



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA)

PAULO HENRIQUE DA SILVA

DECISÕES SOBRE O PLANTIO DE EUCALIPTO PELA EFICIÊNCIA DO VOLUME
PRODUZIDO E MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS

LIMEIRA
2018

PAULO HENRIQUE DA SILVA

DECISÕES SOBRE O PLANTIO DE EUCALIPTO PELA EFICIÊNCIA DO VOLUME
PRODUZIDO E MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA) da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e de Manufatura, na Área de Pesquisa Operacional e Gestão de Processos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio de Arruda Ignácio

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO
PAULO HENRIQUE DA SILVA, E ORIENTADA PELO
PROF. DR. PAULO SÉRGIO DE ARRUDA IGNÁCIO.

LIMEIRA
2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3341-9030>

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas
Renata Eleuterio da Silva - CRB 8/9281

Si38d Silva, Paulo Henrique da, 1981-
Decisões sobre o plantio de eucalipto pela eficiência do volume produzido e minimização de custos / Paulo Henrique da Silva. – Limeira, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Paulo Sérgio de Arruda Ignácio.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas.

1. Eucalipto. 2. Eficiência. 3. Análise de envoltória de dados. 4. Programação linear. I. Ignácio, Paulo Sérgio de Arruda, 1963-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Decisions on eucalyptus planting by the efficiency of the volume produced and minimization of costs

Palavras-chave em inglês:

Eucalyptus

Efficiency

Data envelopment analysis

Linear programming

Área de concentração: Pesquisa Operacional e Gestão de Processos

Titulação: Mestre em Engenharia de Produção e de Manufatura

Banca examinadora:

Paulo Sérgio de Arruda Ignácio [Orientador]

Alessandro Lucas da Silva

Cristiane Camargo Zani de Lemos

Data de defesa: 15-02-2018

Programa de Pós-Graduação: Engenharia de Produção e de Manufatura

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Paulo Henrique da Silva

Título: Decisões sobre o plantio de eucalipto pela eficiência do volume produzido e minimização de custos

Natureza: Dissertação

Área de concentração: Engenharia de Produção e de Manufatura / Pesquisa Operacional e Gestão de Processos

Instituição: Faculdade de Ciências Aplicadas – FCA/Unicamp

Data da defesa: 15 de fevereiro de 2018, Limeira/SP

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo Sérgio de Arruda Ignácio (Orientador)

Prof. Dr. Alessandro Lucas da Silva

Prof. Dra. Cristiane Camargo Zani de Lemos

A Ata da Defesa com as respectivas assinaturas dos membros da banca encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais José Roberto e Célia, minha esposa Priscila e minha filha Isabela, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que este sonho se realizasse.

Ao amigo Engº Florestal Robson Oliveira Laprovitera (in memorian), exemplo de pessoa, profissional e líder, que possibilitou que esse sonho se concretizasse.

Sou eternamente grato a todos.

“É preciso ter uma meta, e a nossa meta é muito grande. Quem se acostuma com coisa pequena não pode ir para o céu. O céu é para quem sonha grande, pensa grande, ama grande e tem a coragem de viver pequeno. Isso é o céu.”

(Padre Léo, SCJ)

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr^o Paulo Sérgio de Arruda Ignácio, por toda confiança e orientação durante os anos de estudos, possibilitando a realização desse sonho e contribuindo direta e indiretamente na minha formação pessoal e profissional.

Aos professores do curso de Mestrado em Engenharia de Produção e de Manufatura da Faculdade de Ciências Aplicadas – FCA/Unicamp, os quais contribuíram para o meu crescimento profissional, através do compartilhamento de seus conhecimentos e experiências.

Aos colegas do grupo de pesquisa do CENPRO – Centro de Pesquisa em Engenharia de Produção, da Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), campus Limeira, SP.

Aos meus colegas de trabalho que me ajudaram durante a construção desta dissertação.

Agradeço também a todos os meus colegas de turma pelo convívio e receptividade durante todo o curso.

Muito obrigado a todos.

