPES, 2008).

### **4.3.3 Planejamento operacional**

O planejamento operacional tem por base os resultados do planejamento tático, apresentando a função de identificar os procedimentos e processos específicos requeridos aos níveis inferiores da organização, sendo elaborados planos com horizontes curtos de tempo, focalizando tarefas rotineiras (BATEMAN, SNELL, 1998).

No planejamento operacional, Assumpção (1996) descreve dois níveis hierárquicos: um superior, que discute estratégias e metas de produção, portanto macroplanejamento e um inferior, o microplanejamento, que de acordo com Oliveira et al. (2006), é responsável pelo planejamento das operações propriamente ditas.

Os objetivos específicos do macroplanejamento priorizam a macrovisão de aspectos operacionais da colheita e transporte da madeira, da rede viária, da identificação de aspectos ambientais da área, do nível de utilização de recursos externos à companhia e, conseqüentemente, da indicação das necessidades de investimento e adequação da estrutura operacional. (GUIMARÃES, 2004)

Ainda segundo Guimarães (2004), o microplanejamento florestal, partindo da visão do macro, tem como objetivos segregar e caracterizar todos os aspectos operacionais que nortearão a estratégia de planejamento tático operacional de curto prazo. Constitui-se de uma descrição fiel da estrutura física do talhão, incluindo a rede viária, áreas de preservação permanente e reserva legal, testes experimentais e outros aspectos relacionados à atividade de colheita florestal.

#### **4.4 Modelagem de sistemas baseada em agentes**

Uma das metodologias disponíveis para construção de modelos que vem se expandindo rapidamente em diversos campos da ciência, tais como ciências sociais e ambientais, é a modelagem de sistemas baseada em agentes ou simplesmente modelagem baseada em agentes – MBA, ou ainda, sistemas baseados em agentes (*agent-based systems*) e modelagem baseada em indivíduos (*individual-based modeling*).

##### **4.4.1 Histórico e conceitos fundamentais**

A MBA tem suas raízes na teoria de simulação tradicional, mais especificamente na simulação de eventos discretos e dinâmica de sistemas, que ganhou fama nas décadas de 1960 e 1970 com o pesquisador *Jay Wright Forrester* do *Massachusetts Institute of Technology – MIT*. Entretanto, muitos pesquisadores creditam a origem da MBA que conhecemos atualmente ao *Santa Fe Institute*, que desenvolveu no final da década de 1980 o *Swarm*, primeiro pacote computacional disponível projetado para MBA (SAMUELSON, 2005).

Ainda segundo Samuelson (2005) a MBA envolve princípios de pesquisa operacional, inteligência artificial, teoria de redes sociais e ciências cognitivas entre outras disciplinas, tendo como principal função expandir a teoria tradicional de simulação para incluir entidades cujo comportamento pode ser modificado ao longo do tempo, dependendo das circunstâncias do ambiente.

Para Bonabeau (2002) na MBA o sistema é modelado como uma coleção de entidades autônomas de tomadas de decisão chamadas agentes. Essencialmente, um modelo baseado em agentes consiste de um sistema de agentes e as relações entre estes. Estes modelos buscam construir “micro-mundos” ou *would-be-worlds* em um computador com o intuito de definir como as interações e comportamentos dos vários agentes individuais criam estrutura e padrão (Berry et al., 2002).

O processo de construir modelos baseados em agentes, segundo Macal e North (2006) possui alguns aspectos únicos, devido ao fato de se tomar por base a perspectiva de agentes ao invés da perspectiva baseada em processos da modelagem e simulação tradicional.

Ainda segundo Macal e North (2006), alguns passos gerais são cruciais para a construção de modelos de agentes, são estes:

- a) Agentes: identificar os tipos de agentes e suas características;
- b) Ambiente: definir o ambiente no qual os agentes irão viver e interagir;
- c) Métodos de agentes: apontar os métodos pelos quais as características dos agentes serão atualizadas em resposta às interações entre agentes e entre agentes e ambiente;
- d) Interações de agentes: acrescentar os métodos que controlam o que agentes interagem, quando interagem, e como interagem durante a simulação;
- e) Implementação: implementar o modelo de agentes em um sistema computacional.

O campo de aplicação da MBA cresceu significativamente em diferentes direções nas últimas décadas e abrange aplicações sofisticadas como jogos de guerra e análise de inteligência, desempenho organizacional e políticas sociais (SAMUELSON, 2005).

Para Macal e North (2006) algumas das razões que justificam esta expansão da MBA residem no fato de que os pacotes de *softwares* lançados nos últimos anos tornaram a MBA fácil e atrativa para praticantes de simulação de diferentes áreas. Além disso, a MBA tem permitido a análise e modelagem de sistemas cada vez mais complexos em termos de suas interdependências.

#### **4.4.2 Agentes inteligentes**

O termo agente inteligente originou-se no campo da inteligência artificial, e apesar dos diferentes estudos relacionados ao tema, ainda hoje não existe um consenso sobre a definição do termo (LIMA et al, 2009).

Conforme Coelho (2007) os agentes podem ser compreendidos como entidades autônomas como pessoas, bactérias, plantas, animais, veículos, organizações, que possuem características próprias como tempo de vida, percepção, capacidade de deslocamento, exigências alimentares, capacidade de consumo, capacidade de armazenamento, capacidade de multiplicação. Para Macal e North (2006) o agente é uma entidade discreta que tem seus próprios objetivos, sendo autônomo e com uma capacidade de adaptar-se e modificar os seus comportamentos.

Barros et al. (2011) ressalta que o comportamento de um agente é potencialmente de natureza complexa e estes interagem entre si ao longo do tempo e também com o ambiente em que estejam inseridos, na busca do atendimento dos seus objetivos, que podem ser reprodução, ganho econômico, status, sobrevivência, dominação, etc.

Smith *et al.* (2007) afirma que qualquer entidade de simulação que apresente as propriedades descritas a seguir, pode ser considerada um agente: (1) Comportamento autônomo (proativo ou reativo); (2) Visão de mundo individual; (3) Capacidade de comunicação e cooperação (interatividade), e (4) Mobilidade espacial.

Por se centrar nos agentes, na MBA tem-se que o comportamento global do sistema simulado é resultado das interações de muitos comportamentos individuais. Essa abordagem é caracterizada por alguns autores como uma técnica *bottom-up* (de baixo para cima), oferecendo, portanto, uma forma mais simples para modelagem de sistemas complexos (Zhang e Zhang, 2007). Logo, as aplicações que empregam agentes podem ser consideradas como descentralizadas (focadas no indivíduo), em contrapartida à abordagem de modelagem em nível macro de sistemas.

#### **4.4.3 Possibilidades e limitações da modelagem baseada em agentes**

A MBA tem conquistado espaço em diversos campos da ciência nos últimos anos. A limitação dos modelos tradicionais que usam técnicas como equações diferenciais e

modelagem estatística pode ser apontada como uma das principais razões para essa elevada aceitação (BANKES, 2002).

Para Bonabeau (2002) a MBA oferece importantes benefícios em relação a tradicionais técnicas de modelagem pois permite capturar fenômenos emergentes, além de fornecer uma descrição natural de determinados tipos de sistemas. Ainda segundo o autor, existe um potencial para o emprego da MBA em situações cujos agentes possuam um comportamento complexo, incluindo aprendizagem e adaptação; quando as interações entre os agentes são complexas e quando a natureza das interações é heterogênea e complexa, dentre outras.

Para Lima et al. (2009), um desafio enfrentado pelas técnicas de modelagem em geral, é que o modelo deve ser elaborado num nível correto de descrição dos fenômenos, usando uma quantidade apropriada de detalhes, para servir ao seu propósito. O autor ainda destaca outro desafio está relacionado à própria definição da MBA, a qual trata um sistema no nível de suas unidades constituintes, o que exige elevado poder computacional e tempo para simulação do modelo, conforme a escala e a complexidade modelada.

Bankes (2002) ressalta que a MBA trouxe grandes contribuições para as ciências sociais, mas impõem suposições irreais ou revelam limitadas possibilidades de aplicação no tratamento de questões que requerem a representação do comportamento humano, motivações individuais e relações entre agentes sociais. Isso acontece porque em parte, os comportamentos podem ser potencialmente irracionais, de escolhas subjetivas e psicologia complexa, aspectos difíceis de quantificar, calibrar e muitas vezes justificar.

#### **4.4.4 Ferramentas utilizadas na modelagem baseada em agentes**

Atualmente, existem vários sistemas disponíveis para o desenvolvimento de modelos baseados em agentes, dentre os principais destacam-se as ferramentas *Swarm*, *Repast* e o *NetLogo*.



## ***Swarm***

A primeira ferramenta computacional desenvolvida para a modelagem baseada em agentes foi o Swarm<sup>4</sup> na década de 1990 pelo *Santa Fe Institute* (Swarm, 2016). Atualmente é mantido pelo *Swarm Development Group (SDG)*. Sua primeira versão foi criada especificamente para modelagem de vida artificial em estudos de sistemas biológicos. Desde então, as aplicações do programa não se limitaram a estudos no campo das ciências biológicas, estando presente em áreas como ciências políticas, ciências da computação, economia, geografia, planejamento industrial e militar, entre outras.

Lima et al. (2009), apresenta quatro características principais do *Swarm*, são elas: (1) a unidade básica de simulação é o *Swarm*. (2) O *Swarm* representa um modelo completo, formado de agentes bem como da representação do tempo. (3) o *Swarm* suporta a modelagem hierárquica. (4) O *Swarm* fornece bibliotecas orientadas a objetos para construção e análise de modelos, exibição e controle de experimentos. Fornece também um conjunto completo de bibliotecas para gerenciar agentes, estruturas espaciais para seu ambiente, suas atividades e a análise dos resultados.

Aguilar et al., (2001) ressalta ainda que o *Swarm* apresenta uma curva de aprendizado acentuada, sendo pré-requisito desejável possuir experiência em Java (ou Objective C) e ser familiarizado com a metodologia de orientação a objetos.

## ***Repast***

Uma outra ferramenta conhecida no campo da modelagem baseada em agentes é o *Recursive Porous Agent Simulation Toolkit (Repast)*<sup>5</sup>, originalmente desenvolvido pela *University of Chicago* no ano de 2000, e aprimorado pelo *Argonne National Laboratory*.

O *Repast* é uma ferramenta livre e de código aberto, nos quais os modelos podem ser desenvolvidos em diferentes linguagens de programação como Java, Visual Basic.Net e Python.

---

<sup>4</sup> Swarm-2.1.1. Swarm Development Group (SDG). Copyright© 1996-2016. Santa Fe Institute, NM. Disponível em <http://www.swarm.org>.

<sup>5</sup> Repast. Repast For High Performance Computing 2.2.0, Released On 30 September 2016. Copyright© 2015. Argonne National Laboratory. All Rights Reserved. Disponível em <http://repast.github.io/>.

O Repast apresenta um grande número de *templates* e exemplos de agentes, além de ser inteiramente orientado a objetos e de permitir aos usuários acessar e alterar dinamicamente características dos agentes, equações de comportamento, e propriedades do modelo em tempo de execução (REPAST, 2016).

### **NetLogo**

O *NetLogo*<sup>6</sup> foi desenvolvido em 2008 pelo *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling* da *Northwestern University*, sendo classificado como um ambiente de modelagem programável multi-agente.

Com *NetLogo*, é possível simular diferentes fenômenos emergentes da vida real, tais como bandos de pássaros, engarrafamentos, colônias de formigas, e economias de mercado. A ferramenta possui uma extensa biblioteca de modelos que podem ser utilizadas e modificadas conforme necessidade do usuário. O *NetLogo* apresenta agentes móveis, denominados de *turtles*, que se movimentam sobre uma grade de agentes estacionários, chamados *patches* (NETLOGO, 2016).

#### **4.4.5 Modelagem baseada em agentes no Dinamica EGO**

O Dinamica EGO<sup>7</sup>, acrônimo para *Environment for Geoprocessing Objects* consiste numa plataforma sofisticada para modelagem sistemas ambientais desenvolvida pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais.

O ambiente de modelagem apresenta diversos operadores denominados de *functores* (*functors*), que podem ser compreendidos como processos que executam operações específicas sobre um determinado conjunto de dados de entrada, produzindo como saída um novo conjunto de dados. Esses *functors* são ligados em sequência para estabelecer um fluxo de dados na forma de grafos. É possível elaborar modelos simplesmente selecionando, arrastando e conectando os *functors* por meio de seus portos, os quais representam conexões específicas para cada tipo de dado, como mapas, tabelas, matrizes, expressões matemáticas e constantes. O Dinamica EGO também disponibiliza operadores de grupo, conhecidos como containers que agrupam e determinam um comportamento

---

<sup>6</sup> NetLogo. Copyright © 1999-2016 Uri Wilensky Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. Disponível em <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.

<sup>7</sup> Dinamica EGO 3.0.17. Copyright © 1998-2016 Centro de Sensoriamento Remoto. Universidade Federal de Minas Gerais - Brazil. All Rights Reserved. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica>.

para o conjunto de operadores nele contidos. O ambiente do software é escrito em C++ e Java. O núcleo, responsável pela criação e execução dos modelos, é escrito em C++, enquanto a interface gráfica é escrita em Java (SOARES-FILHO et al, 2016).

Em 2012, um modelo espacialmente explícito baseado em agentes foi projetado usando o Dinamica EGO para representar interações entre uma população de coelhos e o ambiente. O modelo simulou o movimento de agentes, bem como suas situações internas, distribuição espacial e características demográficas. Diversos cenários foram executados para analisar as respostas dos agentes às mudanças em seu ambiente (Campos et.al, 2013).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Material

#### 5.1.1 Caracterização da área de Estudo

##### *Área de Referência*

Esta pesquisa tem como área de referência em seu estudo uma fazenda denominada Paraíso, utilizada para o plantio comercial de *Eucalyptus spp.* destinados à produção de celulose. A área de estudo é de propriedade da empresa Fibra e está localizada na região leste do estado de Mato Grosso do Sul na bacia do rio Paraná, conforme apresentado pela figura 3.

O relevo da região apresenta-se suave, com declividade média inferior a 3,5°. O clima na região segundo a classificação de Köppen enquadra-se no tipo climático Aw, que indica clima tropical com estação seca de inverno, as temperaturas médias mensais são de 23 °C e a precipitação total anual na região varia entre 1.300 e 1.600 mm (ALVARES et al, 2013).

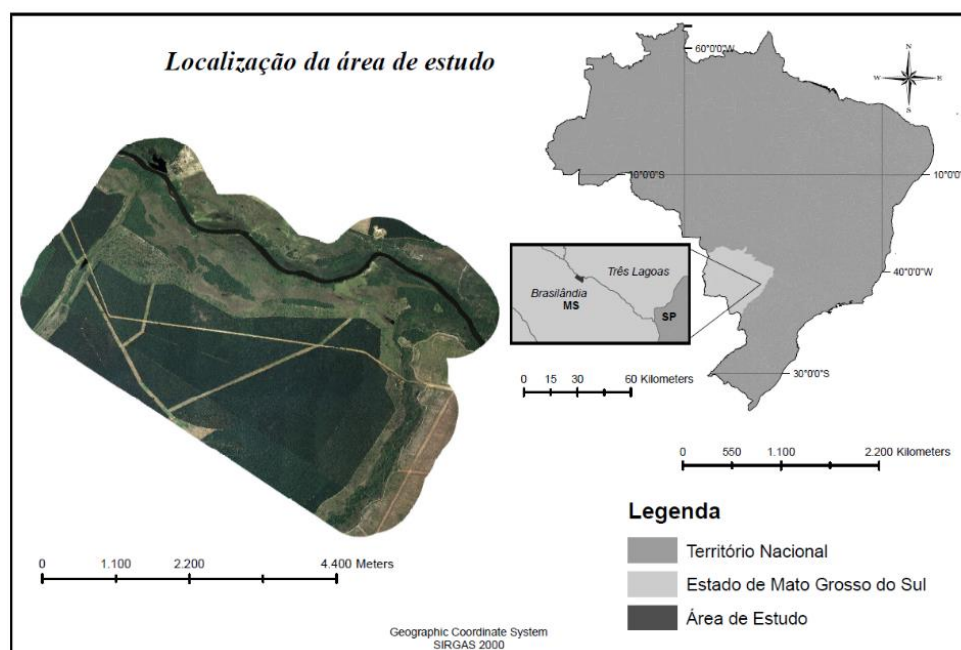


Figura 3: Mapa de localização da área de estudo.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Fonte: Fibria (2016). Elaborado pelo autor.

A área de estudo de referência possui 1.185 hectares. Deste total, 633 ha são utilizados para o manejo de Eucalipto e encontram-se fragmentados em 13 talhões que representam a unidade de trabalho ou produção florestal com localização e dimensões bem definidas, e 501,85 ha são compostos predominantemente por áreas de conservação. Estes dados são apresentados na tabela 02.

**Tabela 2: Caracterização da área estudada pelo tipo de uso do solo.<sup>9</sup>**

Dimensões da área de estudo em hectare (ha)				
Área Total	Área Plantada	Áreas de Conservação	Área de Estradas	Outros
1184,67	632,89	501,85	25,56	24,37

Os dados referentes às características do povoamento florestal da área de estudo são apresentados na tabela 03.

**Tabela 3: Características do povoamento florestal.<sup>10</sup>**

Caracterização do povoamento florestal na área de estudo	
Idade média do povoamento (anos)	7
Número médio de árvores (árvores/ha)	1.100
Diâmetro médio das árvores (DAP) (cm)	16,9
Altura média das árvores (m)	25,82
Volume médio individual (m <sup>3</sup> )	0,25
Espaçamento (m)	3,8 x 2,05

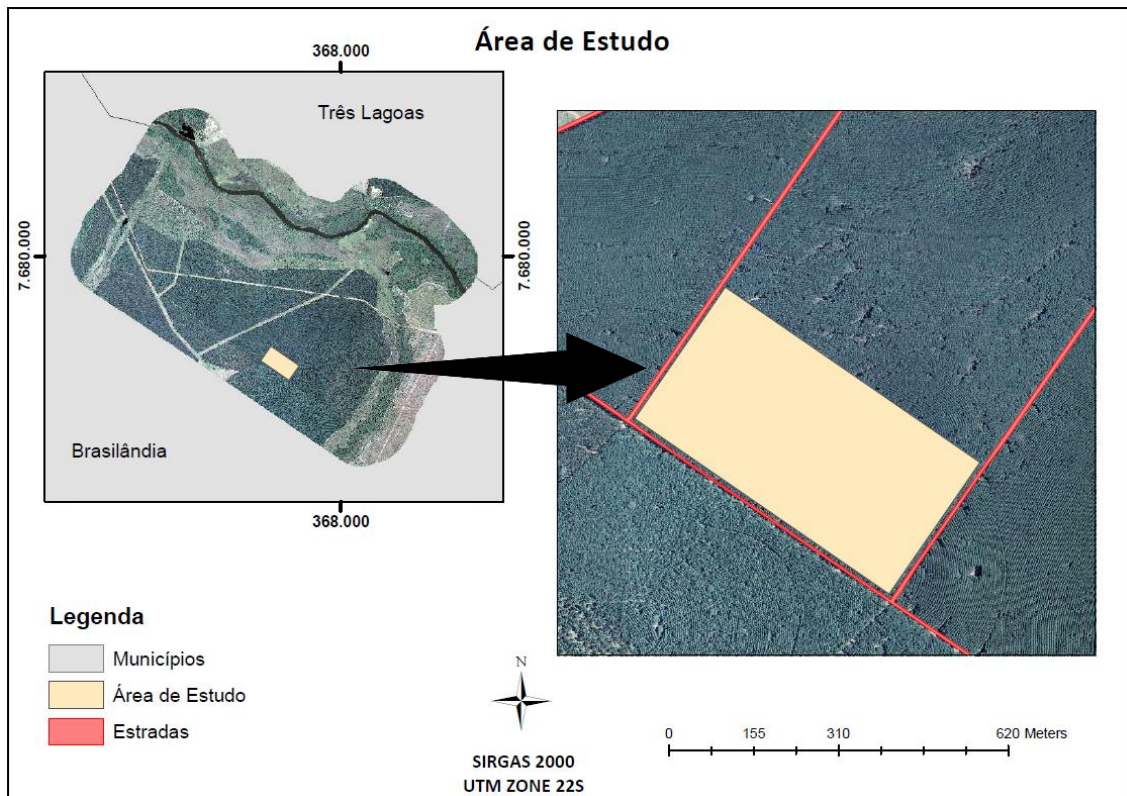
Os principais usos e ocupações do solo na área de estudo são: as áreas de plantio, que correspondem aos talhões; as áreas de conservação, que representam as Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL); a hidrografia, que compreende os rios e lagos; as áreas de estradas; e outros usos, que representam grupos menores de uso e ocupações do solo.

### ***Área de estudo***

Apesar de toda área de referência estar apta a análise proposta neste estudo, optou-se por utilizar no modelo baseado em agentes (MBA) uma área de estudo fictícia que apresenta todas as características físicas da área de referência, mas com dimensões espaciais menores. Esta área de estudo é apresentada pela figura 04.

<sup>9</sup> Fonte: Fibria (2016). Elaborado pelo autor.

<sup>10</sup> Fonte: Fibria (2016). Elaborado pelo autor.



**Figura 4: Detalhamento da área de estudo**

Como o modelo desenvolvido apresenta uma elevada quantidade de critérios (de decisão e de restrição) que estabelecem as regras de execução da atividade de baldeio, o processamento torna-se demorado. A escolha de uma área de simulação menor, tem então, a finalidade de permitir que o modelo seja executado mais vezes sob diferentes perspectivas ou situações. Ou seja, quanto maior a área de estudo, maior o trabalho de processamento de dados pelo modelo. Sendo assim, a utilização de uma área menor permitiu otimizar o tempo de execução sem prejudicar a avaliação da atividade.

A área de estudo fictícia possui aproximadamente 6 ha, com 6.480 árvores plantadas, o que representa um total de 1.620 m<sup>3</sup> de madeira de eucalipto.

### **5.1.2 Banco de dados**

O banco de dados utilizados neste estudo é composto por dois conjuntos de informações: dados espaciais e dados descritivos:

- Os dados espaciais correspondem as informações referentes aos limites da área estudada, bem como a identificação dos diferentes uso e ocupações do solo nela existentes. Também constam neste banco de dados, modelos digitais de terreno e de

superfície. Para serem utilizados no MBA todos os dados espaciais foram convertidos para o formato *raster*, com pixels de 0,5 m.

- Os dados descritivos são compreendidos por 3 grupos de informações: as informações de inventário florestal que caracterizam o povoamento, as informações cadastrais que detalham as dimensões espaciais da área de estudo, e as informações detalhadas da operação de colheita das árvores da área estudada.