RESUMO

O eucalipto é considerado uma das espécies mais plantadas e comuns do mundo, sendo o Brasil o segundo maior produtor. As empresas de base florestal que o utilizam como matéria prima o eucalipto, buscam obter maior produtividade e eficiência. Diversos modelos podem ajudar uma empresa na melhoria da tomada de decisão de qual clone de eucalipto pode ser mais eficiente, visando reduzir custos e aumentar sua produtividade. A Análise de Envoltória de Dados - DEA, busca avaliar a eficiência entre Unidades Tomadoras de Decisão - DMUs, em função de seus *inputs* e *outputs*. Uma vez recomendados esses novos clones para o plantio em escala comercial e posterior colheita para sua utilização, pode-se afirmar que estes clones de eucalipto são os mais eficientes? O objetivo principal desse trabalho é de propor uma sistemática para melhorar a tomada de decisão na seleção de diferentes tipos de clones de eucalipto, produzidos em solos arenosos e argilosos. Sua justificativa é baseada numa proposta alternativa a metodologia atual que avalia experimentalmente quais clones deverão ser plantados em escala comercial e que não levam em conta parâmetros de pré e pós colheita. A contribuição acadêmica está na proposta de uma nova aplicação do método para o auxílio na tomada de decisão sobre clones de eucalipto que se mostram mais eficientes em conjunto com modelos de Programação Linear (PL). Para isso, utiliza-se a metodologia DEA-BCC, de maneira a classificar quais clones são mais eficientes para os tipos de solos arenosos, argilosos e ambos os solos, sendo posteriormente utilizados em 6 modelos PL. Pelos resultados obtidos, é possível verificar para os modelos em solo arenoso e argiloso que, respectivamente, 62,50% e 66,67% dos clones mostram-se eficientes. Para os modelos PL de Minimização de custos e Maximização do volume referentes ao tipo de solo arenoso e o modelo de Minimização dos custos para ambos os solos, apresentam significativas reduções de custo e aumento de volume. Contudo, o modelo de Minimização de custo para ambos os tipos de solos representa o que melhor atende as perspectivas de redução de custo (-6,53%), acréscimo de volume (15,24%), alocação e sequenciamento dos clones, sendo o único modelo que atende ambos os tipos de solos. Esses modelos permitem ao decisor a possibilidade de utilizar como critério a diminuição do custo total e/ou maximização do volume produzido. Entretanto, os demais modelos, mesmo não apresentando redução de custo, comparados ao valor atual, proporcionam um aumento significativo do volume produzido. É necessária uma melhor análise com relação aos impactos financeiros, porque, mesmo sem confirmar a redução dos custos, os modelos demonstram que ocorre um aumento significativo em seu volume, podendo viabilizá-los.

Palavras chaves: Eucalipto, Eficiência, Análise de envoltória de dados (DEA), Programação linear (PL).

ABSTRACT

Eucalyptus is considered one of the most planted and common species in the world, with Brazil being the second largest producer. The forest-based companies that use it as raw material for eucalyptus, seek to achieve greater productivity and efficiency. Several models can help a company in improving decision making of which eucalyptus clone can be more efficient, aiming to reduce costs and increase their productivity. The Data Envelopment Analysis - DEA, seeks to evaluate the efficiency between Decision Making Units (DMUs), in function of their inputs and outputs. Once these new clones are recommended for commercial scale planting and subsequent harvesting for their use, can one state that these eucalypt clones are the most efficient? The main objective of this work is to propose a systematic to improve the decision making in the selection of different types of eucalyptus clones, produced in sandy and clayey soils. Its justification is based on an alternative proposal the current methodology that evaluates experimentally which clones should be planted in commercial scale and that do not take into account parameters of pre and post harvest. The academic contribution is in the proposal of a new application of the method to aid decision making on eucalyptus clones that are more efficient in conjunction with Linear Programming (LP) models. For this, the DEA-BCC methodology is used, in order to classify which clones are most efficient for sandy soils, clayey soils and both soils, and are later used in 6 LP models. From the results obtained, it is possible to verify for the models in sandy and clayey soil that, respectively, 62.50% and 66.67% of the clones are efficient. For the LP models of Cost minimization and Volume maximization referring to the sandy soil type and the Minimization model of the costs for both soils, they present significant reductions of cost and increase of volume. However, the cost minimization model for both types of soils is the one that best meets the prospects of cost reduction (-6.53%), volume increase (15.24%), allocation and sequencing of the clones. the only model that meets both types of soils. These models allow the decision maker to use as a criterion the reduction of the total cost and / or maximization of the volume produced. However, the other models, even without a reduction in cost, compared to the present value, provide a significant increase in the volume produced. A better analysis of financial impacts is needed because, even without confirming the reduction in costs, the models demonstrate that there is a significant increase in their volume and can make them viable.

Keywords: Eucalyptus, Efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA), Linear Programming (LP).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema de ação da seleção clonal.....	18
Figura 2 – Evolução da produção brasileira de celulose e papel.....	24
Figura 3 – Exemplo de um viveiro florestal de produção de eucalipto.....	26
Figura 4 – Fluxograma da cadeia produtiva da madeira.....	28
Figura 5 – Produtividade florestal no Brasil <i>versus</i> outros importantes <i>players</i> mundiais.....	36
Figura 6 – Modelagem a partir de um sistema real.....	38
Figura 7 – Função Produção: produtividade e eficiência.....	43
Figura 8 – Função Produção: variações da produtividade e da eficiência.....	43
Figura 9 – Etapas do modelo DEA.....	45
Figura 10 – Campos de aplicação do método de Análise de Envoltória de Dados (DEA).....	48
Figura 11 – Fronteiras DEA CCR (CRS) e BCC (VRS) para um modelo bidimensional.....	55
Figura 12: Fases para desenvolvimento da pesquisa.....	57
Figura 13 - Processo de modelagem.....	58
Figura 14 - Análise de <i>boxplot</i> das variáveis em solo arenoso.....	71
Figura 15 - Análise de <i>boxplot</i> das variáveis em solo argiloso.....	72
Figura 16 - Gráficos de dispersão para solo arenoso.....	74
Figura 17 - Gráficos de dispersão para solo argiloso.....	75
Figura 18 - Análise <i>boxplot</i> das variáveis em solo arenoso.....	128
Figura 19 - Análise <i>boxplot</i> das variáveis em solo argiloso.....	129
Figura 20 - Gráficos de dispersão referente aos pares <i>input-output</i> para solo arenoso.....	131
Figura 21 - Gráficos de dispersão referente aos pares <i>input-output</i> para solo argiloso.....	133
Figura 22 – Teste de normalidade para solo arenoso.....	136
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso.....	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área de árvores plantadas por Estado (ha) em 2014.	23
Tabela 2 – Distribuição mundial dos principais países produtores de celulose e papel em 2012 (Mil ton.).....	23
Tabela 3 – Espaçamentos mais utilizados para plantios de eucalipto, de acordo com sua finalidade.	31
Tabela 4 – Operações de plantio e seus custos estimados no ano de 2008 (R\$/ha).	35
Tabela 5 – Distribuição dos dados por tipo de solo e clone.	68
Tabela 6 – Estatísticas básicas por variável - solo arenoso.	68
Tabela 7 – Estatísticas básicas por variável - solo argiloso.....	69
Tabela 8 – Análise estatística após eliminação dos <i>outliers</i> em solo arenoso – (CoefVar).	72
Tabela 9 – Análise estatística após eliminação dos <i>outliers</i> em solo argiloso – (CoefVar).....	73
Tabela 10 – Dados utilizados no modelo DEA-BCC para o tipo de solo arenoso.	78
Tabela 11 – Dados utilizados no modelo DEA-BCC para o tipo de solo argiloso.	79
Tabela 12 – Correlações entre os pares <i>inputs</i> e <i>outputs</i> - solo arenoso.	79
Tabela 13 – Correlações entre os pares <i>inputs</i> e <i>outputs</i> - solo argiloso.	80
Tabela 14 – Variáveis utilizadas nos modelos DEA-BCC.....	82
Tabela 15 – Eficiência e posicionamento dos clones – Solo arenoso.	83
Tabela 16 – Peso das variáveis por clone – Solo arenoso.	83
Tabela 17 – Alvos das variáveis por clone – Solo arenoso.	84
Tabela 18 – <i>Benchmarks</i> por tipo de clone – Solo arenoso.....	85
Tabela 19 – Eficiência e posicionamento dos clones – Solo argiloso.....	86
Tabela 20 – Peso das variáveis por clone – Solo argiloso.....	86
Tabela 21 – Alvos das variáveis por clone – Solo argiloso.....	87
Tabela 22 – <i>Benchmarks</i> por tipo de clone – Solo argiloso.	88
Tabela 23 – Custos unitários (R\$) e Volume individual (m ³) por clone – Solo arenoso.	89
Tabela 24 – Quantidade (Qtd.) de clones por local – Solo arenoso.	89
Tabela 25 – Custos unitários (R\$) e Volume individual (m ³) por clone – Solo argiloso.	90
Tabela 26 – Quantidade (Qtd.) de clones por local – Solo arenoso.	91
Tabela 27 – Resultados modelos PL – Solo arenoso.....	94
Tabela 28 – Resultados modelos PL por tipo de clone – Solo arenoso.....	95
Tabela 29 – Resultados modelo PL – Solo argiloso.....	96
Tabela 30 – Resultados modelos PL por tipo de clone – Solo argiloso.	96
Tabela 31 – Resultados modelo PL – Ambos os solos.....	97
Tabela 32 – Resultados modelos PL por tipo de clone – Ambos os solos.	98
Tabela 33 – Parâmetros IGP-DI utilizados para a correção dos Custos (R\$) para o ano de 2016.	114
Tabela 34 – Levantamento da base de dados de estudo utilizado na pesquisa.....	116
Tabela 35 – Estatísticas básicas detalhadas por variável - solo arenoso.	125
Tabela 36 – Estatísticas básicas detalhadas por variável - solo argiloso.....	126
Tabela 37 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Minimização de custos (R\$) - Solo arenoso.	164
Tabela 38 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Maximização do volume (m ³) - Solo arenoso.	165
Tabela 39 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Minimização de custos (R\$) - Solo argiloso.....	166
Tabela 40 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Maximização do volume (m ³) - Solo argiloso.....	167