### 5.1.3 Análise e processamento dos dados

Para análise e processamento dos dados, foram utilizados os seguintes *softwares*:

- ARCGIS 10.3<sup>11</sup>: O ArcGis é um Sistema de Informação Geográfica desenvolvido pelo *ESRI - Environmental Systems Research Institute* (ESRI, 2016). O *software* foi utilizado para o gerenciamento dos dados, para realização de análise de espaciais e elaboração de mapas.
- EXCEL 2016<sup>12</sup>: O Excel é um editor de planilha eletrônica da Microsoft (MICROSOFT, 2016). Neste estudo o Excel foi utilizado para organizar, manipular e analisar os dados gerados pelo modelo de simulação.
- DINAMICA EGO: Através da plataforma de modelagem Dinamica Ego o modelo de simulação baseado em agentes proposto neste estudo foi desenvolvido. Algumas análises espaciais dos resultados obtidos no modelo também foram realizadas no software.
- IDM SPSS<sup>13</sup>: O IDM SPSS é uma família integrada de produtos que trabalham com processos de análise estatística de dados. (IBM, 2016). Este *software* foi utilizado para a realização de testes estatísticos com os resultados obtidos com o MBA.

---

<sup>11</sup> Microsoft® Excel® 2016 MSO (16.0.7426.1015) 32 bits. Microsoft Office Proofing Tools. ©2016 Microsoft Corporation. All rights reserved.

<sup>12</sup> Esri® ArcGIS® 10.3 for Desktop. ArcGIS-103-BGDT- MSO-Patch.msp. 32 bits. ©2016. All rights reserved.

<sup>13</sup> IDM SPSS Statistics © 2016. IBM SPSS Statistics Desktop - 32 bits. IDM Coporation. All rights reserved.

### 5.1.4 Caracterização do sistema de colheita de madeira

O sistema de colheita de madeira utilizado na área estudada é o sistema em toras curtas (*cut-to-length*). A operação de colheita das árvores inicia-se através da atividade de corte, nesta atividade os tratores florestais *harvesters* realizam o corte e o processamento das árvores em toras curtas de 6,5 metros de comprimento.

Os *harvesters* trabalham em eitos (faixa de trabalho) formados por 4 linhas de plantio. O seu deslocamento sempre é realizado sobre a 2ª linha. Cada árvore é derrubada para o lado direito, sendo posteriormente cortada em toras curtas que são empilhadas do lado esquerdo da máquina. Estes feixes são dispostos no solo em sentido perpendicular ao alinhamento do plantio. Em média, os feixes de madeira contêm 8 árvores processadas. Ao concluir um eito de trabalho, os tratores retornam ao início, dando seguimento ao próximo eito, conforme apresentado na figura 05.

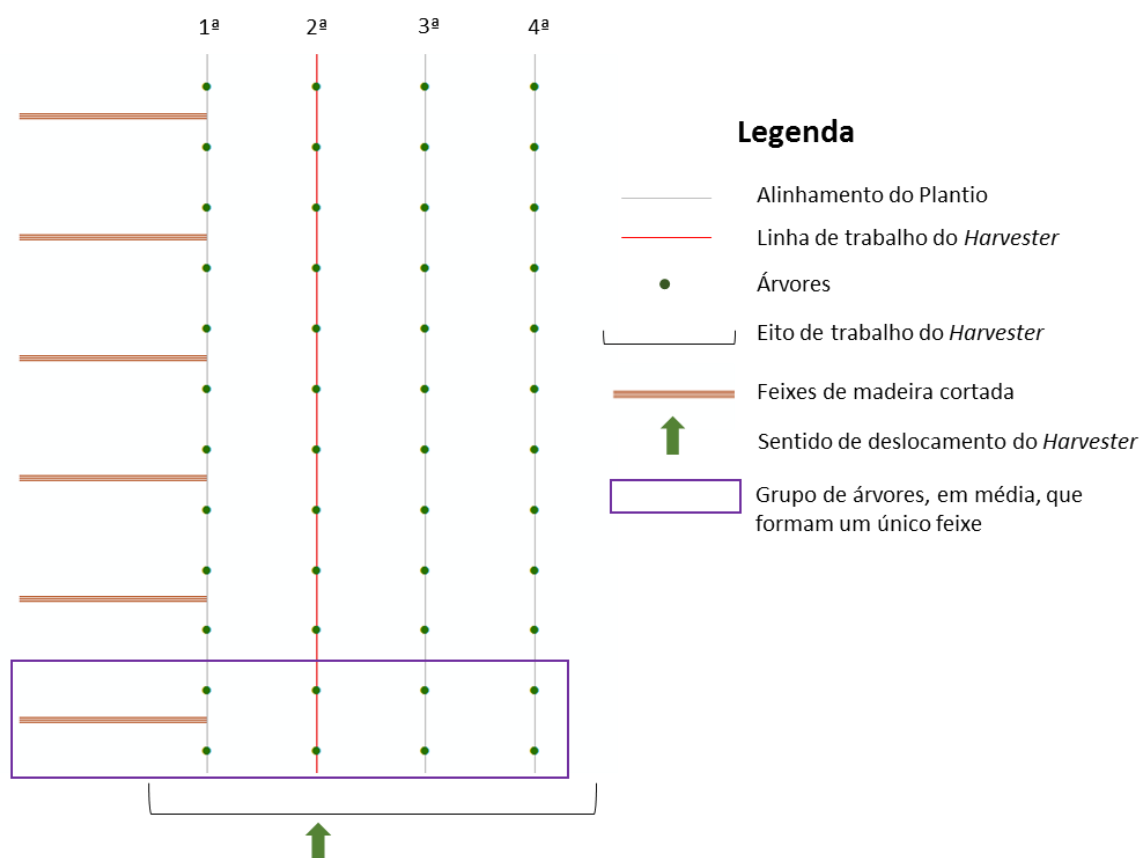


Figura 5: Caracterização da operação de corte com o Harvester.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Fonte: Fibria (2016). Elaborado pelo autor.



A disposição das toras de madeira no solo também é apresentada na figura 06. Cabe ressaltar que momento de corte das árvores as mesmas podem ou não ser descascadas pelos tratores *harvesters*. Este procedimento é previamente definido pelo planejamento operacional.



**Figura 6: Disposição das toras de madeira no solo.<sup>15</sup>**

Na atividade de baldeio, etapa posterior ao corte, objeto de estudo desta pesquisa, os tratores florestais *forwarders* recolhem as toras de madeira dispostas no solo e as direcionam para pilha de madeira mais próxima, dispostas nas bordas do talhão.

Diante da caracterização do sistema de colheita de madeira na área estuda, foi possível construir, a partir dos dados espaciais disponibilizados, mapas com a localização geográfica estimada dos feixes de madeira cortados pelos tratores *Harvester*.

### **5.1.5 Caracterização das máquinas utilizadas na operação de baldeio**

Compõem a frota<sup>16</sup> de máquinas utilizadas na atividade de baldeio da área de estudo de referência, os tratores florestais *Komatsu 895* e *TigerCat 1075*.

O *forwarder Komatsu 895* é considerado um dos maiores da categoria. Possui motor a diesel com potência de 259 hp a 1.700 RPM, a tração é de 8x8 com rodados de pneus, o

---

<sup>15</sup> Fonte: Fibria (2016). Elaborado pelo autor.

<sup>16</sup> Frota: Conjunto de tratores florestais.

alcance máximo da grua é de 8,5 m e sua carga bruta é de 20.000 Kg. (KOMATSU, 2016). O *forwarder Komatsu 895* é apresentado na figura 07.



**Figura 7: Forwarder Komatsu 895.<sup>17</sup>**

Já o *forwarder TigerCat 1075* é um *trato florestal* de grande capacidade concebido para aplicações de alta produção. Possui motor a diesel com potência de 275 hp a 2.200 RPM, a tração é de 8x8 com rodados de pneus, o alcance máximo da grua é de 7,8 m e sua carga bruta é de 23.540 Kg. (TIGERCAT, 2016). O *forwarder TigerCat 1075* é apresentado na figura 08.



**Figura 8: Forwarder TigerCat 1075.<sup>18</sup>**

No MBA elaborado neste estudo estabeleceu-se como valor máximo de carga para os tratores *forwarders* o valor de 24 m<sup>3</sup>, desconsiderando assim pequenas diferenças entre

---

<sup>17</sup> Fonte: Komatsu. Tratores Forwarder modelo Komatsu 895. Disponível em [http://colheidademadeira.com.br/fotos/forwarder\\_komatsu\\_895-2/](http://colheidademadeira.com.br/fotos/forwarder_komatsu_895-2/)

<sup>18</sup> Fonte: Tigerat. Tratores Forwarder modelo Tigerat. 1075. Disponível em <http://www.tigerat.com/product/1075c-forwarder/>

os modelos de *forwarders* utilizados na atividade. O consumo médio de combustível dos dois modelos é de 20 l/km, sendo este consumo 15% maior quando o trator está com sua carga completa.

## 5.2 Métodos

### 5.2.1 Posicionamento ideal das pilhas de madeira

#### *Identificação dos locais aptos ao posicionamento das pilhas*

A escolha dos melhores locais para posicionar uma pilha de madeira é determinada pela análise de diferentes variáveis que podem facilitar ou inviabilizar a alocação das pilhas.

Neste sentido, um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis foi utilizado para garantir que escolhas mais adequadas de locais para o empilhamento da madeira fossem realizadas. Optou-se por utilizar o método de análise multicritérios (AMC) para solucionar este problema.

As variáveis ou critérios que influenciam na escolha do melhor local para o posicionamento das pilhas de madeira podem ser classificadas em dois tipos, aquelas que restringem a análise apenas a áreas específicas, sendo assim booleanas com valor 1 ou 0, e aquelas que admitem um certo grau de adequabilidade.

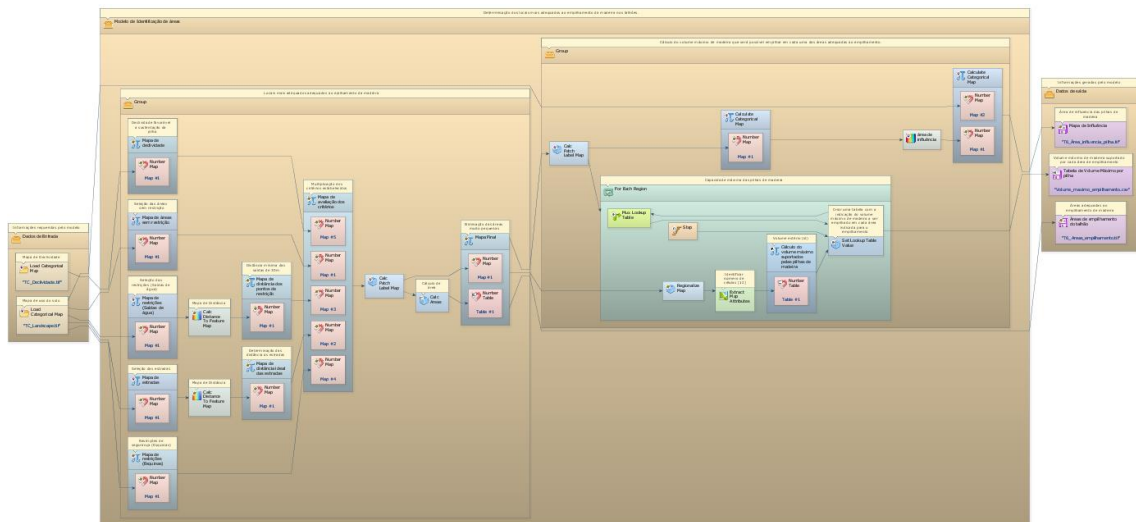
Trabalhos como os de Lima (2009) e Leite (2010) apresentam variáveis de importante relevância na escolha dos locais mais adequados ao empilhamento de madeira. Com base nestes trabalhos acadêmicos e nas variáveis utilizadas pela equipe de operação florestal da empresa que detém o domínio da área de estudo, as seguintes variáveis foram selecionadas:

- *Distância as estradas:* As pilhas de madeira devem ser alocadas o mais próximo possível das estradas, a fim de favorecer a operação de transporte da madeira cortada.
- *Facilidade de movimentação das máquinas:* Esta variável está diretamente associada a declividade do terreno. Inclinações acentuadas prejudicam o deslocamento das máquinas e acarretam aumento do tempo de percurso e aumento do consumo de combustível.

- *Declividade favorável a sustentação da pilha:* Assim como na movimentação das máquinas, a declividade do terreno interfere diretamente na estabilidade da pilha de madeira, por isso em declividades acima de 6,5° não é desejável que sejam posicionadas pilhas de madeira.

- *Restrições pré-estabelecidas:* compõem esta variável as áreas que não estão aptas a receber as pilhas de madeira por medidas de segurança, como as equinas dos talhões, e as áreas próximas as áreas de drenagem (saídas de água) dos talhões.

No *software* Dinamica EGO, conforme apresentado na figura 10, as variáveis foram processadas permitindo a criação de um mapa que representa espacialmente a combinação linear dos critérios, permitindo classificar as áreas dentro dos talhões em aptas e inaptas ao posicionamento das pilhas de madeira.



**Figura 9: Modelo de identificação das áreas adequadas ao empilhamento da madeira.<sup>19</sup>**

Através do modelo também é possível identificar o volume máximo de madeira comportado por cada uma destas áreas, este cálculo levou em consideração as dimensões das pilhas, conforme apresentado pela figura 10, e o fator de empilhamento ( $F_E$ )<sup>20</sup> das pilhas que é 0,6. Cada pilha tem em média 4 metros de altura, 6,5 metros de largura, valor que corresponde ao comprimento da tora de madeira, e no máximo 100 metros de comprimento.

<sup>19</sup> Figura 9: Modelo elaborado no Dinamica EGO. Fonte: Autor.

<sup>20</sup> Fator de Empilhamento ( $F_E$ ): converte o volume sólido em volume empilhado, sendo utilizado para tornar compatível as estimativas de produção de madeira. (BATISTA; COUTO, 2012)

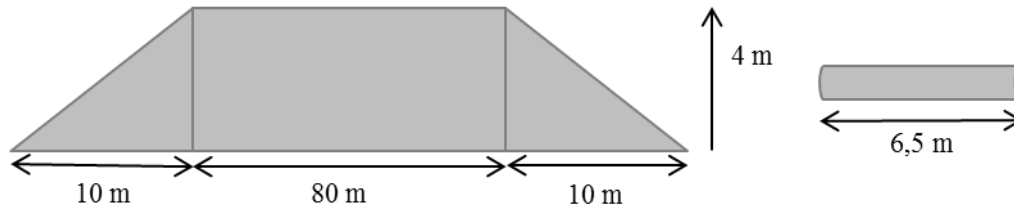


Figura 10: Dimensões das pilhas de madeira<sup>21</sup>

### 5.2.2 Modelo baseado em agentes

O modelo desenvolvido nesta pesquisa é composto por agentes (tratores *forwarders*) distribuídos em uma grade de células que interagem com recursos (toras de madeira) distribuídos de forma homogênea na paisagem (talhão). Agentes e ambiente coexistem através de um conjunto de regras de comportamento conforme apresentado na figura 11.

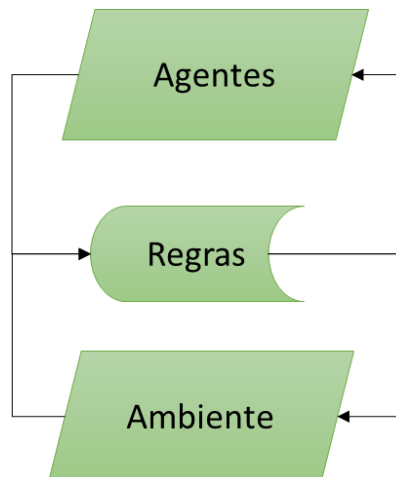


Figura 11: Esquema simplificado de coexistência entre agentes e ambiente.

#### *Visão geral do modelo*

Cada agente possui uma carga a ser preenchida com recursos, ou seja, cada trator deve deslocar-se e recolher as toras de madeira distribuídas no talhão até atingir sua capacidade máxima de carga, ao atingi-la, estes agentes buscam por um depósito de recursos que receberá todos os recursos recolhidos, permitindo assim que os agentes reiniciem novamente sua atividade.

<sup>21</sup> Fontes: Fibria (2016). Elaborado pelo autor.

Estes depósitos são as pilhas de madeira que se encontram posicionadas em locais previamente estabelecidos. A figura 12 apresenta uma visão geral do modelo.

Cabe ressaltar que o deslocamento realizado pelos agentes para recolher um recurso ou para depositá-lo nas áreas apropriadas é efetuado conforme alguns critérios de busca pré-determinados que estabelecem desde o raio de busca de cada agente até o caminho mais adequado a ser utilizado no seu deslocamento.

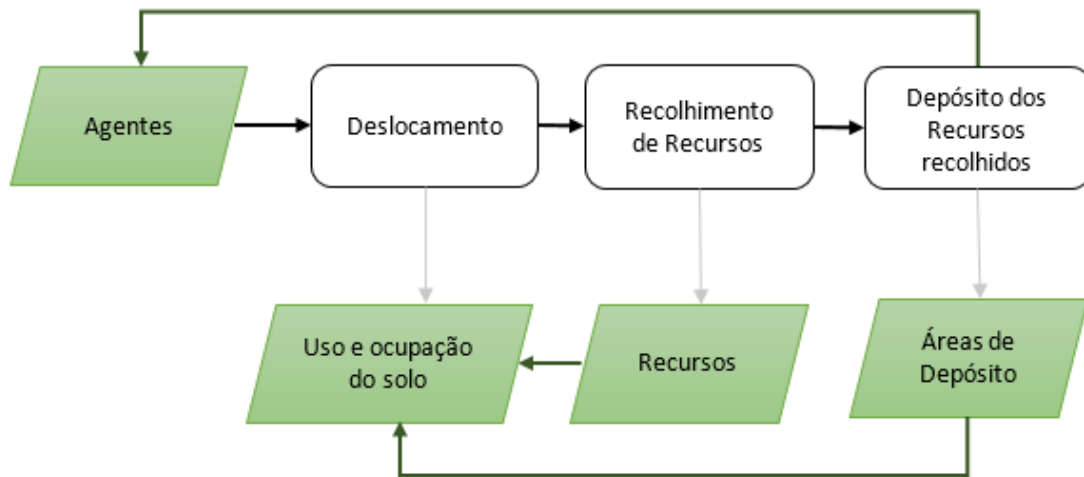








Figura 12: Visão geral do modelo.

### *Agentes*

Os agentes do modelo são os tratores *forwarders*, estes agentes possuem atributos pré-definidos no modelo que estabelecem critérios e restrições para o seu comportamento. Os principais atributos dos agentes são apresentados na figura 13.

		<b>Campo de visão</b> Critério de busca do trator por recursos (madeira)	$> d / < d *$
		<b>Carga máxima</b> Volume máximo de recursos (madeira) comportado por cada trator	<b>25 m<sup>3</sup></b>
		<b>Frota</b> Número de tratores designados para executar a atividade	<b>1 a 8</b>
		<b>Velocidade</b> Velocidade média de deslocamento	<b>5,8 Km/h</b>
		<b>Consumo</b> Consumo médio de cada trator	<b>20 l/h</b>

\*  $d$  = distância dos recursos. A busca por recursos é função da distância do recurso em relação ao agente.

**Figura 13: Atributos dos agentes.**

### ***Recursos***

Os recursos encontram-se distribuídos no ambiente (talhão) e correspondem as toras de madeira cortadas. Cada feixe de toras contém aproximadamente 2 m<sup>3</sup> de madeira<sup>22</sup>.

### ***Depósitos***

As áreas de depósito correspondem as áreas aptas ao empilhamento da madeira, cada área comporta um volume máximo de madeira que deverá ser respeitado por cada agente.

### ***Cenários***

O MBA foi executado sob dois cenários diferentes. Estes cenários são distintos no que se refere ao padrão de deslocamento dos agentes.

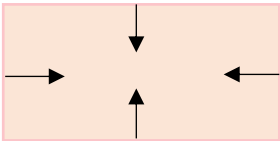
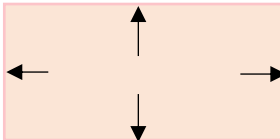
No primeiro cenário os agentes se deslocam buscando sempre o recurso mais próximo da sua posição espacial, ou seja, o agente inicia o seu trabalho de fora para dentro do talhão.

<sup>22</sup> Cada feixe de toras é formado, em média, por 8 árvores de 0,25m<sup>3</sup> cortadas em feixes de 6,5 m.

Este critério de deslocamento tem por objetivo reduzir a distância total percorrida por cada agente.

No segundo cenário os agentes obedecem um novo critério para buscar o primeiro recurso a ser recolhido no início de uma viagem<sup>23</sup>. Este primeiro recurso passa a ser aquele que se encontra mais próximo ao centro do talhão, fazendo com que o sentido da operação passe a ser de dentro para fora do talhão. Este critério de deslocamento visa diminuir o consumo de combustível dos tratores, uma vez que estes vão realizar os maiores deslocamentos com a carga vazia, o que representa um ganho em economia de combustível, tendo em vista que o consumo dos tratores com a carga completa é 15% maior em relação aos de carga vazia. A descrição dos cenários nos quais o modelo foi executado é apresentada na tabela 04.

**Tabela 4: Descrição dos Cenários.**

<b>Cenário 01</b>	
Os agentes se deslocam buscando sempre o recurso mais próximo da sua posição espacial.	
<b>Sentido da operação:</b> De fora para dentro do talhão	
<b>Cenário 02</b>	
O primeiro recurso a ser recolhido é aquele que se encontra mais próximo ao centro do talhão. Os demais recursos seguem o critério de proximidade do agente.	
<b>Sentido da operação:</b> De dentro para fora do talhão	

Cabe ressaltar que os dois cenários foram executados com diferentes números de agentes, que variaram de um único agente a oito agentes trabalhando conjuntamente. A variação do número de agentes teve por objetivo analisar os padrões resultantes da movimentação dos agentes, as distâncias totais percorridas e a variação no consumo de combustível dos tratores. As frotas de tratores florestais *forwarders* comumente utilizada na operação de baldeio da área de estudo são compostas por 4 ou 8 tratores.

<sup>23</sup> A viagem de cada trator (agente) representa um ciclo de trabalho que se inicia com a busca pelos feixes de madeira (recursos) e encerra-se com o depósito dos mesmos nas pilhas de madeira.



A figura 14 exemplifica os critérios deslocamento dos tratores com base na primeira proposta. Nota-se que o caminho utilizado pelo trator obedece ao critério de proximidade, buscando-se sempre o recurso mais próximo. Ao atingir sua carga máxima, o trator também segue o critério de proximidade para encontrar a área de empilhamento mais próxima.