Tabela 41 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Minimização de custos (R\$) – Ambos os solos.....	168
Tabela 42 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Maximização do volume (m ³) – Ambos os solos.....	169

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCC / VRS – Modelo DEA BCC (Banker, Charnes e Cooper)
CCR / CRS – Modelo DEA CCR (Charnes, Cooper e Rhodes)
CoefVar – Coeficiente de variação
CPLEX – Software da empresa IBM
DAP - Diâmetro da altura do peito
DB – Densidade Básica (Kg/m³)
DEA - *Data Envelopment Analysis* / Análise Envoltória de Dados
DMU - *Decision Making Units* / Unidades Tomadoras de Decisão
ha - Hectares
IMA Cel - Incremento médio anual de celulose
IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
m - Metro
PL - Programação Linear
PML - Programação matemática linear
PO - Pesquisa Operacional
Qtd - Quantidade
SFB - Setor Florestal Brasileiro
SIAD – Sistema Integrado de Apoio a Decisão
SOBRAPO - Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional
VInd – Volume individual (m³)
VP – Volume produzido (m³)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2 OBJETIVO	18
1.3 JUSTIFICATIVA.....	19
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 O SETOR FLORESTAL BRASILEIRO.....	21
2.2 PRODUÇÃO DE MUDAS DE EUCALIPTO	24
2.3 SILVICULTURA.....	27
2.3.1 <i>Plantio e Replântio</i>	29
2.3.2 <i>Adubação de base e Espaçamento</i>	30
2.3.3 <i>Colheita da madeira</i>	31
2.3.4 <i>Inventário Florestal</i>	32
2.3.5 <i>Custos estimados no plantio do eucalipto</i>	34
2.4 PESQUISA OPERACIONAL NA TOMADA DE DECISÃO	37
2.4.1 <i>Modelagem para Tomada de Decisão</i>	38
2.5 PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA E LINEAR	39
2.6 PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA	41
2.7 ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)	44
2.7.1 <i>Seleção das variáveis</i>	50
2.7.2 <i>Modelos DEA</i>	52
3. METODOLOGIA.....	56
3.1 FASES DA PESQUISA	57
3.1.1 <i>Delineamento da pesquisa</i>	58
3.1.2 <i>Modelagem</i>	58
3.1.3 <i>Identificação do problema para modelagem</i>	59
3.1.4 <i>Levantamento da base de dados</i>	59
3.1.5 <i>Análise das Variáveis</i>	61
3.1.6 <i>Construção do Modelo utilizando DEA</i>	61
3.1.7 <i>Seleção das DMUs e Variáveis</i>	61
3.1.8 <i>Aplicação do modelo DEA</i>	62
3.1.9 <i>Análise dos resultados DEA</i>	63
3.1.10 <i>Construção e resultados do modelo em PL</i>	63

4.	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....	67
4.1	COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	67
4.2	ANÁLISE DE <i>BOXPLOT</i>	70
4.3	ANÁLISE APÓS ELIMINAÇÃO <i>OUTLIERS</i>	72
4.4	DESENVOLVIMENTO DEA.....	74
4.4.1	<i>Teste de normalidade dos dados</i>	77
4.4.2	<i>Análise de correlação das variáveis</i>	79
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS MODELOS DEA.....	82
4.5.1	<i>DEA-BCC em solo Arenoso</i>	82
4.5.2	<i>DEA-BCC em solo Argiloso</i>	85
4.5.3	<i>Considerações sobre os resultados dos modelos DEA</i>	88
4.6	DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS EM PL.....	88
4.7	RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS MODELOS PL.....	94
4.7.1	<i>Resultados modelo PL em solo Arenoso</i>	94
4.7.2	<i>Resultados modelo PL em solo Argiloso</i>	95
4.7.3	<i>Resultados modelo PL em ambos os solos</i>	97
4.7.4	<i>Considerações sobre os resultados dos modelos PL</i>	98
4.8	DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS.....	99
5.	CONCLUSÃO.....	102
5.1	OPORTUNIDADES FUTURAS.....	103
6.	REFERÊNCIAS.....	104
	APÊNDICE A: BASE DE DADOS DO ESTUDO.....	113
	APÊNDICE B: ESTATÍSTICAS BÁSICAS UTILIZADAS NA BASE DE DADOS....	124
	APÊNDICE C: ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DA BASE DE DADOS UTILIZANDO <i>BOXPLOT</i>.....	127
	APÊNDICE D: ESTATÍSTICAS BÁSICAS E GRÁFICOS DE DISPERSÃO PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO DEA.....	130
	APÊNDICE E: SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NO MODELO DEA....	135
	APÊNDICE F: MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR - PL.....	156
	APÊNDICE G: RESULTADOS DOS MODELOS PL.....	163

1. INTRODUÇÃO

Com origem na Austrália e em outras ilhas da Oceania, o eucalipto chegou ao Brasil a partir de 1904. Sua vinda foi graças ao trabalho do agrônomo Edmundo Navarro de Andrade que trouxe as primeiras sementes de diversas espécies, com o objetivo de suprir a demanda de madeira e dormentes para as locomotivas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (PAINEL FLORESTAL, 2012).

O eucalipto possui uma área total de plantação de mais de 19 milhões de hectares, sendo considerada uma das espécies mais comuns e plantadas do mundo e tendo o Brasil como o segundo maior local plantado, com 4 milhões de hectares (ALFENAS et al., 2009; YANG et al., 2017).

As empresas que utilizam o eucalipto como matéria prima em seu processo produtivo visam cada vez mais buscar melhorias em suas florestas, de forma a obter maior eficiência e produtividade ao longo de seu processo produtivo.

Vindo de encontro a essas necessidades, um elemento competitivo para as operações indústrias de base florestal se tornou o melhoramento genético, contribuindo para o aumento do valor econômico das florestas plantadas, fornecendo sementes e clones geneticamente superiores (GRATTAPAGLIA, 2014). Este método de multiplicação pode ocorrer de forma natural ou através de outros métodos, como a enxertia ou estacaria, podendo ser utilizado nos mais variados tipos de plantas (CANHOTO, 2010).

Os setores públicos e privados vêm contribuindo de maneira significativa através de investimentos, para o desenvolvimento de programas de clonagem e melhoramento genético em escala comercial. Estas iniciativas garantem matrizes superiores a cada geração de cruzamento, garantido mediante a sua pronta multiplicação a obtenção de ganhos genéticos (ALFENAS et al., 2009).

As primeiras iniciativas de clonagem do eucalipto se deram quando foram multiplicadas diversas espécies de Eucaliptos do gênero *Eucalyptus*, por pesquisadores australianos e franceses no Marrocos e no norte da África em meados do século passado (ALFENAS et al., 2009). No Brasil, a clonagem do eucalipto foi introduzida na década de 70, proporcionando de maneira vantajosa a transferência de características genéticas pouco herdáveis, como o rendimento em celulose e o incremento em volume, levando ao aumento de sua produtividade em até três vezes e gerando grande avanços nos programas de melhoramento genético (MAFIA et al., 2005a; VANCE et al., 2014).