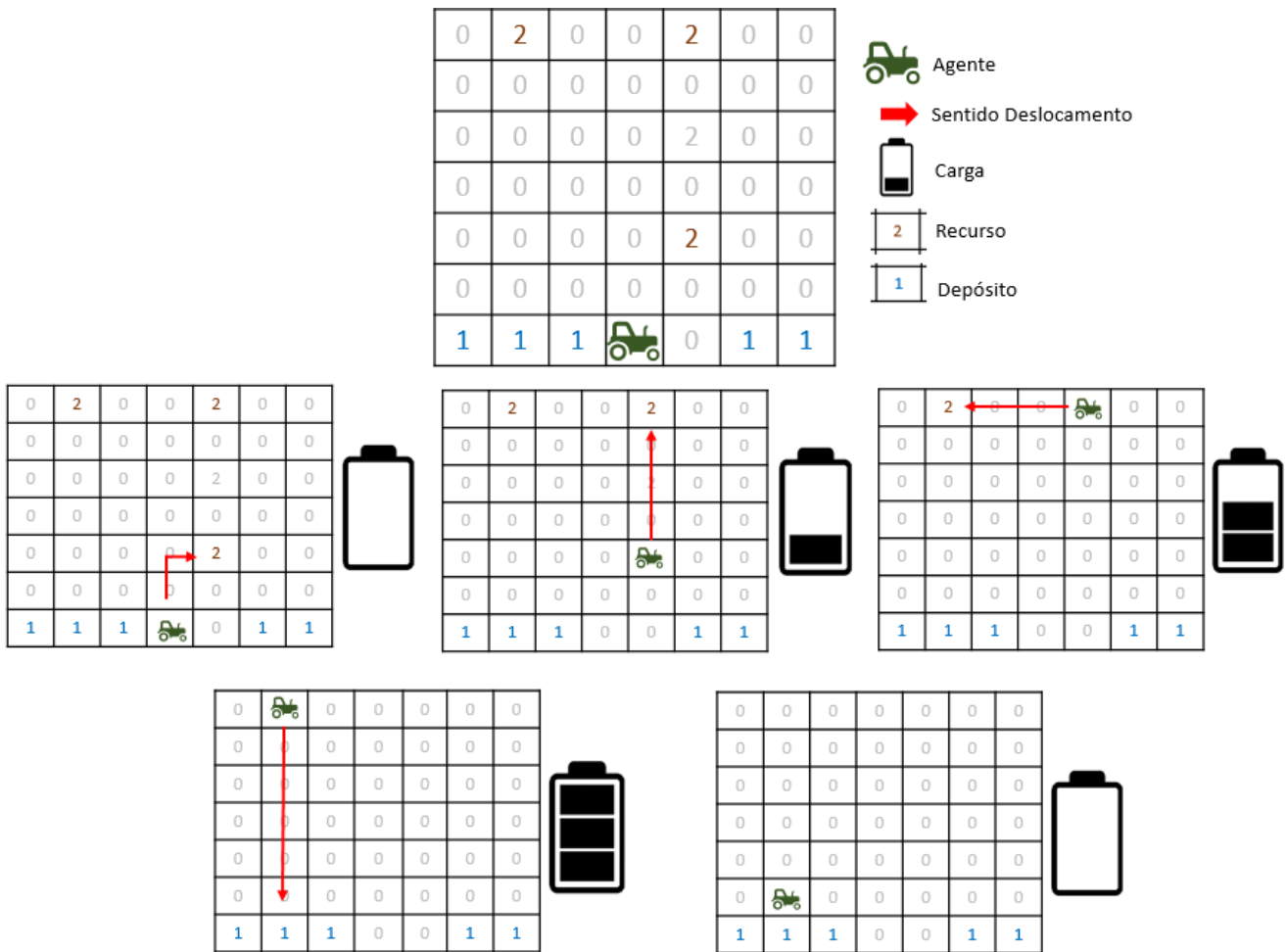


Figura 14: Critérios de deslocamento do trator pela tora mais próxima.

A figura 15 apresenta os critérios de deslocamento dos tratores com base na segunda proposta. Nota-se agora que o primeiro recurso a ser recolhido passa a ser o mais próximo ao centro do talhão, posteriormente o trator passa a adotar o critério de proximidade para os demais recursos.

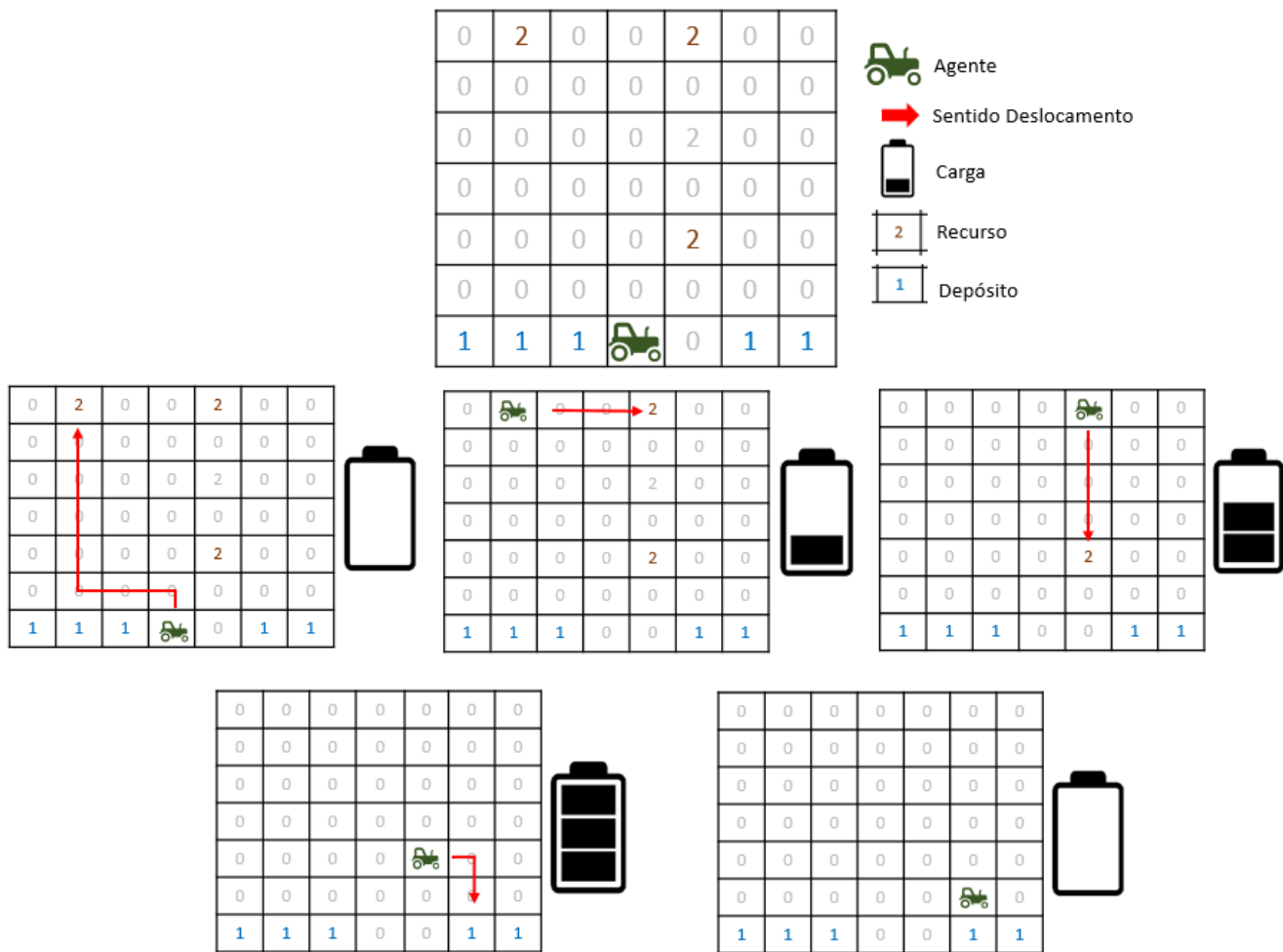


Figura 15: Critérios de deslocamento do trator pela tora mais próxima ao centro do talhão

Visando avaliar também o efeito das iterações no resultado final apresentado pelo MBA, optou-se por executar o modelo 12 vezes em cada configuração de frota de tratores, conforme apresentado na tabela 05.

Tabela 5: Configurações dos Cenários por frota de tratores e número de execuções.

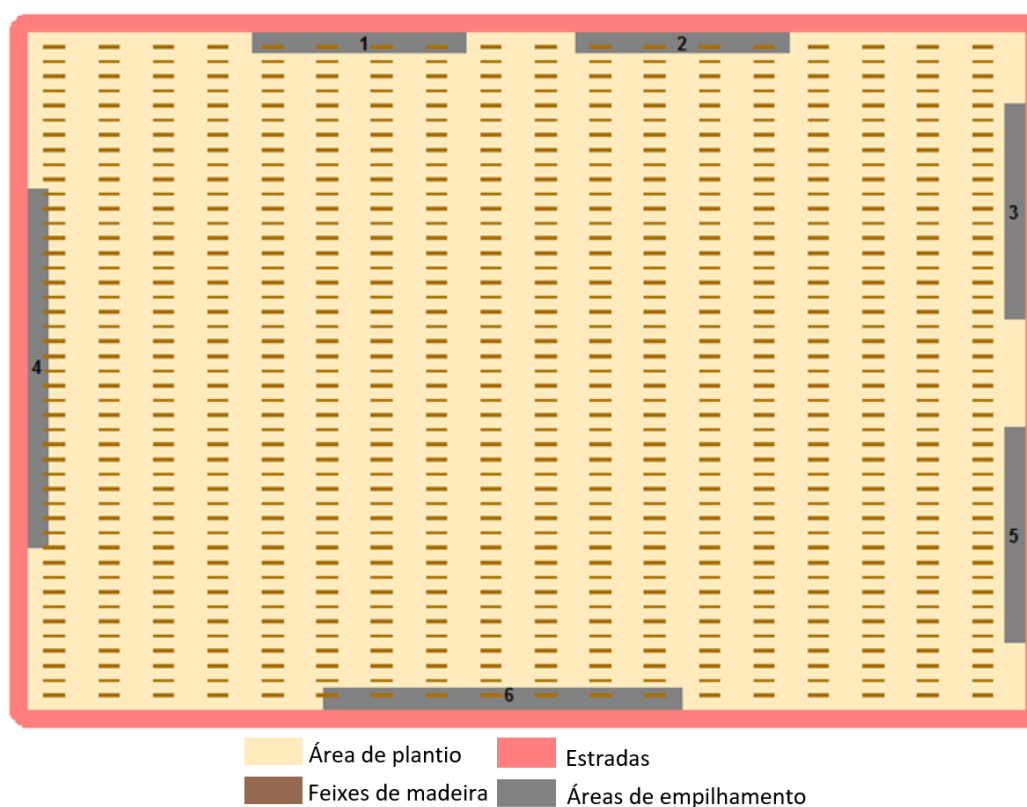
<i>Cenário 01</i>		<i>Cenário 02</i>	
<i>Tratores na frota</i>	<i>Número de execuções do modelo</i>	<i>Tratores na frota</i>	<i>Número de execuções do modelo</i>
1	12	1	12
2	12	2	12
3	12	3	12
4	12	4	12
5	12	5	12
6	12	6	12
7	12	7	12
8	12	8	12

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção dedica-se a apresentar os resultados obtidos neste estudo e a discussão acerca dos mesmos. Inicialmente são apresentadas as áreas adequadas ao empilhamento de madeira identificadas através da análise multicritério. Posteriormente são apresentados os resultados obtidos nas simulações do MBA para os dois cenários propostos.

### 6.1 Áreas aptas ao empilhamento de madeira

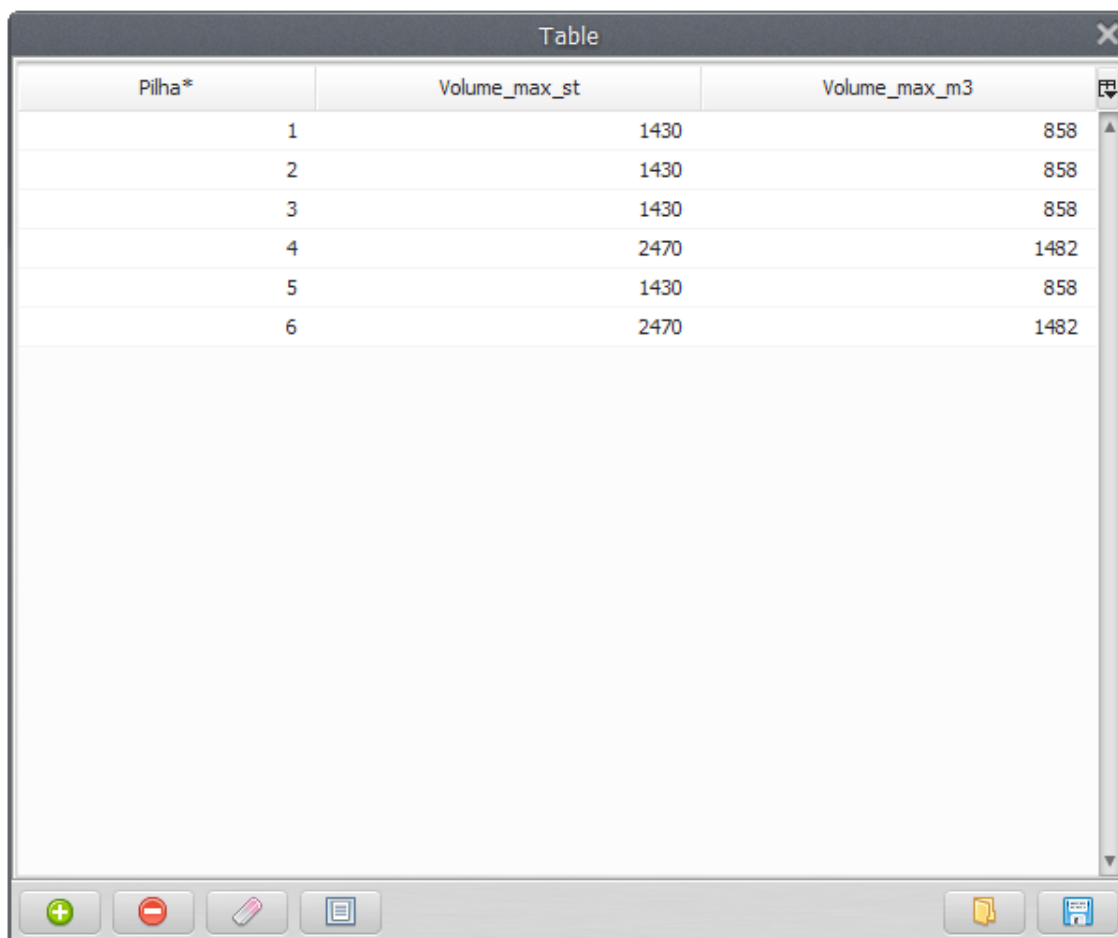
A identificação das áreas aptas ao empilhamento de madeira, com base na avaliação multicritério é apresentada na figura 12. Nota-se que seis áreas foram classificadas como aptas.



**Figura 16: Identificação das áreas aptas ao empilhamento de madeira.**

Conforme apresentado na tabela 06, para cada uma das áreas de empilhamento identificadas, o volume máximo de madeira comportado foi calculado, obedecendo os critérios pré-estabelecidos de dimensão das pilhas.

**Tabela 6: Volume máximo de madeira comportado por cada área de empilhamento.<sup>24</sup>**



Pilha*	Volume_max_st	Volume_max_m3
1	1430	858
2	1430	858
3	1430	858
4	2470	1482
5	1430	858
6	2470	1482

O volume de madeira comportado pelas áreas de empilhamento corresponde a 6.396 m<sup>3</sup>, tendo em vista que o volume de madeira disponível na área de referência é de 1.620 m<sup>3</sup>, seria possível que parte destas áreas fossem eliminadas visando maximizar o volume depositado nas áreas de empilhamento, diminuindo assim o número de pilhas formadas. Entretanto, optou-se por manter todas as áreas identificadas como aptas para garantir que os tratores florestais tivessem mais opções e optassem pelos melhores caminhos e otimizassem primordialmente a distância de deslocamento.

## 6.2 Simulação dos Cenários

Como mencionado anteriormente, para cada cenário oito configurações de frota de tratores foram estudadas, e para cada configuração, o modelo foi executado 12 vezes, permitindo verificar a influência das iterações do modelo no resultado final apresentado.

---

<sup>24</sup> Volume estério (st): 1 estério é igual ao volume de uma pilha de madeira de 1 m<sup>3</sup> e, portanto, compreende a madeira propriamente dita e os espaços vazios entre as toras. (BATISTA; COUTO, 2012)

A tabela 07 apresenta um resumo estatístico das principais variáveis analisadas através do MBA.

**Tabela 7: Resumo estatístico de dados das principais variáveis analisadas pelo MBA**

	Quantidade de Tratores	Viagens realizadas	<i>Distância percorrida (Km)</i>			<i>Tempo gasto (H)</i>			<i>Consumo combustível (L)</i>		
			M	Max	Min	M	Max	Min	M	Max	Min
<b>Cenário 01</b>	1	64	8,34	8,40	8,27	6,32	6,36	6,27	128,00	128,88	126,94
			0,03			0,02			0,49		
	2	32	9,88	10,02	9,78	4,26	4,53	4,07	151,95	154,19	150,38
			0,08			0,17			1,33		
	3	22	12,58	12,81	12,27	3,92	4,20	3,67	193,91	197,36	189,02
			0,15			0,16			2,38		
	4	16	13,51	13,73	13,21	3,51	3,62	3,39	208,53	211,78	204,10
			0,17			0,07			2,57		
5	13	15,60	16,20	15,07	3,54	3,74	3,14	241,17	250,77	232,87	
		0,33			0,17			5,00			
6	11	16,98	17,51	16,67	3,08	3,22	2,80	262,61	270,78	257,95	
		0,27			0,12			4,09			
7	10	18,46	19,36	17,49	3,14	3,68	2,84	285,64	300,14	270,60	
		0,50			0,22			7,37			
8	8	19,10	19,81	18,45	2,88	3,17	2,68	295,89	306,75	285,69	
		0,38			0,18			5,84			
<b>Cenário 02</b>	1	64	9,12	9,18	9,06	6,91	6,96	6,86	139,24	140,16	138,29
			0,08			0,02			0,60		
	2	32	10,80	10,90	10,64	4,42	4,57	4,32	165,08	166,53	162,60
			0,08			0,07			1,19		
	3	22	13,09	13,31	12,88	3,94	4,20	3,68	200,49	204,01	197,24
			0,15			0,13			2,33		
	4	16	14,12	14,34	13,87	3,36	3,73	3,23	216,39	219,65	212,37
			0,17			0,14			2,60		
5	13	16,39	16,87	15,94	3,27	3,47	3,06	251,34	258,67	244,49	
		0,33			0,11			5,00			
6	11	18,08	18,81	17,32	2,94	3,31	2,62	277,49	288,32	266,08	
		0,39			0,18			5,85			
7	10	19,58	20,58	18,74	2,79	3,06	2,63	300,25	315,72	287,60	
		0,49			0,13			7,37			
8	8	20,62	21,13	20,25	2,56	2,70	2,45	316,46	324,36	310,44	
		0,40			0,09			6,14			

**M** – média (Desvio Padrão), **Mi** – valor mínimo, **Mx** – valor máximo.

As três principais variáveis analisadas pelo MBA foram a distância percorrida pelos tratores, o tempo gasto na execução da atividade e consumo total de combustível pelos tratores.

Para analisar a diferença estatística entre os valores médios obtidos para as variáveis analisadas um teste estatístico de comparação de médias foi aplicado aos dados dos dois cenários (Teste-T ao nível de significância de 5%). Posteriormente, os dados também foram submetidos a análises gráficas para identificação de tendências.

Para verificar se a medida que mais tratores eram adicionados ao modelo houve sobrecarga de trabalho para alguns, utilizou-se o Coeficiente de Gini para medir a desigualdade no trabalho realizado por cada trator em termos de distância percorrida.

### 6.2.1 Avaliação da distância percorrida

A distância total percorrida pelos tratores florestais representa a quantificação do deslocamento realizado por todos os tratores durante a atividade de baldeio.

A tabela 08 apresenta um resumo estatístico de dados da variável distância para os dois cenários estudados. Para cada cenário são apresentadas as distâncias totais médias<sup>25</sup> percorridas pelos tratores com frotas que variam de um a oito tratores.

**Tabela 8: Resumo estatístico de dados da variável distância total (km).**

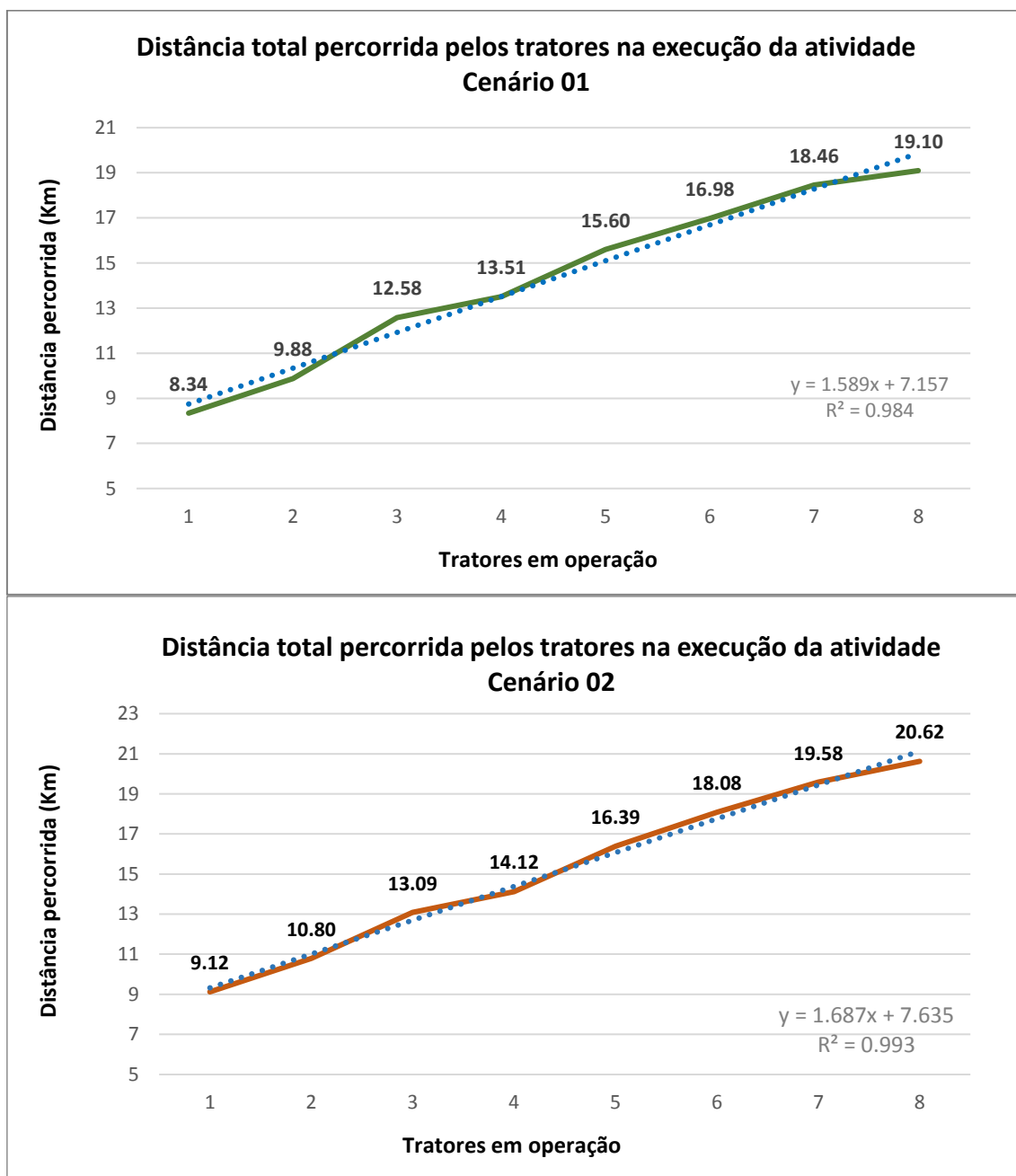
<i>Grupos</i>	<b>Cenário 01</b>		<b>Cenário 02</b>		<b>Teste-t independente</b>		
	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p &lt; 0,05</i>
1	8,34	0,03	9,12	0,08	-53,83	22,00	0,00
2	9,88	0,08	10,80	0,15	-27,39	22,00	0,00
3	12,58	0,15	13,09	0,17	-8,09	22,00	0,00
4	13,51	0,17	14,12	0,33	-8,86	22,00	0,00
5	15,60	0,33	16,39	0,39	-8,09	22,00	0,00
6	16,98	0,27	18,08	0,49	-8,09	22,00	0,00
7	18,46	0,50	19,58	0,40	-5,61	22,00	0,00
8	19,10	0,38	20,62	0,00	-9,68	22,00	0,00

Nota-se que o deslocamento dos tratores durante a atividade florestal é menor no primeiro cenário, para todas as oito configurações de frotas, apresentando as médias dos grupos de mesma frota,<sup>26</sup> diferenças estatísticas entre os dois cenários simulados, conforme teste-t independente ao nível de 5% realizado. Os dados de distância total percorrida também

<sup>25</sup> Médias de 12 simulações realizadas.