No ano de 1964, as atividades da Antiga Companhia Paulista de Estradas de Ferro foram assumidas pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo. Criou-se então um programa de certificação de sementes e também um programa intensivo de melhoramento genético por meio da seleção de árvores superiores (CARVALHO, 2006).

Entretanto, o melhoramento genético deve estar associado a apropriadas práticas silviculturais e de manejo, de maneira a se alcançar uma melhor aplicação do potencial do material genético. Essas práticas devem estar em linha com as estratégias do melhoramento florestal, de forma a proporcionar melhorias com relação a quantidade e qualidade desses materiais (MORI; MORAES, 2010).

De acordo com (BISON, XX)

*O grande avanço genético ocorreu quando os pesquisadores da Aracruz vislumbraram a possibilidade de se proceder a plantios clonais. Passaram então a selecionar árvores superiores, especialmente nos plantios comerciais, a maioria, ao que tudo indica, híbridos naturais envolvendo *E. grandis* e *E. urophylla*. A primeira plantação clonal comercial de eucalipto no Brasil foi implantada em 1979, cerca de 12 anos após o início do seu cultivo pela empresa. Para isso, foi utilizada a propagação vegetativa de estacas retiradas das brotações de cepas.*

Devido ao cuidadoso trabalho de melhoramento ocorrido a partir de 1967, o Brasil tem conseguido significativos ganhos de produtividade. Anteriormente, em geral, a produtividade média de idade aos sete anos estava por volta de 15 m³/ha.ano. Sua produtividade aumentou para 21 m³/ha.ano, com a utilização de técnicas silviculturais mais intensivas (preparo de solo, fertilização mineral, proteção florestal, etc.) e posteriormente para 40 m³/ha.ano, com a reintrodução de novos materiais, a partir de uma criteriosa escolha de procedências mais adequadas (LIMA, 1996).

De encontro a isso, existem metodologias que podem ajudar uma empresa a melhorar sua tomada de decisão e a classificar qual tipo de clone de eucalipto pode ser o mais eficiente, auxiliando na melhoria de sua eficiência produtiva, aumentando sua produtividade e buscando reduzir seus custos. Esse conceito de eficiência visa realizar corretamente as coisas com o mínimo desperdício ou custo (CHIAVENATO, 2016). Sendo assim, tendo como necessidade a busca da melhor eficiência de um determinado tipo de clone de eucalipto, este trabalho faz uso da Análise de Envoltória de Dados (DEA).

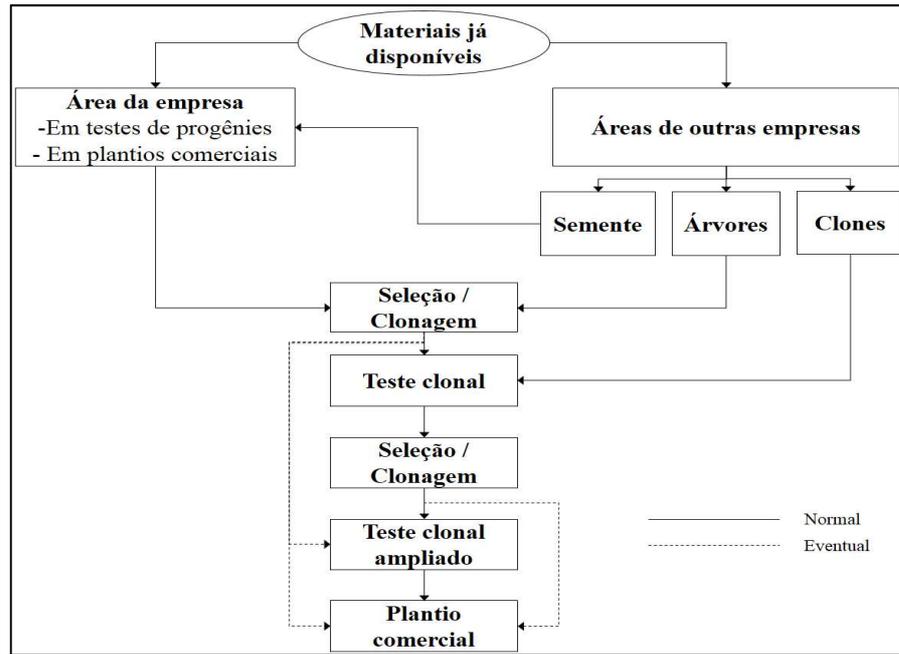
A DEA vem sendo utilizada de maneira ampla na Pesquisa operacional (PO), de modo que seus decisores desejam ter a certeza da busca de ótimas decisões em seus processos de produção industrial. Isso ocorre em função de diferentes informações apresentarem certa

confusão, devido à incerteza em diferentes fatores, resultando a pesquisa no campo da incerteza a liderança pela modelagem DEA (SAHARIDIS, 2017).