<sup>26</sup> O teste-t realizado comparou os pares equivalentes (em número de tratores) de cada Cenário. Sendo assim os dados obtidos com a simulação do cenário 01 com um trator foi comparada com aos dados obtidos com a simulação do cenário 02 com um trator; e assim sucessivamente para todas as oito configurações de frota simuladas.

são apresentados na figura 17. Através dos gráficos nota-se que a variável cresce de forma linear, em ambos os cenários, conforme demonstrado pelas linhas de tendência.



**Figura 17: Gráficos de apresentação dos valores médios de distância total percorrida pelos tratores *forwarders* durante a execução da atividade de baldeio.**

Nota-se ainda uma alta correlação entre as linhas de tendência e os dados, demonstrando um bom ajuste da linha para os dados, no primeiro cenário o valor de  $R^2 = 0,984$  e no segundo cenário o valor de  $R^2 = 0,993$ .

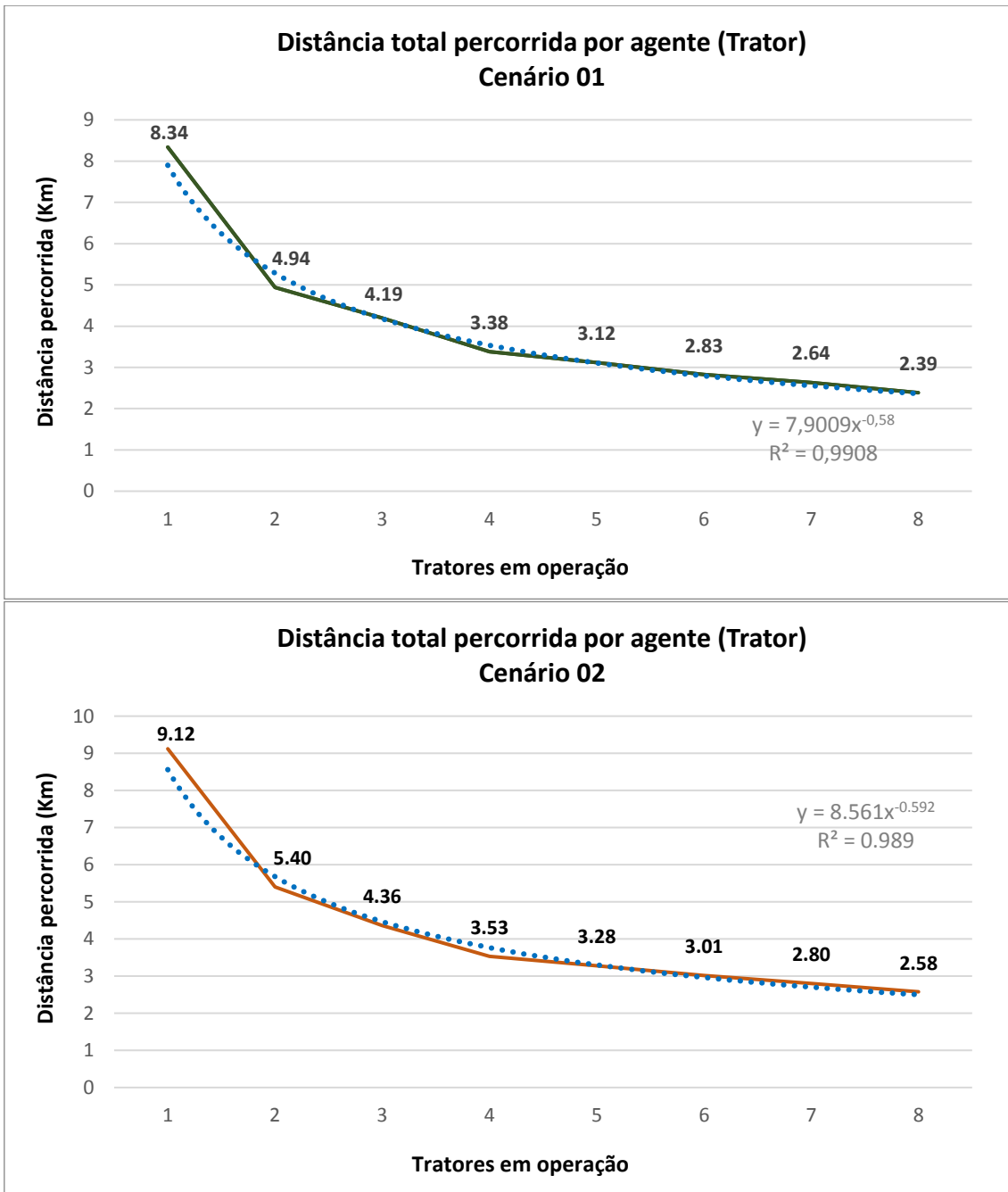
O comportamento linear dos dados, nos permite inferir que a cada acréscimo de tratores na frota, há um incremento médio de 1,5 km no primeiro cenário e 1,6 km no segundo cenário na distância percorrida pelos tratores durante a atividade.

### ***Distância total média percorrida por cada trator***

Tendo em vista que os valores apresentados na figura 17 representam o total de distância percorrida na atividade, ou seja, referem-se a soma das distâncias percorridas por cada trator florestal, cabe apresentar também, os valores individuais de cada trator florestal. Estas informações são apresentadas na figura 18.

Por meio dos gráficos nota-se que os valores de distância decrescem à medida que mais agentes são adicionados ao modelo, em ambos os cenários. A relação dos dados de distância individual não é linear, como no caso da distância total. A linha de tendência de maior correlação com os dados neste caso é a de potência, sendo representada pela equação  $y = 7,901x^{-0,58}$  no cenário 01 e pela equação  $y = 7,9009x^{-0,58}$  no cenário 02. Nos dois cenários a linha de tendência apresenta um ajuste quase perfeito para os dados, apresentando o valor de  $R^2 = 0,99$  para os dois cenários.



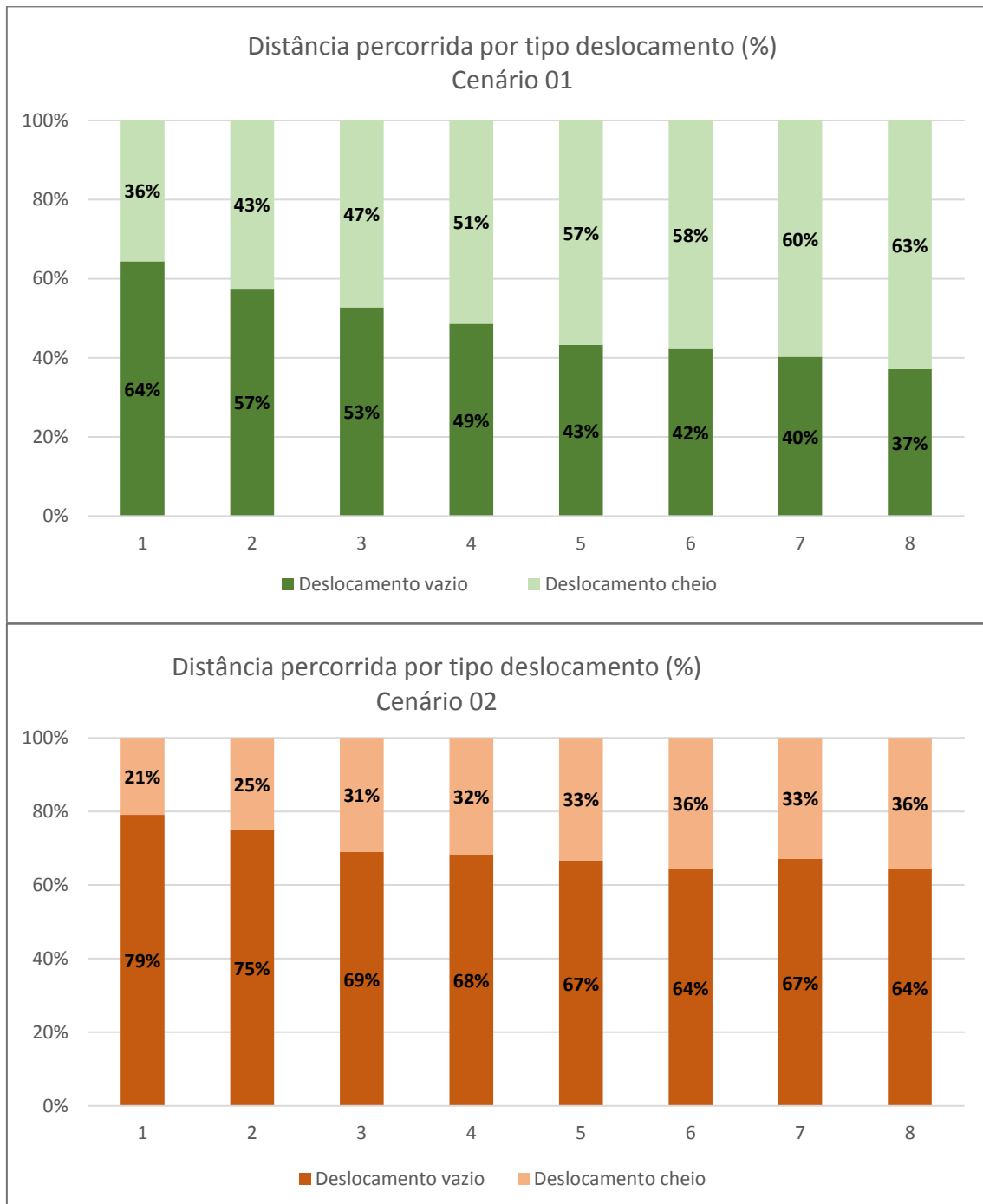


**Figura 18:** Gráficos de apresentação dos valores médios de distância total percorrida por cada trator *forwarders* durante a execução da atividade de baldeio.

***Tipificação dos deslocamentos nos cenários estudados***

Como mencionado anteriormente, os cenários são distintos no que se refere ao padrão de deslocamento dos agentes, apresentando o primeiro cenário o critério de deslocamento em função do recurso mais próximo da sua posição espacial e o segundo cenário o critério de deslocamento em função do recurso mais próximo ao centro do talhão.

Essa diferença de critérios objetiva inicialmente analisar a diferença de custos dos cenários, uma vez que existe uma diferença no consumo de combustível quando o trator está vazio e quando o trator está com sua carga completa. Entretanto, essa diferença de critérios influenciou não só o custo, mas também outras variáveis analisadas. Por isso a figura 19 apresenta em valores percentuais a distância percorrida pelos tratores em cada tipo de deslocamento realizado.



**Figura 19: Gráfico de apresentação dos valores percentuais de distância percorrida pelos tratores em cada tipo de deslocamento.**

Nota-se que o percentual para o deslocamento na condição cheio é maior para as simulações do primeiro cenário, e que esta cresce à medida que novos tratores são adicionados à simulação. Já o percentual para o deslocamento na condição vazio é maior no segundo cenário, entretanto não nota-se crescimento ou diminuição significativa quando mais tratores são adicionados ao modelo, em média, pode-se afirmar que 69% do deslocamento dos tratores no segundo cenário é realizado na condição vazio.

### 6.2.2 Avaliação do tempo gasto pelos tratores para execução da atividade

O tempo médio gasto pelos tratores florestais para executar a atividade de baldeio nos dois cenários simulados corresponde ao tempo gasto para concluir a atividade conjuntamente, não sendo assim, a soma do tempo gasto por cada trator individualmente, como no caso da variável distância. A tabela 09 apresenta um resumo estatístico de dados da variável tempo para os dois cenários estudados.

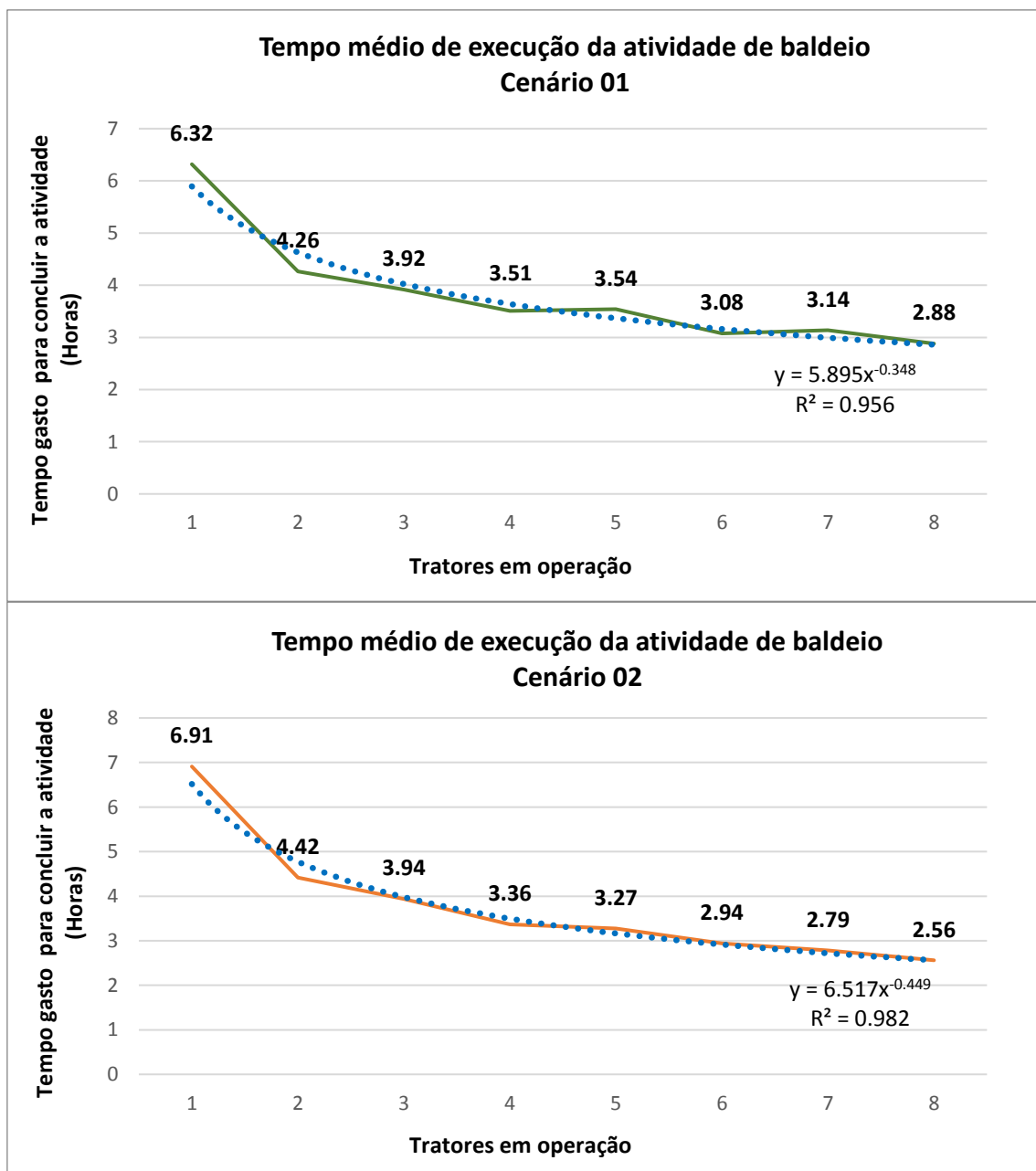
**Tabela 9: Resumo estatístico de dados da variável tempo (H).**

<i>Grupos</i>	<b>Cenário 01</b>		<b>Cenário 02</b>		<b>Teste-t independente</b>		
	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p &lt; 0,05</i>
1	6,32	0,02	6,91	0,02	-53,83	22,00	0,00
2	4,26	0,17	4,42	0,07	-2,94	15,24	0,01
3	3,92	0,16	3,94	0,13	-0,40	22,00	0,70
4	3,51	0,07	3,36	0,14	3,17	22,00	0,00
5	3,54	0,17	3,27	0,11	2,19	22,00	0,04
6	3,08	0,12	2,94	0,18	2,19	22,00	0,04
7	3,14	0,22	2,79	0,13	4,77	22,00	0,00
8	2,88	0,18	2,56	0,09	5,41	16,17	0,00

A análise de dados da variável tempo demonstrou que para frotas de menor quantidade de tratores (1 a 3) o primeiro cenário apresenta um desempenho melhor, completando a atividade em menor tempo. Entretanto a comparação de médias entre grupos de mesma frota apontou diferenças estatísticas somente entre os grupos de 1 e 2 tratores, para a frota de 3 tratores as médias são estatisticamente iguais ( $t(22) = -0,40$ ,  $p > 0,05$ ). Já as frotas de 4 a 8 tratores, apresentam gasto de tempo menor no segundo cenário.

Apesar de estar fortemente correlacionada com a variável distância ( $R^2 = 0,8$ ), o tempo é influenciado pelos dois tipos de deslocamentos realizados pelos tratores: o deslocamento vazio, no qual o trator está sem carga, e o deslocamento cheio, no qual o trator está com

sua carga completa ou parcialmente completa. Como a regra de deslocamento dos cenários são distintas, é importante compreender que o percentual de deslocamento cheio e vazio influenciam diretamente no tempo médio de execução da atividade. Isso acontece porque o tempo gasto para desloca-se na condição vazio é 15% maior do que o tempo gasto para desloca-se cheio. Sendo assim, apesar de percorrer uma distância maior, os tratores no segundo cenário conseguem executar a atividade de maneira mais rápida. O tempo médio gasto pelos tratores florestais para executar a atividade de baldeio nos dois cenários é apresentado na figura 20.



**Figura 20: Gráficos de apresentação dos valores de tempo médio de execução da atividade de baldeio.**

Nota-se que o tempo médio de execução da atividade diminui de forma potencial à medida que mais tratores são adicionados ao modelo. Pôde-se observar que o tempo médio de execução da atividade com o maior número de agentes em relação a atividade com menor número chega a ser, em média 62 % menor para ambos os cenários.

A correlação entre a linha de tendência e os dados é alta, sendo  $R^2 = 0,96$  para o Cenário 01 e  $R^2 = 0,98$ .

### 6.2.3 Avaliação do consumo total de combustível

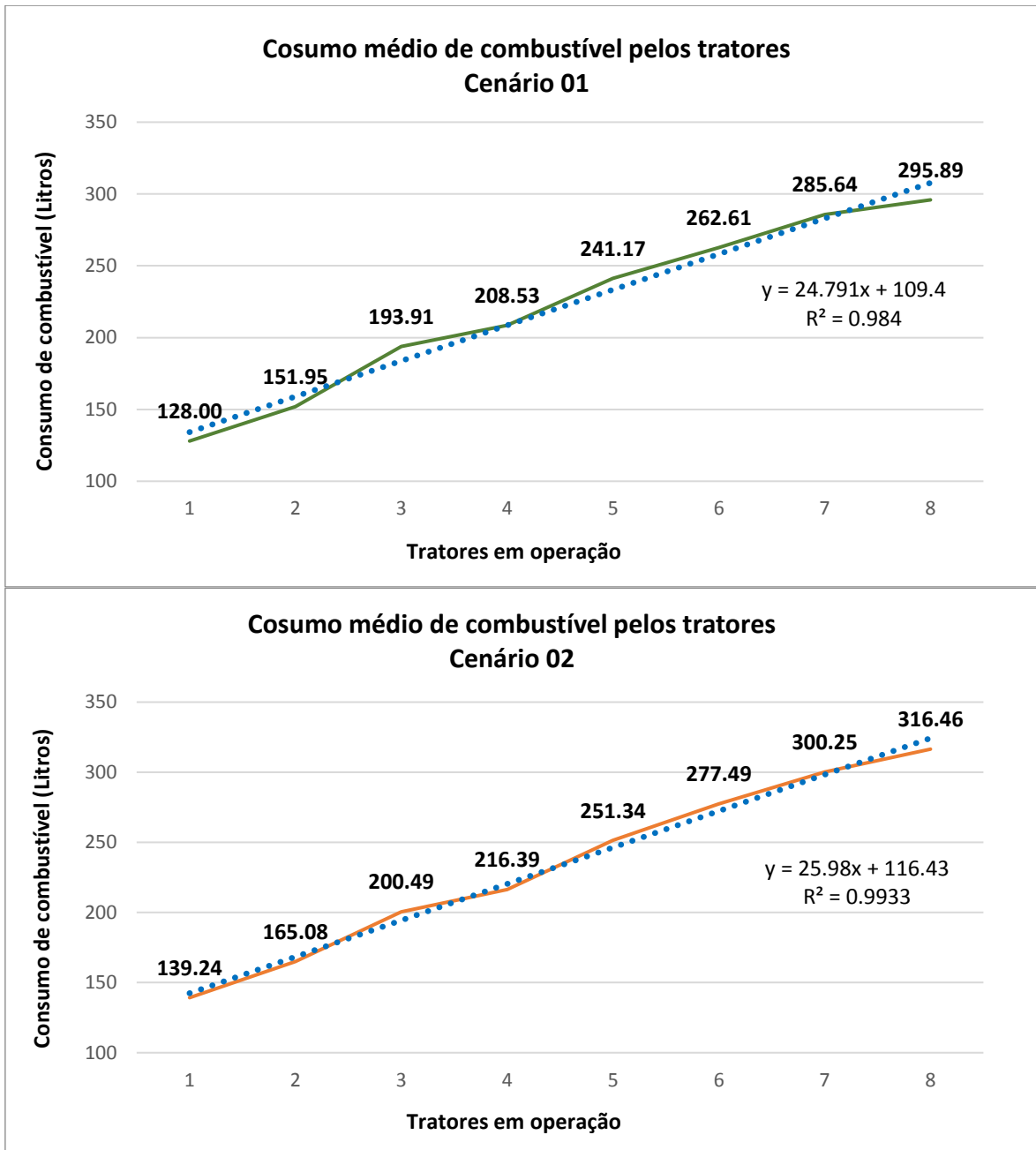
O consumo total de combustível pelos tratores florestais durante a atividade de baldeio foi calculado em função da distância total percorrida e do tempo médio de permanência dos tratores em cada etapa da atividade (deslocamento vazio, carregamento, deslocamento cheio e descarregamento).