Conhecida pela sigla em inglês, DEA (*Data Envelopment Analysis*), é uma ferramenta estatística não paramétrica baseada em Programação linear (PL), que busca avaliar a eficiência entre Unidades Tomadoras de Decisão ou DMUs, (abreviação do inglês *Decision Making Units*). Esta avaliação e comparação ocorre entre entidades que realizam tarefas similares e se diferenciam em função de sua quantidade de recursos empregados (*inputs*) e de seus bens produzidos (*outputs*). A utilização da DEA é aplicada a diversas áreas do conhecimento, sendo seus dois modelos consagrados o CCR (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978) e o BCC (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984), podendo destacar sua aplicação na gestão de políticas públicas e desempenho de estados e municípios nas áreas de saúde, saneamento e educação (BENT; CHRISTIAN; PODINOVSKI, 2017; FÁVERO; BELFIORE, 2012).

1.1 Problema de pesquisa

Dentro do programa de melhoramento a obtenção de clones de eucalipto para plantio comercial podem ter duração entre 12 a 20 anos. É possível observar que esses programas visam incrementar ganhos genéticos desejados, sendo que seus maiores investimentos são realizados pelas empresas de base florestal, voltadas a fabricação de celulose e papel (FILHO; SANTOS, 2011; SOUZA, 2016). A Figura 1 apresenta as etapas que abrangem o processo de seleção clonal.



Fonte: Fonseca et al. (2010).

Figura 1 – Esquema de ação da seleção clonal.

Essas etapas levam em conta aspectos silviculturais, seleções intermediárias e análises tecnológicas dispendiosas, onde ocorrem a seleção dos novos clones. Sua finalidade é de garantir a sustentabilidade dos plantios comerciais e do programa de melhoramento, visando os caracteres silviculturais de interesse, como volume de madeira, forma de tronco da árvore, qualidade da madeira e resistência a doenças e pragas (FILHO; SANTOS, 2011; SOUZA, 2016). Algumas empresas florestais, estruturam esse programa de melhoramento para que a cada 3 anos uma nova geração seja recomendada para plantio comercial.

Uma vez recomendados esses novos clones para o plantio em escala comercial e posterior colheita para sua utilização, pode-se afirmar que estes clones de eucalipto são os mais eficientes?

1.2 Objetivo

Esta pesquisa tem como objetivo principal propor uma sistemática de decisão para melhorar a tomada de decisão para a seleção de diferentes tipos de clones de eucalipto produzidos em solos arenosos e argilosos.

Os objetivos específicos são:

- Determinar quais seriam os clones mais eficientes a serem recomendados e/ou mantidos para estes tipos de solos nos próximos ciclos produtivos, com base na

análise de dados obtidas de inventário florestal realizado pré colheita e também de dados obtidos após sua colheita.

- Determinar a melhor alocação para o plantio dos clones mais eficientes em áreas produtivas, de tal forma a minimizar os custos e também de maximizar o volume de eucalipto a ser produzido.

1.3 Justificativa

Este trabalho se justifica na proposta alternativa sobre a metodologia atual que avalia experimentalmente ao longo de 12 anos, quais clones deverão ser utilizados em escala comercial posteriormente selecionados a cada 3 anos. Nesse método não são levados em conta parâmetros de pré e pós colheita, em escala comercial, os quais podem apresentar valores mais próximos da realidade ao longo dos seus 6 a 7 anos de idade.

A contribuição acadêmica deste trabalho está na proposta de uma nova opção de aplicação do método de análise para melhorar a tomada de decisão sobre clones de eucalipto que se mostram mais eficientes, proporcionando uma alternativa para aumentar sua produtividade, o qual é obtido em função do aumento do volume de eucalipto produzido e da diminuição de seus custos de plantio, selecionado pelo modelo DEA e também através da melhor alocação desses clones gerados pelos modelos de programação linear (PL).