A tabela 10 apresenta os dados de consumo de combustível para a atividade de baldeio nos dois cenários. Nota-se que as médias dos grupos de mesma frota do cenário 01 apresentam um consumo de combustível menor que as do cenário 02, nota-se ainda diferenças estatísticas entre os dois cenários simulados.

**Tabela 10: Resumo estatístico de dados da variável consumo de combustível (L).**

<i>Grupos</i>	<b>Cenário 01</b>		<b>Cenário 02</b>		<b>Teste-t independente</b>		
	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p &lt; 0,05</i>
1	128,00	0,49	139,24	0,60	-50,36	22,00	0,00
2	151,95	1,33	165,08	1,19	-25,46	22,00	0,00
3	193,91	2,38	200,49	2,33	-6,84	22,00	0,00
4	208,53	2,57	216,39	2,60	-7,46	22,00	0,00
5	241,17	5,00	251,34	5,00	-7,22	22,00	0,00
6	262,61	4,09	277,49	5,85	-7,22	22,00	0,00
7	285,64	7,37	300,25	7,37	-4,69	22,00	0,00
8	295,89	5,84	316,46	6,14	-8,41	22,00	0,00

O comportamento da variável consumo de combustível é muito similar ao da variável distância, crescendo de forma linear em ambos os cenários, fato que evidencia a alta correlação entre as variáveis ( $R^2=0,99$ ). A figura 21 apresenta o consumo total médio de combustível nas simulações realizadas.



**Figura 21:** Gráfico de apresentação dos valores de consumo total médio de combustível dos tratores para execução da atividade.

É possível observar que as linhas de tendência apontam o crescimento linear da variável à medida que mais agentes são adicionados ao modelo. A cada acréscimo de tratores na frota, houve um incremento médio de 24 L no consumo de combustível pelos tratores no primeiro cenário e 25 L no segundo.

### Consumo total de combustível por cada trator

Assim como para a variável distância percorrida, os dados apresentados no item anterior representam os valores totais de consumo de combustível na atividade e referem-se a soma dos consumos de cada trator florestal. A figura 22 apresenta os valores de consumo individual de cada trator.

Através dos gráficos de apresentação dos valores médios de consumo de combustível de cada trator nota-se que os valores decrescem à medida que mais agentes são adicionados ao modelo, em ambos os cenários.

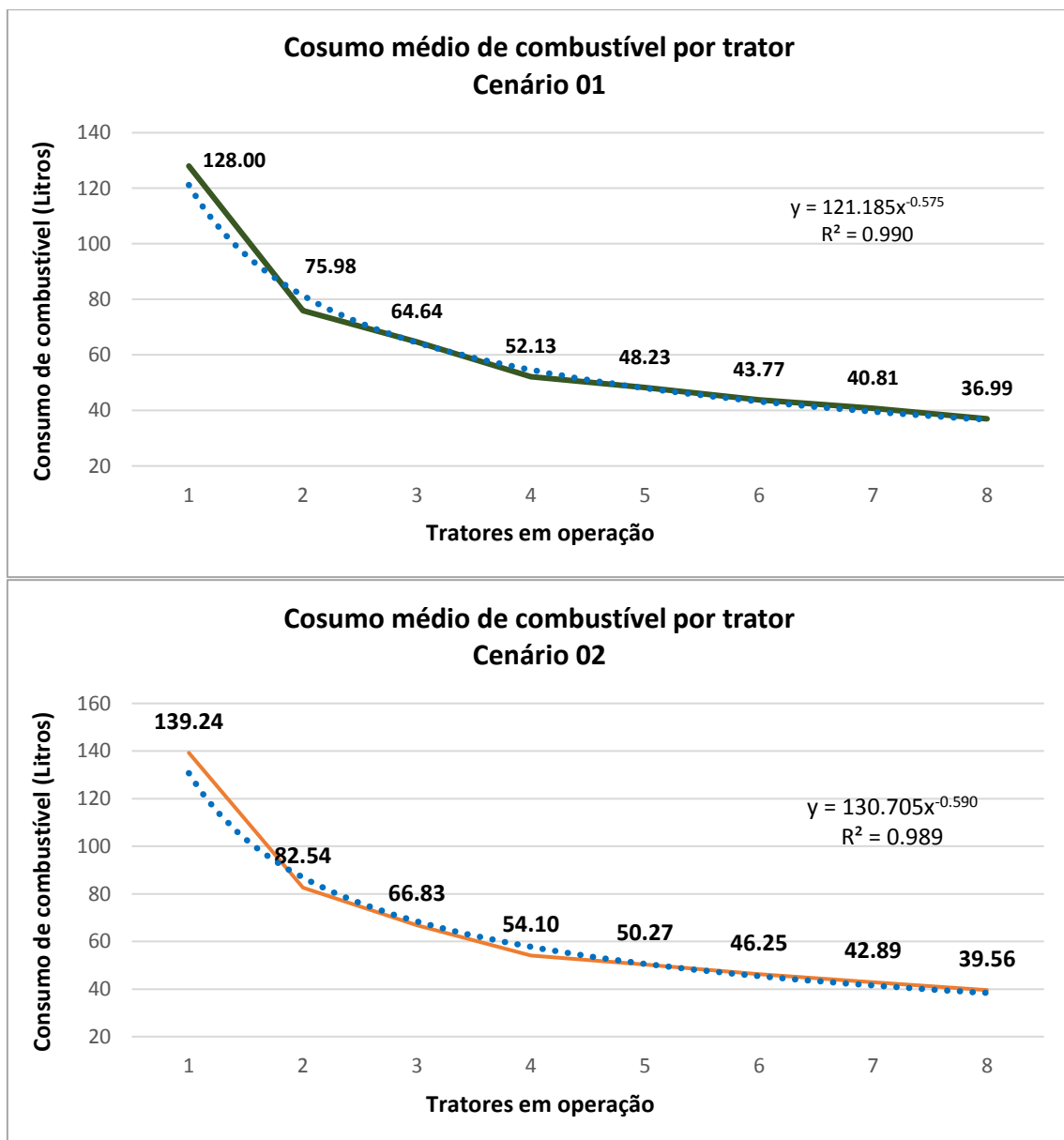


Figura 22: Gráficos de apresentação dos valores médios de consumo de combustível para cada trator *forwarders* durante a execução da atividade de baldeio.

Nota-se que relação dos dados de consumo individual não é linear. A linha de tendência de maior correlação com os dados neste caso é a de potência, e esta apresenta um ajuste quase perfeito para os dados, apresentando o valor de  $R^2 = 0,99$  para os dois cenários.

#### 6.2.4 Coeficiente de Gini

Para avaliar o desempenho de cada trator dentro do modelo utilizou-se o coeficiente de Gini. Este representa uma medida de desigualdade, comumente utilizada para calcular a desigualdade de distribuição de renda, mas que também pode ser utilizada para avaliar inúmeros casos de distribuição.

O coeficiente de Gini foi desenvolvido pelo estatístico italiano Corrado Gini e publicado em 1912. Ele varia de 0 a 1, sendo que o valor 0 corresponde à igualdade completa e o valor 1 corresponde à desigualdade completa.<sup>27</sup>

Neste sentido o índice de Gini foi utilizado para medir a desigualdade no trabalho realizado por cada trator em termos de distância percorrida. A figura 24 apresenta os valores do índice de Gini para cada simulação realizada com as frotas de tratores.

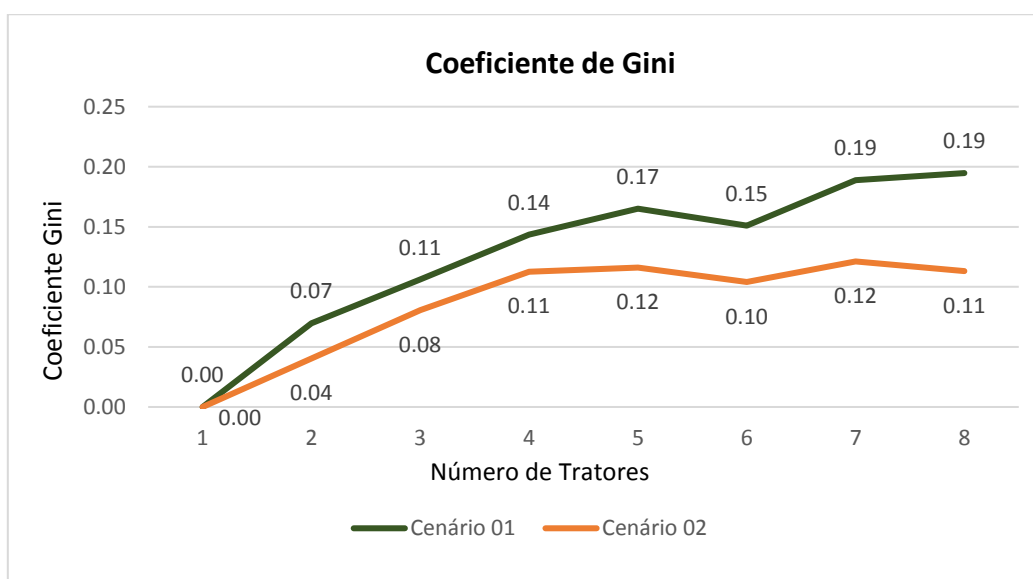


Figura 23: Coeficiente de Gini

<sup>27</sup> O coeficiente de Gini pode ser calculado através da fórmula de Brown:  $G = 1 - \sum_{k=0}^{K=n-1} (X_{k+1} - X_k)(Y_{k+1} - Y_k)$  onde: G = coeficiente de Gini; X = proporção acumulada da variável "população"; Y = proporção acumulada da variável "renda".



O coeficiente de Gini indica que a desigualdade entre os tratores é pequena e sofre um ligeiro aumento a medida que mais tratores são adicionados ao modelo. Pode-se assim, concluir, que não há sobrecarga de trabalho em nenhum dos tratores.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

O MBA desenvolvido nessa pesquisa permitiu compreender melhor as relações e as tendências de comportamento de importantes variáveis envolvidas na operação de baldeio florestal, gerando assim, informações que podem auxiliar o planejamento eficiente da atividade florestal estudada. De acordo com os resultados obtidos nesse trabalho foi possível concluir que:

- A distância total percorrida pelos tratores florestais *forwarders* foi, em média, 7% menor no cenário 01 em relação ao cenário 02. A distância total percorrida pelos tratores apresentou comportamento linear, em ambos os cenários. Quando a distância percorrida por cada trator, nota-se que os valores decrescem à medida que mais agentes são adicionados ao modelo, em ambos os cenários, apresentando a variável um comportamento potencial.
- O tempo gasto para execução da atividade foi menor no primeiro cenário para as configurações de frota 1, 2 e 3; para as demais o tempo foi menor no segundo cenário. Pôde-se observar que o tempo médio de execução da atividade com o maior número de tratores em relação a atividade de menor número chega a ser, em média 62 % menor para ambos os cenários.
- Os dados de consumo de combustível indicaram um consumo menor dos tratores do primeiro cenário. Verificou-se também que a cada acréscimo de tratores na frota, houve um incremento médio de 24L no consumo de combustível dos tratores no primeiro cenário e 25L no segundo.
- O coeficiente de Gini indicou que a desigualdade no trabalho realizado por cada trator, em termos de distância percorrida, é pequena e sofre um ligeiro aumento a medida que mais tratores são adicionados ao modelo. Entretanto, não houve sobrecarga de trabalho em nenhum dos tratores.

De maneira geral, pode-se afirmar que os resultados demonstram o potencial da ferramenta para a compressão dos padrões resultantes das interações entre os agentes. Sendo possível analisar e compreender o comportamento das variáveis de interesse dentro do modelo.

Cabe ressaltar, que o presente trabalho representa um estudo pioneiro e inicial de aplicação da metodologia de modelagem baseada em agentes no estudo de operações florestais. Entretanto, alguns trabalhos, como o de Malinovski et.al (2008), já evidenciaram os ganhos potenciais na adoção de técnicas matemáticas e análises espaciais na melhoria da atividade de baldeio florestal. Por isso, sugere-se que mais simulações sejam realizadas, utilizando áreas de estudo reais, em sua totalidade, sem reduções espaciais.

Recomenda-se a realização de estudos práticos, fazendo com que os tratores florestais utilizem os caminhos pré-estabelecidos pelos modelos, afim de comparar os dados reais obtidos em campo aos dados gerados pelo MBA. Trabalhos como o de Seixas et al. (2003) mostram que é possível monitorar através da instalação de aparelhos GPS nos tratores *forwarders* a atividade dos mesmos em campo, indicando que os mesmos utilizem mapas digitais e GPS para movimentar-se dentro do talhão.

Sugere-se ainda melhorias no modelo, como a adição de novas regras de restrição para evitar a proximidade excessiva entre os tratores, a suavização dos caminhos indicados para o deslocamento e a adição de mais variáveis, principalmente aquelas relacionadas ao desempenho das máquinas (custo de depreciação, desgastes de pneus, custo de manutenção e transporte de maquinário) e a condução dos tratores florestais pelos operadores (habilidade/experiência), possibilitando uma análise mais real, eficaz e aprofundada da operação de baldeio.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ALVARES, C.A., STAPE J.L. SENTELHAS, P.C. GONÇALVES, J.L.M. SPAROVEK. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 711–728. Gebru"der Borntraeger 2013.

Aguilar, J. A. R., Pinyol, F., Noria, X. e Sanchez, M. L. (2001) "State-of-the-art of software tools for agent-based simulations", Research Report D30.1.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na Agricultura**. Brasília, EMBRAPA-CPAC. 1998.

ASSUMPCÃO, J. F. P. **Gerenciamento de empreendimentos da construção civil: modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios**. São Paulo, 1996. 207 f. Doutorado (Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BANHARA, J. R.; RODRIGUEZ, L. C. E.; SEIXAS, F.; MOREIRA, J. M. A. P.; SILVA, L. M. S.; NOBRE, S. R.; COGSWELL, A. Agendamento otimizado da colheita de madeira de eucaliptos sob restrições operacionais, espaciais e climáticas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 85-95, mar. 2010.

BANKES, S.C. Agent-based modeling: A revolution. *PNAS*. Vol.99, p.7199-7200. Maio, 2002. Disponível em <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.072081299>.

BARROS, J. P. S.; BALDAN, R. L.; COELHO JUNIOR, T. P.; LEAL, E. A. S.; SOUZA, M. A. V. F. **Simulação Baseada em Agentes**. Anais XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial. Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011.

BATEMAN, T. S.; SNELL, S. A. **Administração: construindo vantagem competitiva**. São Paulo: Atlas, 1998. 539 p.

BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de Harvesters na colheita florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 62-74, 2002.

Berry, Brian J. L., Kiel, L. Douglas, e Elliott, Euel. (2002) “Adaptive agents, intelligence, and emergent human organization: Capturing complexity through agent-based modeling”.

BERTIN, V. A. S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizados de eucalipto em 1ª rotação.** Botucatu, SP: UNESP, 2010. 148 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, 2010.

BEZERRA, F. **Planejamento Estratégico, Tático e Operacional.** 2014. Disponível em: <http://www.portal-administracao.com/2014/07/planejamento-estrategico-tatico-operacional.html>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2016.

BONABEAU, E. “**Agent-Based Modelling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems**”, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA (PNAS), 2002 99(3): 7280-7287.

BURLA, E.R. **Avaliação técnica e econômica do “Harvester” na colheita do eucalipto.** 2008. 62f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2008.

CAMPOS, A.R.; DAVIS, J. L.; COSTA, W.L.S., SOARES-FILHO, B. S.; Spatially explicit agent based model of rabbit population. Disponível em: [http://csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=agent\\_based\\_model:start](http://csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=agent_based_model:start). Acesso em 26 de outubro de 2016.

CANTO, J. L.; **Diagnóstico da colheita e transporte florestal em propriedades rurais fomentadas no estado do Espírito Santo.** 2006. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

CHUNG, W.; SESSIONS, J. **A computerized method for determining cable logging feasibility using a DEM.** In 2003 Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: “Forest Operations Among Competing Forest Uses”. Bar Harbr, September 7-10, 2003.

COELHO, HELDER. Modelação computacional baseada em agentes: enfrentar a complexidade. Revista de Ciências da Computação. Ano 2, vol. 2, nº 2 (2007), p. 1-13

FIBRIA. Dados Institucionais 2016. Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, Brasil.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Logging and log transport in man-made forests in developing countries.** Roma, 1974. 134 p.

GOMIDE, L. R. **Planejamento florestal espacial.** 2009. 235 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

GREULICH, F. G.; HANLEY, D.P.; MCNEEL, J.F.; BAUMGARTNER, D. **A primer for timber harvesting.** Washington State University, Washington, 1996. 33 p.

GUIMARÃES, H. S.; **A logística como fator decisivo das operações de colheita de madeira e transporte florestal.** In: **Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal**, 13., 2004, Curitiba. Anais...Curitiba: UFPR/FUPEF, 2004. p. 127 – 146.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores.** Brasília 2015.

KANGAS, A.; KANGAS, J.; KURTTILA, M. **Decision support for forest management.** [S. l.]: Springer Verlag, 2008. 45 p.

KELLOGG, L.D.; BETTINGER, P. Thinning productivity and cost for mechanized cut-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. **Journal of Forest Engineering** v.5(2): p. 43 -52, 1994.

KOKEMULLER, N.; MEDIA, D. **Definition of Tactical Planning in Business.** 2015. Disponível em: <http://smallbusiness.chron.com/definition-tactical-planning-business-14401.html>. Acesso em: 2 de janeiro de 2016.

LIMA, J. S. S.; LEITE, Â. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal.** 2ª Ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. p.43-65.

LIMA, T.F.G; FATIA, S.D; SOARES-FILHO, B. S; CARNEIRO, T.G.S. **Modelagem de sistemas baseada em agentes: alguns conceitos e ferramentas.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5279-5286.

LEITE, E. S. **Desenvolvimento de planos de colheita florestal de precisão utilizando tecnologias de geoprocessamento**. 2010. 120f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo "*forwarder*". **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 879-887, set./out. 2014. ISSN 0100-6762.

LEITE, E. S.; **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 2012. 109 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa. 2012.

Macal, C. M. e North, M. J. (2006) "Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation Part 2: How to model with agents", in Perrone, L. F., Wieland, F. P. Lawson, B. G., Nicol, D. M. and Fujimoto R. M., J. A. (eds.), Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 2ª edição. Viçosa: UFV, 2008. p.185-230.

MACHADO, C. C.; O setor florestal brasileiro In: MACHADO, C.C (Ed). **Colheita florestal**. Vicosa, MG: UFV, Imprensa Univesitária, 2002, 468 p.

MAGALHÃES, P. A. D.; KATZ, I. **Estudo da viabilidade econômica da mecanização do processo de colheita florestal com harvester em uma indústria madeireira**. *Tékhne Lógos*, v. 2, n. 1, out. 2010.

MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A. **Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na Região Sul do Brasil**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, 1998. 138.

MALINOVSKI, J. R. PERDONCINI, W. C. **Estradas Florestais**. Publicação Técnica do Colégio de Irati – GTZ, Irati, PR. 1990. 100 p.

MALINOVSKI, R. A.; FENNER, P. T.; SCHACK-KIRCHNER, H.; MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A. **Otimização da distância de extração de madeira com *forwarder***. *Scientia Forestalis*, v. 36, n. 79, p. 171-179, set. 2008.

Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu. 2007.

MINETTI, L. J. **Análise de fatores operacionais ergonômicos da operação de corte florestal com motosserra**. Viçosa/MG, 1996. 211 f.. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa.

NURMINEN, T.; KORPUNEN, H.; UUSITALO, J. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. **Silva Fennica** v.40 (2)- p 335 – 363, 2006.

NUSSBAUM, R.; SIMULA, M. The forest certification handbook. **USA: Stylus Pub LLC**, 2005.

OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com "clambunk skidder". **Revista *Árvore***, v. 30, n. 2, p. 267-275, abr. 2006. ISSN 0100-6762.

PACCOLA, J. E. **Desafios da manutenção mecânica frente às inovações tecnológicas**. In: Simpósio Brasileiro Sobre Colheita e Transporte Florestal, 6., 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFV; SIF, 2003. p. 267-279.

REBOUÇAS, D. P. O. **Planejamento estratégico – conceitos, metodologia e práticas**. 18. Ed. São Paulo: Atlas, 2002. 62 p.

RIBEIRO, R. S.; SOUZA J. L. de. **O desenvolvimento de técnicas de exploração em áreas acidentadas**. In: Seminário de atualização sobre sistemas de Exploração e transporte florestal, 7., 1992, Curitiba. Anais... Curitiba: FUPEF, 1992. p. 01-12.

ROBERT, R. C. G. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de *Eucalyptus spp.* em duas condições de relevo acidentado**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba. 2013.



SAMUELSON, D.A. Agents of Change: How agent-based modeling may transform social science. *OR/MS Today*. Vol 32. No 1. 2005. Disponível em: <http://www.orms-today.org/orms-2-05/fragments.html> . Acesso em dez s/2015.

SANT'ANNA, M. **Tendências atuais e perspectivas futuras dos sistemas de extração florestal**. In: Seminário de Atualização sobre Sistemas de Exploração e Transporte Florestal 7., 1992, Curitiba. Anais... Curitiba: FUPEF, 1992. p. 137-160.

SANT'ANNA, C. de M. Corte Florestal In: MACHADO, C.C (Org). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2002, 468 p.

SANTOS, L. S. dos. Mecanização florestal no Brasil. **Revista Madeira**, Curitiba, n. 51. p. 43-44, ago., 2000.

SBS. 2009 - Fatos e Números do Brasil Florestal. Disponível em <http://www.sbs.org.br>. Acesso em 29 de janeiro de 2016.

SEIXAS, F. Extração. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 2ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. p.97- 145.

SEIXAS, F; KOURY, C.G.G.; RODRIGUES, A.F. Determinação da área impactada pelo tráfego de forwarder com o uso do GPS. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.178-187, 2003.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. Brasil com Florestas - **Oportunidades para o desenvolvimento de uma economia florestal e a reestruturação necessária do setor**. Brasília, 2012.

SILVA, F. **Aplicação de redes neurais artificiais para estimar a produtividade do Forwarder na extração de madeira**. 2014. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa. 2014.

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita Florestal mecanizada de eucalipto**. 2008. 105F. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho – UNESP, São Paulo. 2008.

SMITH, M.J.; GOODCHILD, M.F.; LONGLEY, P.A. Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. Leicester, England: Troubador Publishing Ltd., 2007.

SOARES FILHO, B. S. **Modelagem dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica.** 1998. 299 f. Tese (Doutorado Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SOARES-FILHO, B.S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W.L. Modelagem de Dinâmica Ambiental com Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto/UFMG. Belo Horizonte: MG, 2009. Acessado em: 12/01/2016. Disponível em: <http://csr.ufmg.br/dinamica/>.

STAFF, K.A.G.; WIKSTEN, N.A. **Tree harvesting techniques.** Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1984. 371p.

STÖHR, G. W. D.; BAGGIO, A. J. **Estudo comparativo de dois métodos de arraste principal do desbaste de Pinus taeda L.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, PR, n. 2, p. 89-131,1981.

TERENCE, A. C. F. **Planejamento estratégico como ferramenta de competitividade na pequena empresa:** desenvolvimento e avaliação de um roteiro prático para o processo de elaboração do planejamento. 2002.101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP, São Carlos. 2002.

TUFTS, R.A. **Productivity and cost of the Ponsse 15 series, cut-to-length harvesting system in southern pine plantations.** Forest Products Journal v.47(10): p. 39 – 46, 1993.

WALDRON, M. W.; VSANTHAKUMAR, J.; ARULRAJ, S. Improving the organization and management of extension. In: SWANSON, B. E.;BENTZ, R. P., et al (Ed.). Improving agricultural extension. **A reference manual.** Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997. cap. 13, ISBN 92-5-104007-9.

ZHANG, T.; ZHANG, D. Agent-based simulation of consumer purchase decision-making and the decoy effect. Journal of Business Research. Vol.60, p.912-922, 2007.

## 9 APÊNDICE

### 9.1 Testes de Normalidade

Testes de Normalidade (distância)

Cenários	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	a	df	Sig.	a	df	Sig.	
Distancia	T1-C01	,193	12	,200 <sup>*</sup>	,945	12	,560
	T1-C02	,207	12	,165	,892	12	,124
	T2-C01	,160	12	,200 <sup>*</sup>	,905	12	,184
	T2-C02	,213	12	,139	,914	12	,239
	T3-C01	,154	12	,200 <sup>*</sup>	,944	12	,554
	T3-C02	,172	12	,200 <sup>*</sup>	,910	12	,215
	T4-C01	,226	12	,092	,921	12	,292
	T4-C02	,220	12	,113	,890	12	,119
	T5-C01	,203	12	,183	,928	12	,362
	T5-C02	,119	12	,200 <sup>*</sup>	,937	12	,464
	T6-C01	,225	12	,096	,895	12	,139
	T6-C02	,182	12	,200 <sup>*</sup>	,940	12	,502
	T7-C01	,189	12	,200 <sup>*</sup>	,932	12	,402
	T7-C02	,148	12	,200 <sup>*</sup>	,971	12	,919
	T8-C01	,222	12	,107	,952	12	,660
	T8-C02	,270	12	,016	,767	12	,004

Testes de Normalidade (tempo)

Cenários	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estatistic a	df	Sig.	Estatistic a	df	Sig.	
Tempo	T1-C01	,193	12	,200 <sup>*</sup>	,945	12	,562
	T1-C02	,207	12	,163	,892	12	,124
	T2-C01	,165	12	,200 <sup>*</sup>	,886	12	,106
	T2-C02	,144	12	,200 <sup>*</sup>	,931	12	,392
	T3-C01	,183	12	,200 <sup>*</sup>	,937	12	,464
	T3-C02	,165	12	,200 <sup>*</sup>	,946	12	,584
	T4-C01	,089	12	,200 <sup>*</sup>	,967	12	,879
	T4-C02	,207	12	,166	,820	12	,016
	T5-C01	,213	12	,140	,897	12	,144
	T5-C02	,268	12	,017	,907	12	,198
	T6-C01	,169	12	,200 <sup>*</sup>	,911	12	,218
	T6-C02	,185	12	,200 <sup>*</sup>	,964	12	,841
	T7-C01	,233	12	,071	,874	12	,074
	T7-C02	,183	12	,200 <sup>*</sup>	,919	12	,276
	T8-C01	,289	12	,006	,822	12	,017
	T8-C02	,209	12	,155	,885	12	,101

Testes de Normalidade (Consumo de combustível)

Cenários	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estatistic a	df	Sig.	Estatistic a	df	Sig.	
Combustível	T1-C01	,188	12	,200 <sup>*</sup>	,944	12	,553
	T1-C02	,210	12	,152	,886	12	,103
	T2-C01	,141	12	,200 <sup>*</sup>	,916	12	,255
	T2-C02	,210	12	,151	,913	12	,231
	T3-C01	,160	12	,200 <sup>*</sup>	,942	12	,525
	T3-C02	,163	12	,200 <sup>*</sup>	,920	12	,286
	T4-C01	,237	12	,061	,914	12	,237
	T4-C02	,200	12	,200 <sup>*</sup>	,894	12	,131
	T5-C01	,197	12	,200 <sup>*</sup>	,932	12	,398
	T5-C02	,116	12	,200 <sup>*</sup>	,940	12	,496
	T6-C01	,231	12	,077	,886	12	,105
	T6-C02	,191	12	,200 <sup>*</sup>	,941	12	,509
	T7-C01	,183	12	,200 <sup>*</sup>	,935	12	,434
	T7-C02	,144	12	,200 <sup>*</sup>	,966	12	,869
	T8-C01	,200	12	,200 <sup>*</sup>	,958	12	,749
	T8-C02	,253	12	,033	,780	12	,006

\*. Este é um limite inferior da significância verdadeira.

a. Correlação de Significância de Lilliefors

## 9.2 Teste-T Independente

Comparação de Médias - Um trator										
Estatísticas de grupo										
Cenários		N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média					
Distancia	T1-C01	12	8,3410	0,0320	0,0093					
	T1-C02	12	9,1211	0,0386	0,0112					
Tempo	T1-C01	12	6,3189	0,0243	0,0070					
	T1-C02	12	6,9099	0,0293	0,0085					
Combustível	T1-C01	12	127,9968	0,4918	0,1420					
	T1-C02	12	139,2389	0,5968	0,1723					

Teste de amostras independentes										
		Teste de Levene para igualdade de variâncias		teste-t para Igualdade de Médias						
		Z	Sig.	t	df	Sig. (2 extremidades)	Diferença média	Erro padrão de diferença	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
									Inferior	Superior
Distancia	Variâncias iguais assumidas	1,2105	0,2831	-53,8329	22,0000	0,0000	-0,7801	0,0145	-0,8101	-0,7500
	Variâncias iguais não assumidas			-53,8329	21,2739	0,0000	-0,7801	0,0145	-0,8102	-0,7500
Tempo	Variâncias iguais assumidas	1,2114	0,2829	-53,8310	22,0000	0,0000	-0,5910	0,0110	-0,6137	-0,5682
	Variâncias iguais não assumidas			-53,8310	21,2721	0,0000	-0,5910	0,0110	-0,6138	-0,5682
Combustível	Variâncias iguais assumidas	1,3318	0,2609	-50,3596	22,0000	0,0000	-11,2421	0,2232	-11,7051	-10,7791
	Variâncias iguais não assumidas			-50,3596	21,2256	0,0000	-11,2421	0,2232	-11,7060	-10,7781

Comparação de Médias - Dois Tratores										
Estatísticas de grupo										
Cenários		N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média					
Distancia	T2-C01	12	9,8775	0,0838	0,0242					
	T2-C02	12	10,7978	0,0808	0,0233					
Tempo	T2-C01	12	4,2639	0,1669	0,0482					
	T2-C02	12	4,4194	0,0748	0,0216					
Combustível	T2-C01	12	151,9500	1,3295	0,3838					
	T2-C02	12	165,0822	1,1941	0,3447					

Teste de amostras independentes										
		Teste de Levene para igualdade de variâncias		teste-t para Igualdade de Médias						
		Z	Sig.	t	df	Sig. (2 extremidades)	Diferença média	Erro padrão de diferença	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
									Inferior	Superior
Distancia	Variâncias iguais assumidas	0,0380	0,8473	-27,3862	22,0000	0,0000	-0,9202	0,0336	-0,9899	-0,8506
	Variâncias iguais não assumidas			-27,3862	21,9699	0,0000	-0,9202	0,0336	-0,9899	-0,8506
Tempo	Variâncias iguais assumidas	9,6755	0,0051	-2,9449	22,0000	0,0075	-0,1555	0,0528	-0,2649	-0,0460
	Variâncias iguais não assumidas			-2,9449	15,2444	0,0099	-0,1555	0,0528	-0,2678	-0,0431
Combustível	Variâncias iguais assumidas	0,2150	0,6474	-25,4560	22,0000	0,0000	-13,1322	0,5159	-14,2021	-12,0623
	Variâncias iguais não assumidas			-25,4560	21,7509	0,0000	-13,1322	0,5159	-14,2028	-12,0616

Comparação de Médias - Três Tratores										
Estatísticas de grupo										
Cenários		N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média					
Distancia	T3-C01	12	12,5840	0,1528	0,0441					
	T3-C02	12	13,0858	0,1510	0,0436					
Tempo	T3-C01	12	3,9156	0,1558	0,0450					
	T3-C02	12	3,9391	0,1340	0,0387					
Combustível	T3-C01	12	193,9111	2,3758	0,6858					
	T3-C02	12	200,4866	2,3307	0,6728					

Teste de amostras independentes										
		Teste de Levene para igualdade de variâncias		teste-t para Igualdade de Médias						
		Z	Sig.	t	df	Sig. (2 extremidades)	Diferença média	Erro padrão de diferença	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
									Inferior	Superior
Distancia	Variâncias iguais assumidas	0,0000	0,9953	-8,0907	22,0000	0,0000	-0,5018	0,0620	-0,6304	-0,3732
	Variâncias iguais não assumidas			-8,0907	21,9970	0,0000	-0,5018	0,0620	-0,6304	-0,3732
Tempo	Variâncias iguais assumidas	0,1244	0,7277	-0,3969	22,0000	0,6953	-0,0235	0,0593	-0,1466	0,0995
	Variâncias iguais não assumidas			-0,3969	21,5169	0,6954	-0,0235	0,0593	-0,1467	0,0996
Combustível	Variâncias iguais assumidas	0,0052	0,9431	-6,8439	22,0000	0,0000	-6,5754	0,9608	-8,5680	-4,5829
	Variâncias iguais não assumidas			-6,8439	21,9919	0,0000	-6,5754	0,9608	-8,5680	-4,5829

Comparação de Médias - Quatro Tratores										
Estatísticas de grupo										
Cenários		N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média					
Distancia	T4-C01	12	13,5130	0,1684	0,0486					
	T4-C02	12	14,1212	0,1679	0,0485					
Tempo	T4-C01	12	3,5055	0,0736	0,0212					
	T4-C02	12	3,3646	0,1350	0,0390					
Combustível	T4-C01	12	208,5268	2,5707	0,7421					
	T4-C02	12	216,3946	2,5975	0,7498					

Teste de amostras independentes										
		Teste de Levene para igualdade de variâncias		teste-t para Igualdade de Médias						
		Z	Sig.	t	df	Sig. (2 extremidades)	Diferença média	Erro padrão de diferença	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
									Inferior	Superior
Distancia	Variâncias iguais assumidas	0,2974	0,5910	-8,8606	22,0000	0,0000	-0,6082	0,0686	-0,7506	-0,4659
	Variâncias iguais não assumidas			-8,8606	21,9998	0,0000	-0,6082	0,0686	-0,7506	-0,4659
Tempo	Variâncias iguais assumidas	1,2181	0,2817	3,1749	22,0000	0,0044	0,1409	0,0444	0,0489	0,2330
	Variâncias iguais não assumidas			3,1749	17,0055	0,0055	0,1409	0,0444	0,0473	0,2346
Combustível	Variâncias iguais assumidas	0,1883	0,6686	-7,4577	22,0000	0,0000	-7,8678	1,0550	-10,0557	-5,6799
	Variâncias iguais não assumidas			-7,4577	21,9976	0,0000	-7,8678	1,0550	-10,0557	-5,6799

Comparação de Médias - Cinco Tratores										
Estatísticas de grupo										
Cenários		N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média					
Distancia	T5-C01	12	15,5989	0,3278	0,0946					
	T5-C02	12	16,3916	0,3272	0,0944					
Tempo	T5-C01	12	3,5432	0,1703	0,0492					
	T5-C02	12	3,2724	0,1076	0,0311					
Combustível	T5-C01	12	241,1741	5,2050	1,5025					
	T5-C02	12	251,3360	4,9977	1,4427					

Teste de amostras independentes										
		Teste de Levene para igualdade de variâncias		teste-t para Igualdade de Médias						
		Z	Sig.	t	df	Sig. (2 extremidades)	Diferença média	Erro padrão de diferença	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
									Inferior	Superior
Distancia	Variâncias iguais assumidas	0,5756	0,4561	-8,0854	22,0000	0,0000	-1,1021	0,1363	-1,3848	-0,8194
	Variâncias iguais não assumidas			-8,0854	19,4343	0,0000	-1,1021	0,1363	-1,3869	-0,8172
Tempo	Variâncias iguais assumidas	1,0045	0,3271	2,1883	22,0000	0,0396	0,1346	0,0615	0,0070	0,2622
	Variâncias iguais não assumidas			2,1883	18,8248	0,0415	0,1346	0,0615	0,0058	0,2635
Combustível	Variâncias iguais assumidas	0,4727	0,4989	-7,2158	22,0000	0,0000	-14,8734	2,0612	-19,1481	-10,5987
	Variâncias iguais não assumidas			-7,2158	19,6856	0,0000	-14,8734	2,0612	-19,1774	-10,5694

Comparação de Médias - Seis Tratores										
Estatísticas de grupo										
Cenários		N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média					
Distancia	T6-C01	12	16,9795	0,2664	0,0769					
	T6-C02	12	18,0815	0,3898	0,1125					
Tempo	T6-C01	12	3,0759	0,1157	0,0334					
	T6-C02	12	2,9412	0,1790	0,0517					
Combustível	T6-C01	12	262,6121	4,0928	1,1815					
	T6-C02	12	277,4855	5,8508	1,6890					

Teste de amostras independentes										
		Teste de Levene para igualdade de variâncias		teste-t para Igualdade de Médias						
		Z	Sig.	t	df	Sig. (2 extremidades)	Diferença média	Erro padrão de diferença	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
									Inferior	Superior
Distancia	Variâncias iguais assumidas	0,5756	0,4561	-8,0854	22,0000	0,0000	-1,1021	0,1363	-1,3848	-0,8194
	Variâncias iguais não assumidas			-8,0854	19,4343	0,0000	-1,1021	0,1363	-1,3869	-0,8172
Tempo	Variâncias iguais assumidas	1,0045	0,3271	2,1883	22,0000	0,0396	0,1346	0,0615	0,0070	0,2622
	Variâncias iguais não assumidas			2,1883	18,8248	0,0415	0,1346	0,0615	0,0058	0,2635
Combustível	Variâncias iguais assumidas	0,4727	0,4989	-7,2158	22,0000	0,0000	-14,8734	2,0612	-19,1481	-10,5987
	Variâncias iguais não assumidas			-7,2158	19,6856	0,0000	-14,8734	2,0612	-19,1774	-10,5694

Comparação de Médias - Sete Tratores										
Estatísticas de grupo										
Cenários		N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média					
Distancia	T7-C01	12	18,4555	0,5014	0,1447					
	T7-C02	12	19,5845	0,4852	0,1401					
Tempo	T7-C01	12	3,1359	0,2173	0,0627					
	T7-C02	12	2,7850	0,1327	0,0383					
Combustível	T7-C01	12	285,6441	7,8669	2,2710					
	T7-C02	12	300,2503	7,3726	2,1283					

Teste de amostras independentes										
		Teste de Levene para igualdade de variâncias		teste-t para Igualdade de Médias						
		Z	Sig.	t	df	Sig. (2 extremidades)	Diferença média	Erro padrão de diferença	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
									Inferior	Superior
Distancia	Variâncias iguais assumidas	0,0077	0,9309	-5,6052	22,0000	0,0000	-1,1290	0,2014	-1,5467	-0,7113
	Variâncias iguais não assumidas			-5,6052	21,9762	0,0000	-1,1290	0,2014	-1,5467	-0,7113
Tempo	Variâncias iguais assumidas	0,8054	0,3792	4,7729	22,0000	0,0001	0,3509	0,0735	0,1984	0,5033
	Variâncias iguais não assumidas			4,7729	18,2030	0,0001	0,3509	0,0735	0,1966	0,5052
Combustível	Variâncias iguais assumidas	0,0002	0,9878	-4,6929	22,0000	0,0001	-14,6062	3,1124	-21,0608	-8,1515
	Variâncias iguais não assumidas			-4,6929	21,9080	0,0001	-14,6062	3,1124	-21,0624	-8,1499

Comparação de Médias - Oito Tratores										
Estatísticas de grupo										
Cenários		N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média					
Distancia	T8-C01	12	19,0963	0,3752	0,1083					
	T8-C02	12	20,6220	0,3963	0,1144					
Tempo	T8-C01	12	2,8811	0,1834	0,0529					
	T8-C02	12	2,5611	0,0916	0,0265					
Combustível	T8-C01	12	295,8880	5,8377	1,6852					
	T8-C02	12	316,4622	6,1398	1,7724					

Teste de amostras independentes										
		Teste de Levene para igualdade de variâncias		teste-t para Igualdade de Médias						
		Z	Sig.	t	df	Sig. (2 extremidades)	Diferença média	Erro padrão de diferença	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
									Inferior	Superior
Distancia	Variâncias iguais assumidas	1,4164	0,2467	-9,6845	22,0000	0,0000	-1,5257	0,1575	-1,8524	-1,1989
	Variâncias iguais não assumidas			-9,6845	21,9345	0,0000	-1,5257	0,1575	-1,8524	-1,1989
Tempo	Variâncias iguais assumidas	8,7060	0,0074	5,4085	22,0000	0,0000	0,3201	0,0592	0,1973	0,4428
	Variâncias iguais não assumidas			5,4085	16,1700	0,0001	0,3201	0,0592	0,1947	0,4454
Combustível	Variâncias iguais assumidas	1,3261	0,2619	-8,4125	22,0000	0,0000	-20,5742	2,4457	-25,6462	-15,5022
	Variâncias iguais não assumidas			-8,4125	21,9442	0,0000	-20,5742	2,4457	-25,6469	-15,5015







### 9.3 Simulações

A seguir são apresentadas as simulações realizadas nos dois cenários.

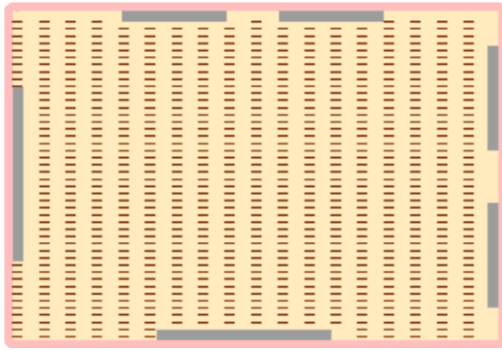
Como não é possível apresentar todas as iterações geradas pelo MBA, algumas foram selecionadas, de forma sequencial, a fim de demonstrar a simulação da atividade de baldeio.

Logo:

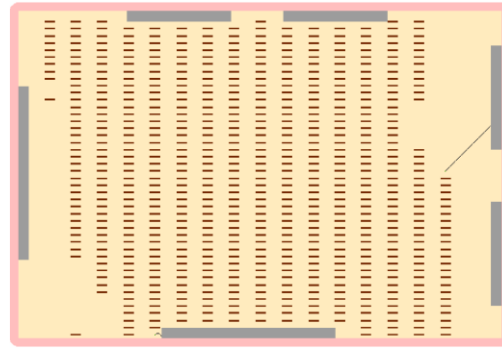
$i$  = iterações

-  Talhão
-  Estradas
-  Deslocamentos
-  Áreas de empilhamento
-  Toras de madeira
-  Tratores florestais

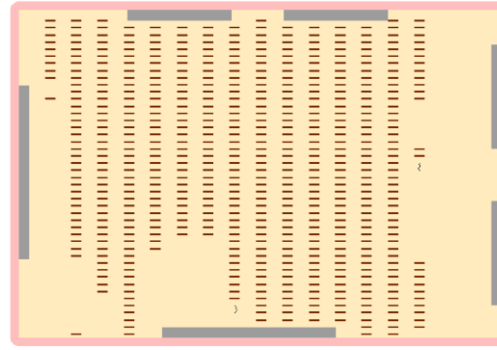




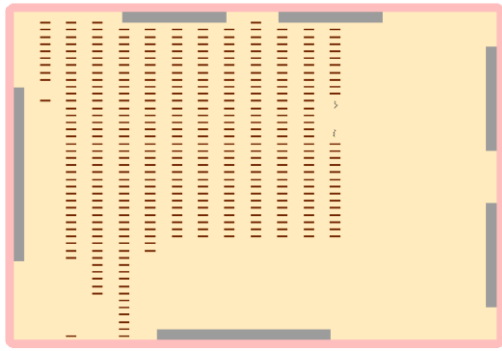
*i: 0*



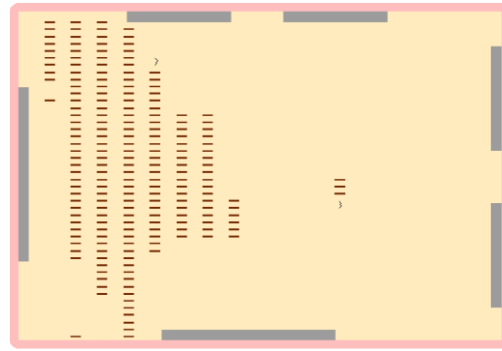
*i: 79*



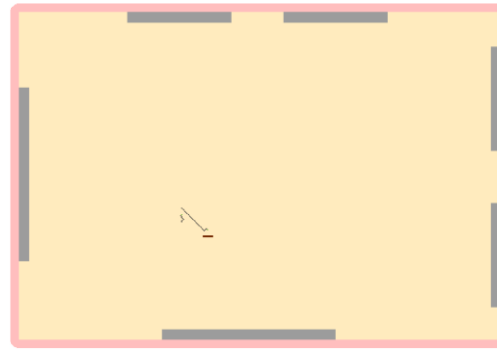
*i: 120*



*i: 215*



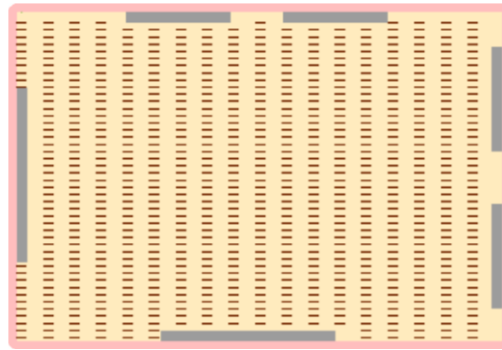
*i: 305*



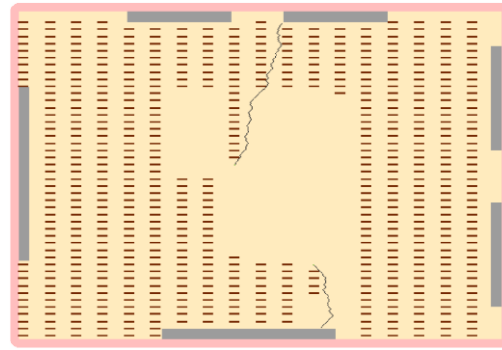
*i: 412*

Cenário 01  
Dois tratores  
em operação

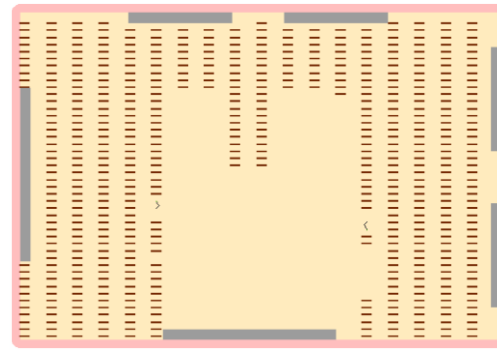
Total de  
iterrações: 414



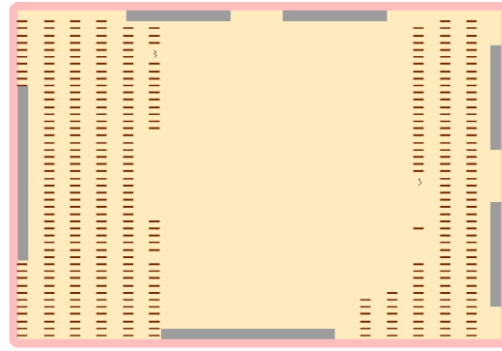
*i: 0*



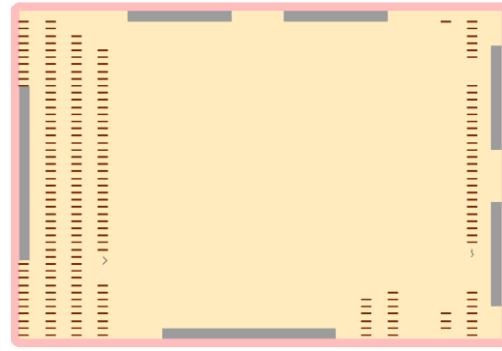
*i: 79*



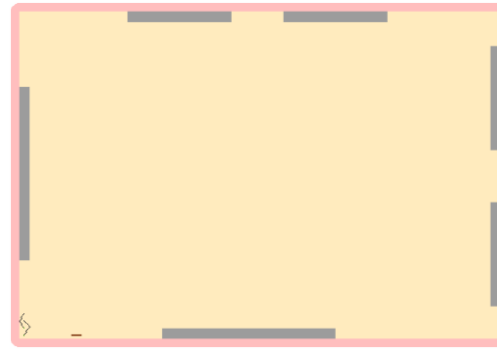
*i: 120*



*i: 215*

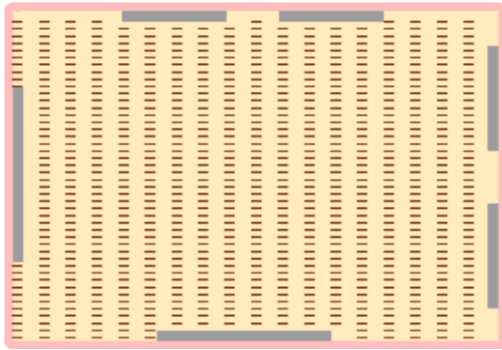


*i: 780*

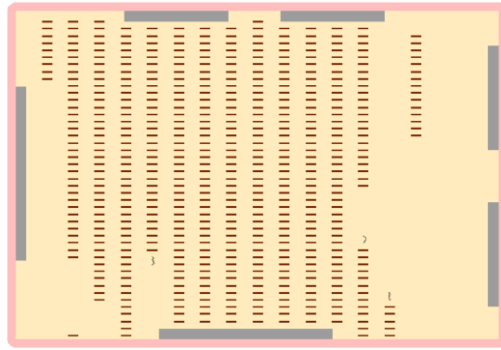


*i: 412*

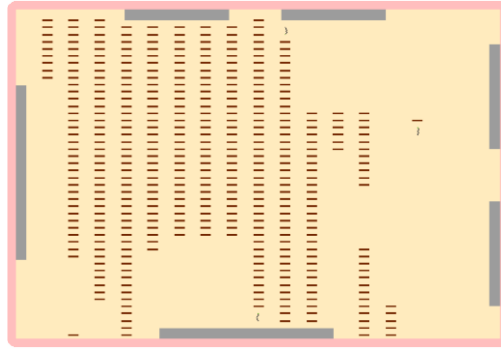
Cenário 02  
Dois tratores  
em operação



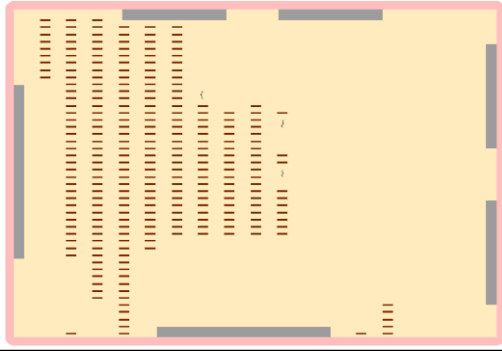
*i: 0*



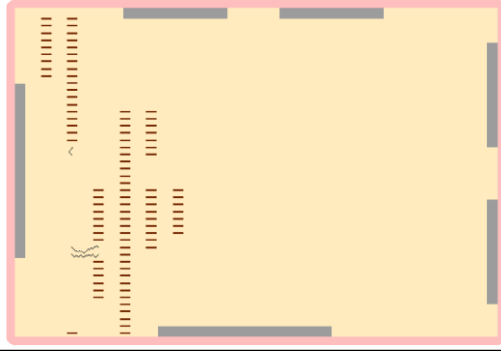
*i: 90*



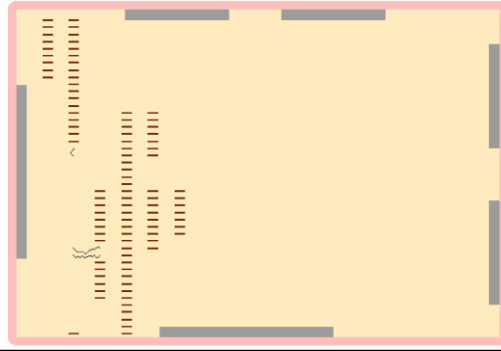
*i: 132*



*i: 180*



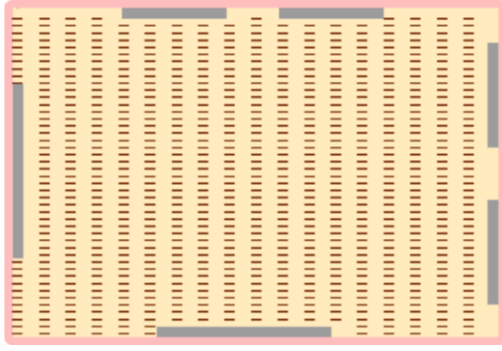
*i: 240*



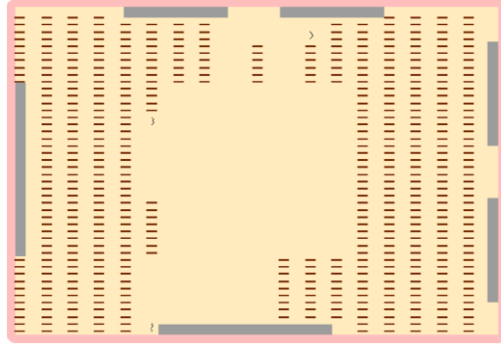
*i: 273*

Cenário 01  
Três tratores  
em operação

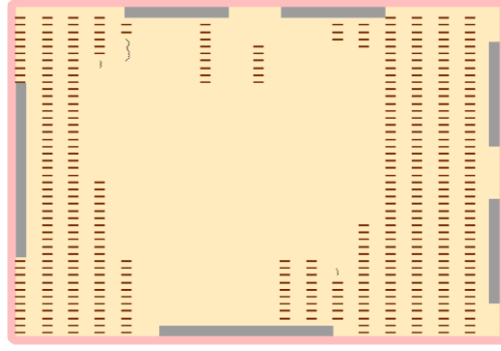
Total de  
iterrações: 277



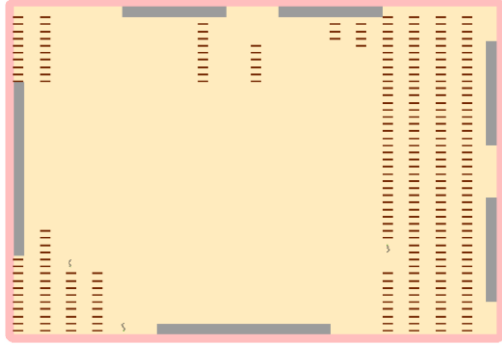
*i: 0*



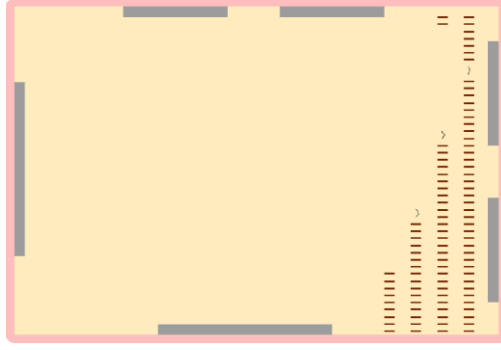
*i: 53*



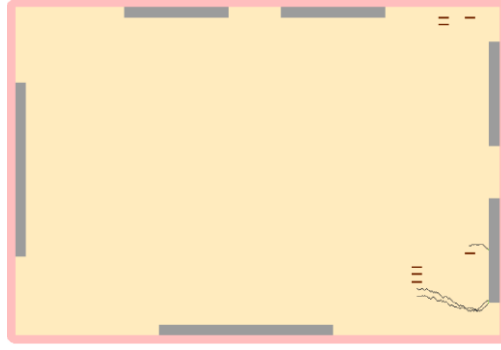
*i: 132*



*i: 180*

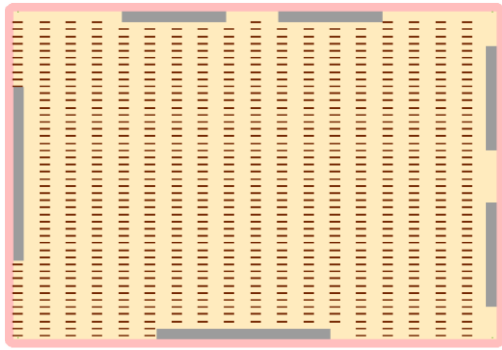


*i: 240*

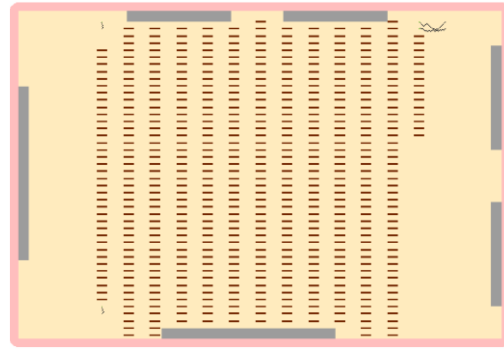


*i: 273*

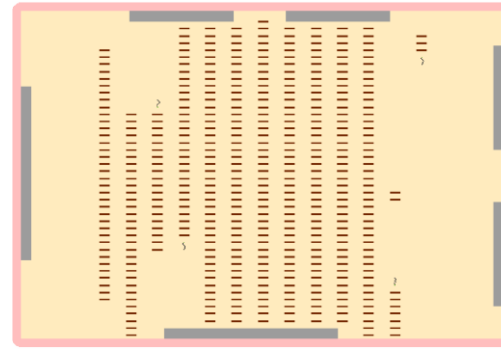
Cenário 02  
Três tratores  
em operação



*i: 0*

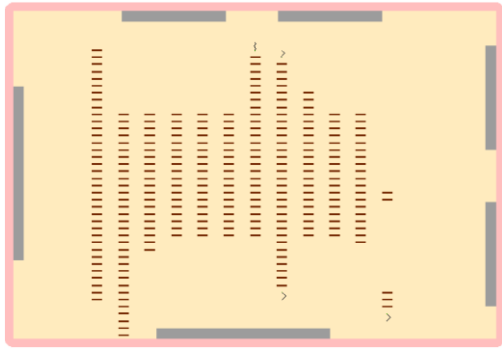


*i: 64*

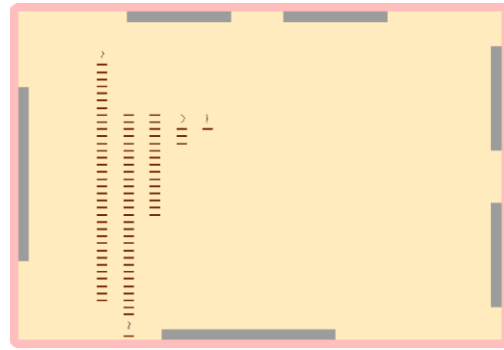


*i: 90*

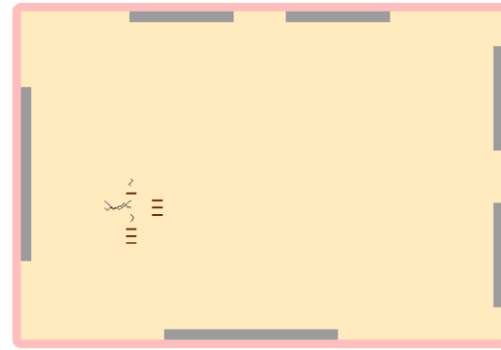
Cenário 01  
Quatro  
tratores em  
operação



*i: 135*

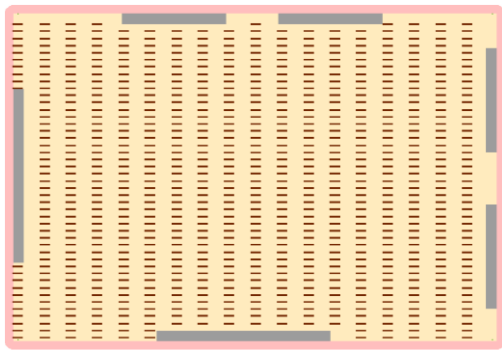


*i: 184*

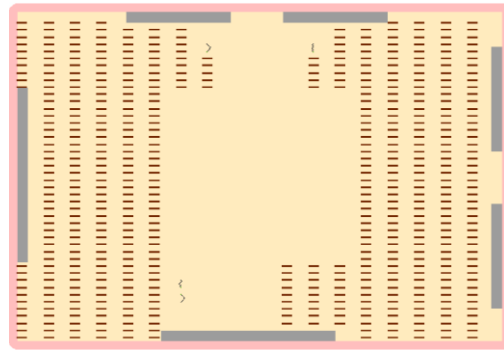


*i: 204*

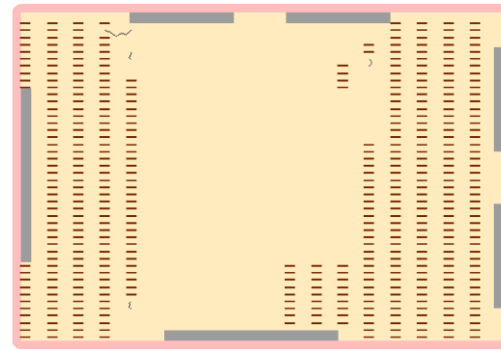
Total de  
iterrações: 207



*i: 0*

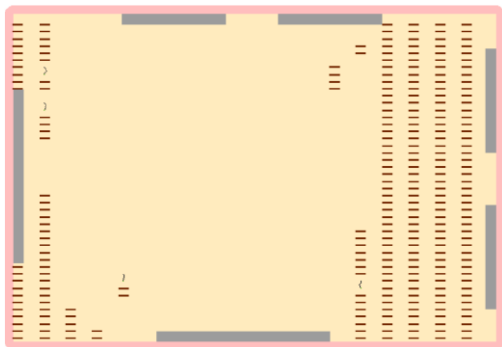


*i: 64*

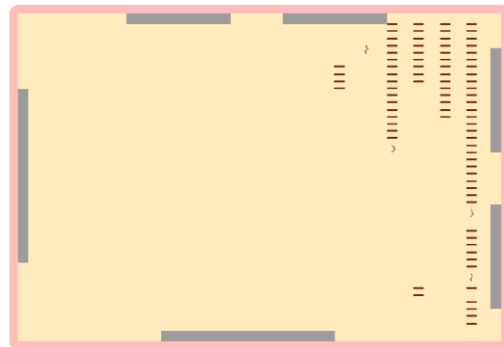


*i: 90*

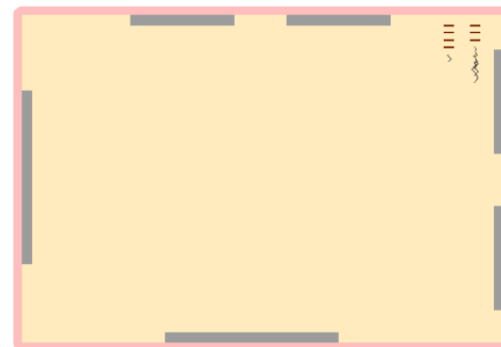
Cenário 02  
Quatro  
tratores em  
operação



*i: 135*

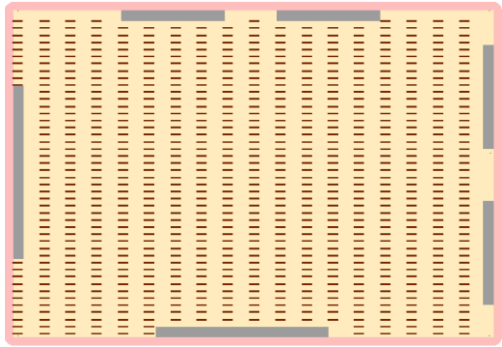


*i: 184*

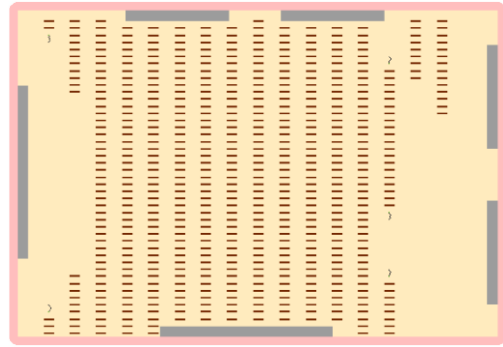


*i: 204*

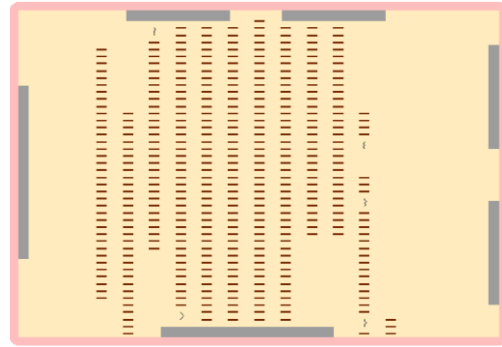
83



*i: 0*

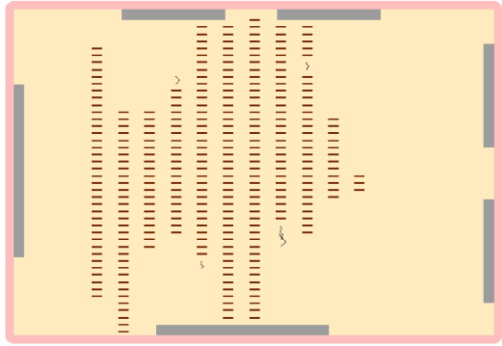


*i: 46*

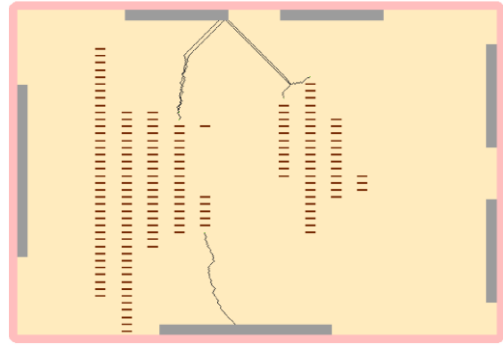


*i: 80*

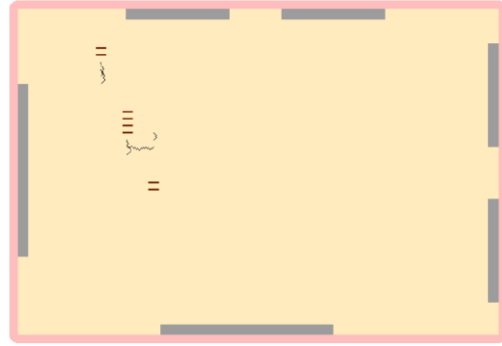
Cenário 01  
Cinco  
tratores em  
operação



*i: 100*

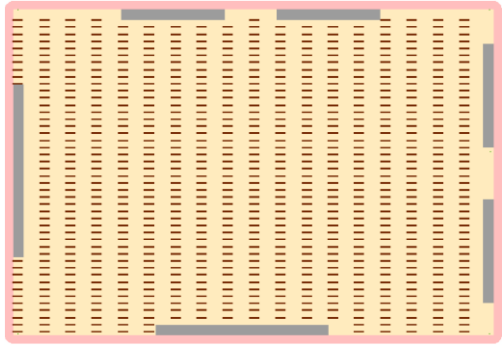


*i: 131*

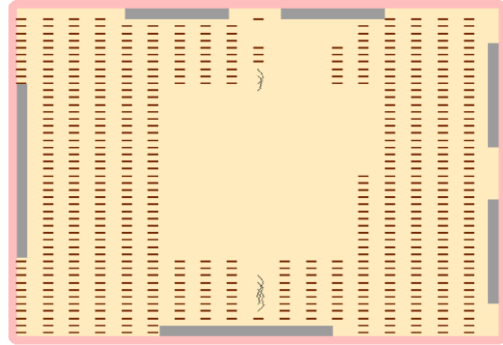


*i: 163*

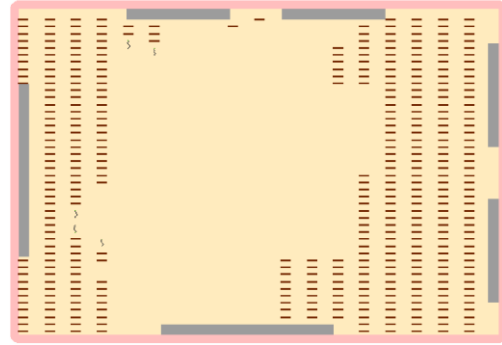
Total de  
iterrações: 166



*i: 0*

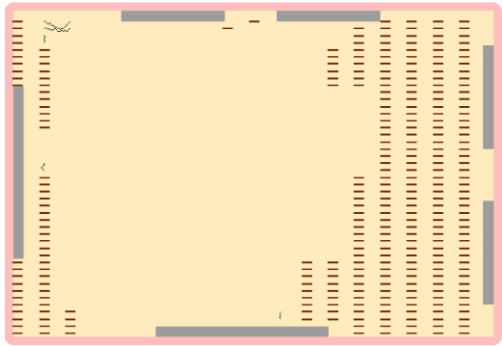


*i: 46*

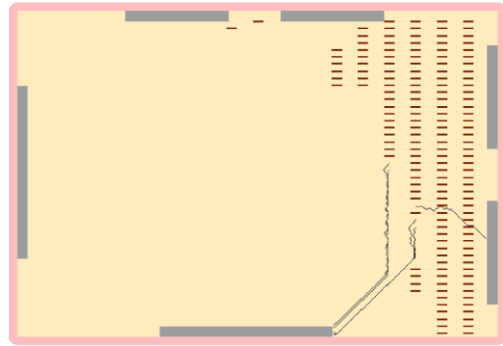


*i: 80*

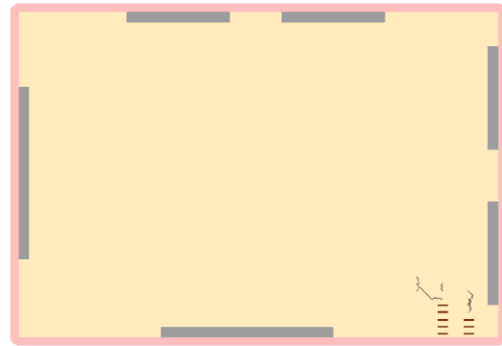
Cenário 02  
Cinco  
tratores em  
operação



*i: 100*

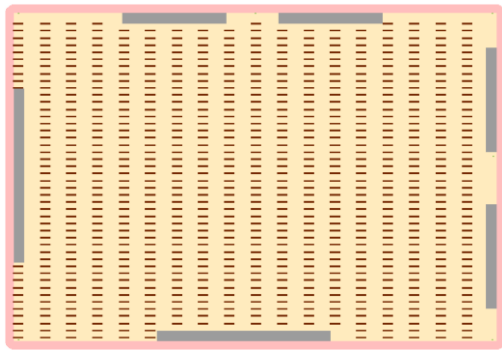


*i: 131*

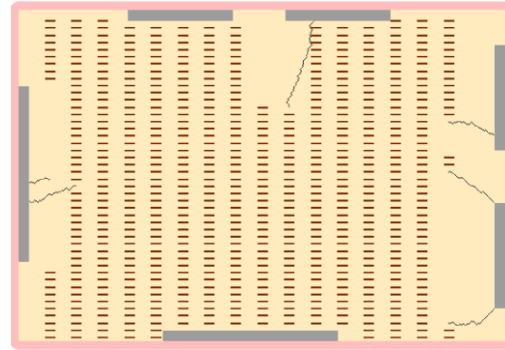


*i: 163*

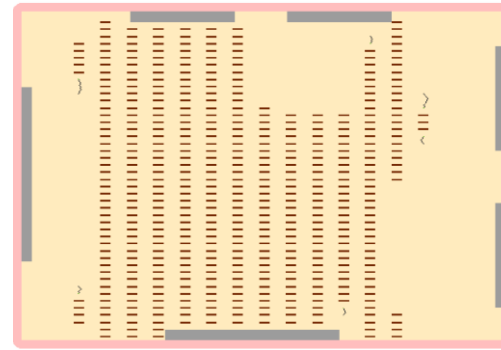
84



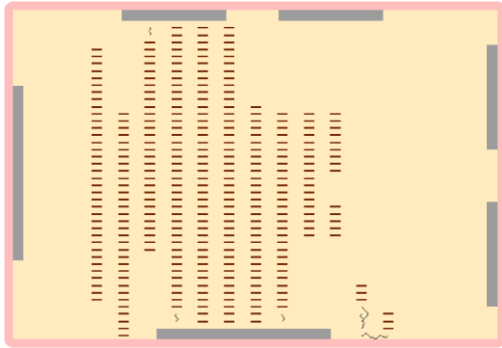
*i: 0*



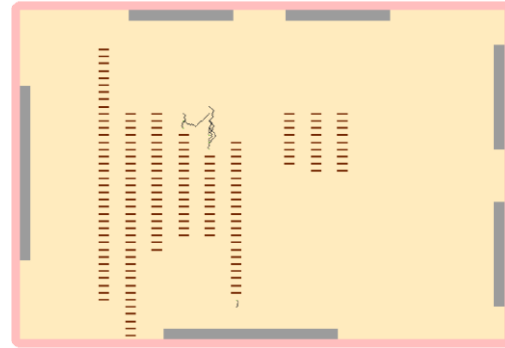
*i: 26*



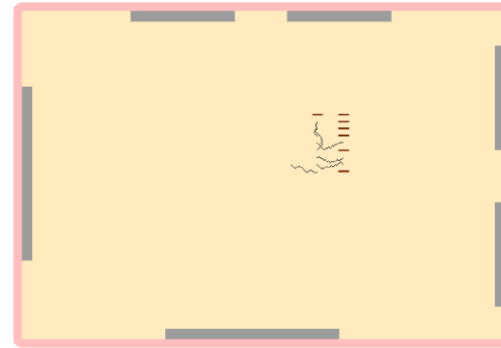
*i: 55*



*i: 80*



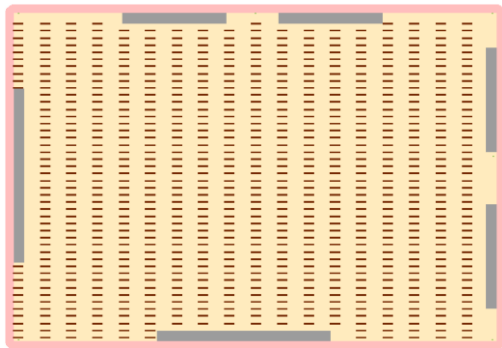
*i: 108*



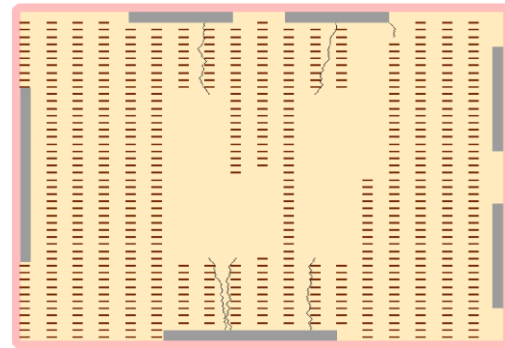
*i: 136*

Cenário 01  
Seis tratores  
em operação

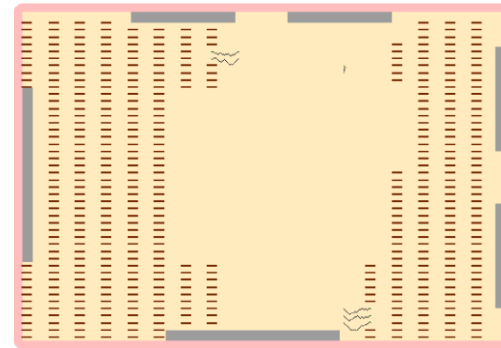
Total de  
iterações: 139



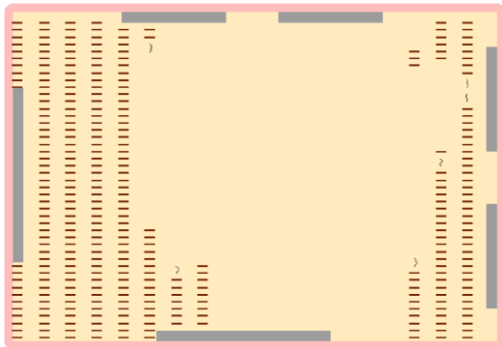
*i: 0*



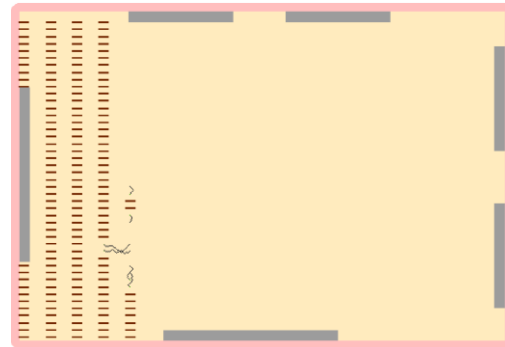
*i: 26*



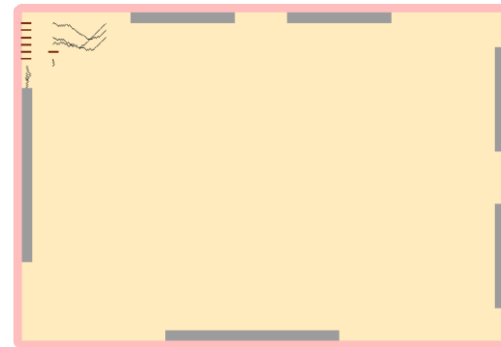
*i: 55*



*i: 80*



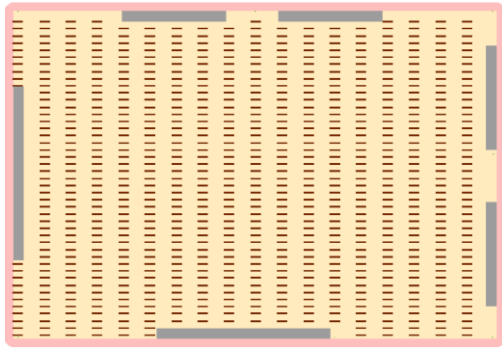
*i: 108*



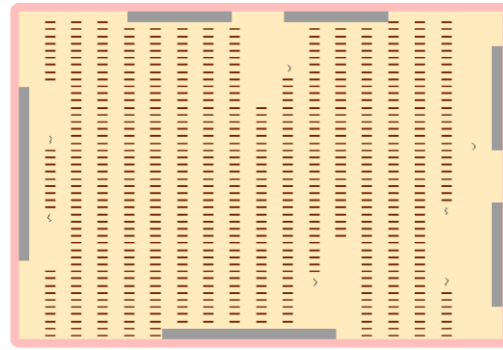
*i: 136*

Cenário 02  
Seis tratores  
em operação

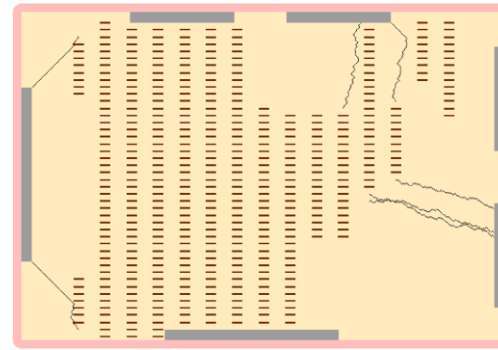
85



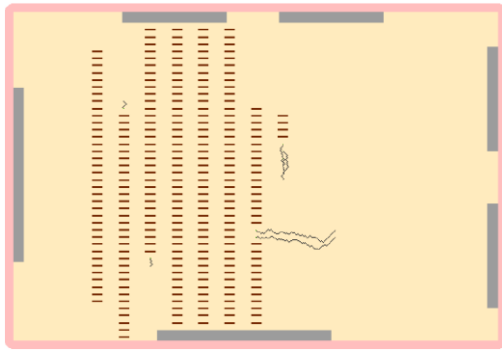
*i: 0*



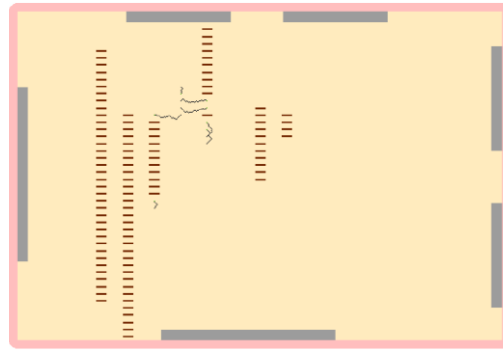
*i: 20*



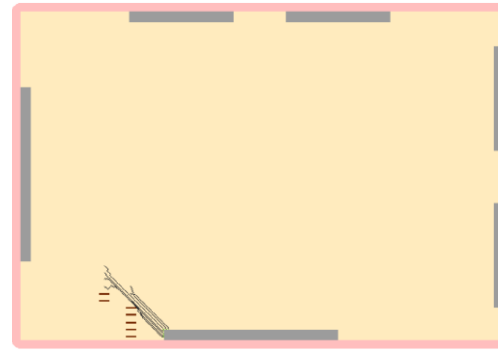
*i: 52*



*i: 77*



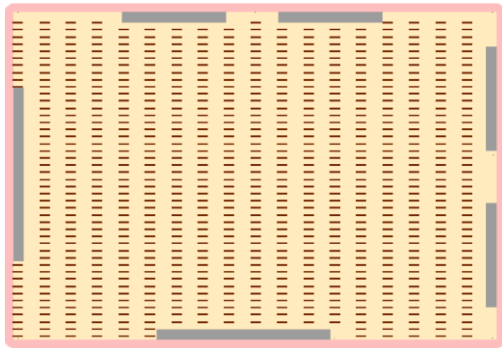
*i: 101*



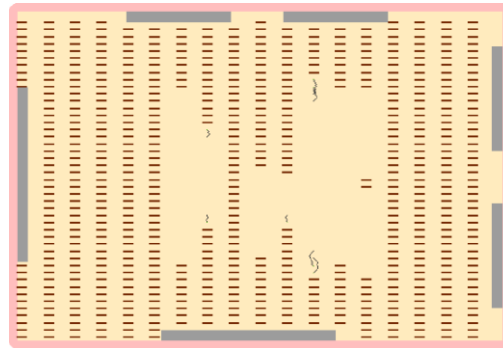
*i: 117*

Cenário 01  
Sete tratores  
em operação

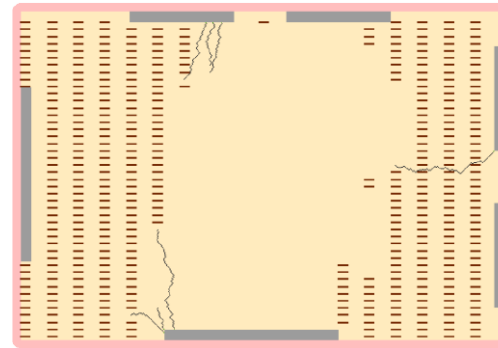
Total de  
iterrações: 119



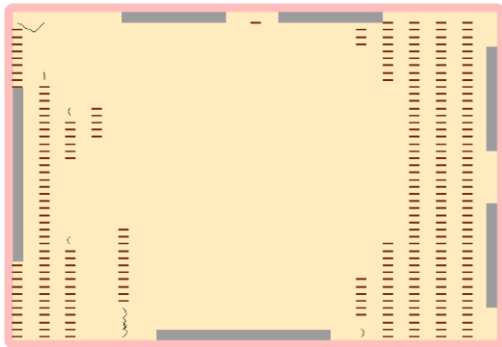
*i: 0*



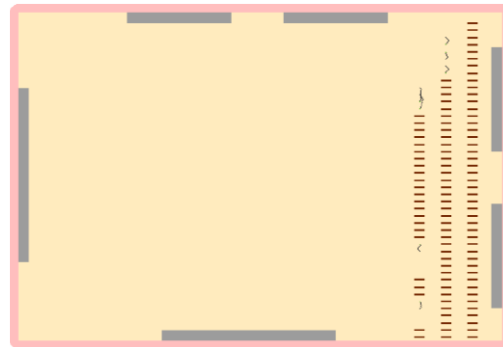
*i: 20*



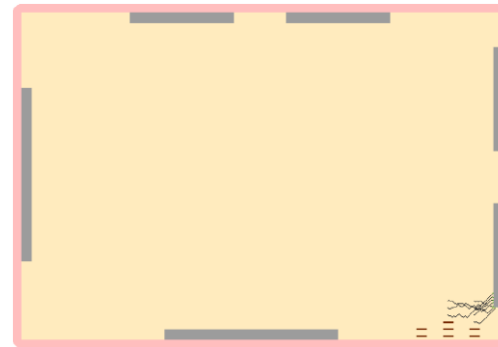
*i: 52*



*i: 77*

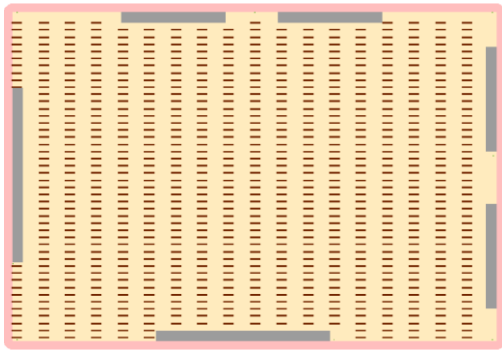


*i: 101*

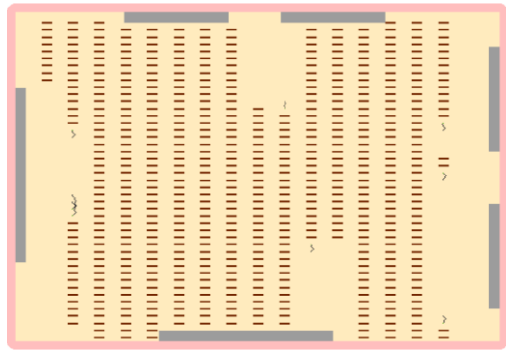


*i: 117*

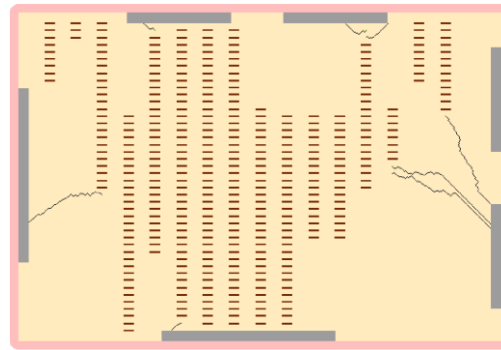
Cenário 02  
Sete tratores  
em operação



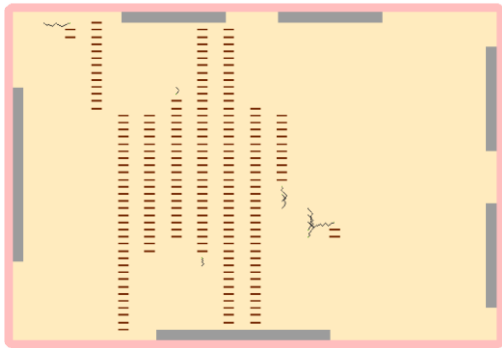
*i: 0*



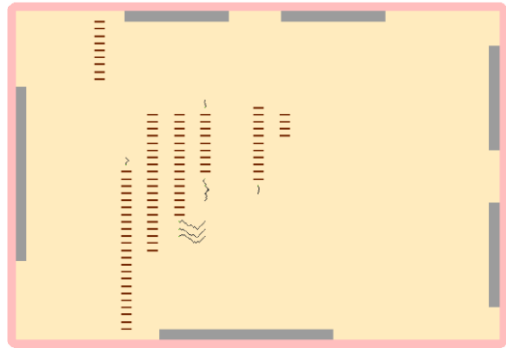
*i: 25*



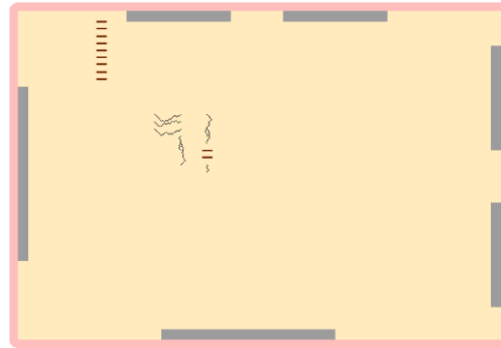
*i: 53*



*i: 75*



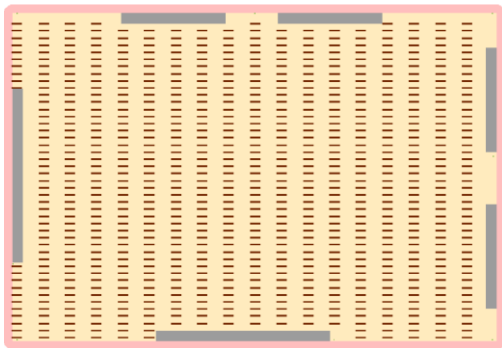
*i: 90*



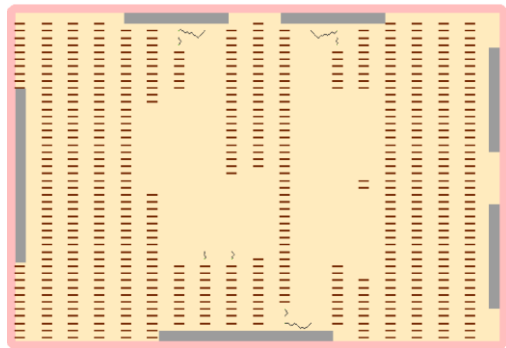
*i: 101*

Cenário 01  
Oito tratores  
em operação

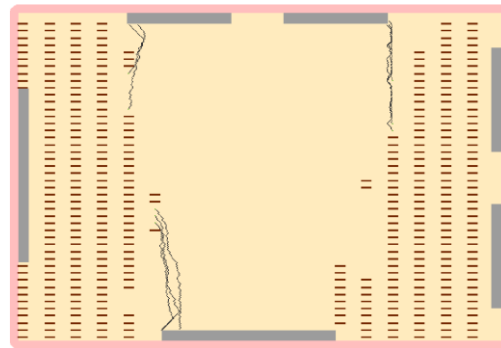
Total de  
iterações: 105



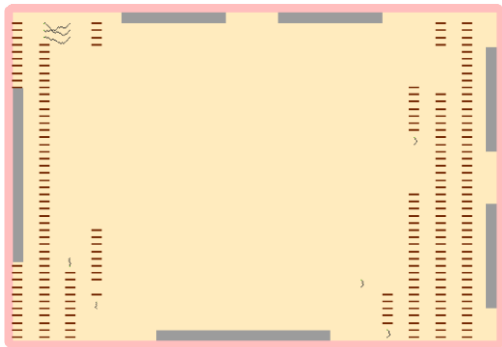
*i: 0*



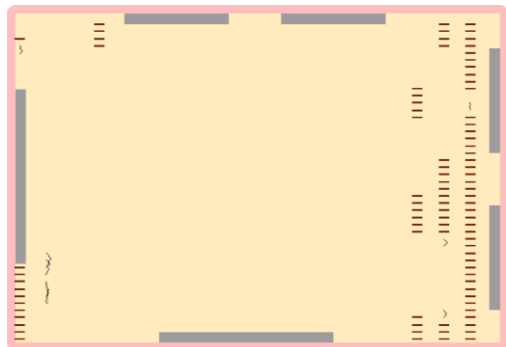
*i: 25*



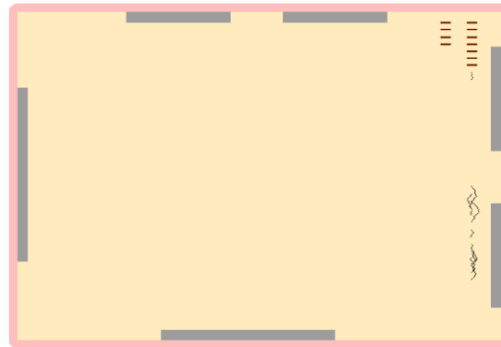
*i: 53*



*i: 75*



*i: 90*



*i: 101*

Cenário 02  
Oito tratores  
em operação