Isso se confirma no desenvolvimento deste trabalho, onde foram identificadas poucas referências que demonstram a pesquisa com uso de tal metodologia para a medição da eficiência técnica de atividades florestais.

De maneira geral, a contribuição deste trabalho se baseia numa proposta alternativa para melhorar a tomada de decisão no plantio de clones de eucaliptos, baseado no método de clonagem, proporcionando uma opção de escolha dos clones mais eficientes, de tal forma a aumentar sua produtividade de plantio.

1.4 Delimitação da pesquisa

Esta dissertação apresenta algumas delimitações quanto a sua aplicação e seu escopo. Inicialmente, apesar de existirem diversas técnicas relacionadas a Análise de envoltória de dados (DEA) nas últimas décadas, somente as técnicas avaliadas como as mais comumente utilizadas na literatura para a resolução dos problemas são abordadas na revisão bibliográfica.

Durante as etapas de aplicação do trabalho, as análises realizadas são obtidas com base em informações disponíveis no período de 2011 a 2016. As variáveis que por algum

motivo não apresentam valores ou apresentam valores faltantes na base de dados utilizadas, foram excluídas.

A variável financeira Custo Total (R\$) que é de caráter sigiloso e sua divulgação não é autorizada pela empresa objeto do estudo de caso, logo, essa variável foi substituída por custos similares a esse processo e disponíveis na literatura acadêmica. Esse custo similar encontrado na literatura acadêmica, não considera em sua elaboração a variável declividade utilizada no local estudado. Desse modo, a variável declividade não foi considerada nesse estudo.

Como a empresa também realiza a compra de madeiras de mercado para a utilização em seu processo, são consideradas na aplicação desse trabalho somente as áreas de plantio próprias da empresa e áreas de parcerias, com plantios de 1ª rotação, localizadas no interior do estado de São Paulo. Isso se faz necessário visto que nestas áreas, a gestão desde o plantio até sua colheita é realizada pela própria empresa, utilizando suas técnicas, padrões e procedimentos. Para essas áreas, também são excluídas aquelas em que são realizados qualquer tipo de teste durante o período avaliado.

Verificado também que o tempo de recomendação desses novos clones, para utilização em escala comercial, ocorre desde sua fase inicial até a fase final num período de aproximadamente 12 anos e posteriormente selecionado a cada 3 anos, a proposta deste trabalho é através da análise de parâmetros utilizados em escala comercial, com idade de 6 à 7 anos, visando promover sua classificação e selecionando os clones que apresentem as melhores eficiências baseadas nos seguintes variáveis: Altura (m), Área plantada (ha), Custo Total (R\$), Diâmetro na Altura do Peito – DAP (cm), Densidade Básica – DB (Kg/m³), Idade de corte (Anos), Volume Individual – VInd (m³) e Volume produzido – VP (m³). Os valores referentes as variáveis Altura (m), Diâmetro na Altura do Peito – DAP (cm), Densidade Básica – DB (Kg/m³) e Volume Individual – VInd (m³) são referentes à última avaliação de inventário florestal pré corte, que ocorre anteriormente a sua colheita.

As classificações das variáveis utilizadas são realizadas em função dos tipos de solos (argiloso ou arenosos), verificando quais seriam os clones mais eficientes utilizados em escala comercial, de maneira que essa informação possa ser utilizada em conjunto com os dados dos novos clones que serão recomendados através de dados experimentais.

As variáveis referentes as questões genéticas não são avaliadas nessa pesquisa, visto que a sistemática proposta não é aplicada para o desenvolvimento de novos clones, mas sim sobre o histórico de produção realizado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Setor Florestal Brasileiro

Segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2017a), denomina-se uma floresta como uma vegetação qualquer que apresente predominância de indivíduos lenhosos e as copas das árvores se tocam formando um dossel.

Essas florestas podem se apresentar como florestas de árvores plantadas, que são talhões de árvores que foram reflorestados através do plantio de mudas, as quais atendem planos de manejo sustentáveis, visando promover o desenvolvimento econômico e social de suas comunidades vizinhas e reduzir os impactos ambientais (IBÁ, 2015a).

Pode-se conceituar o setor florestal como parte da sociedade relacionada à utilização de recursos silvestres ou florestais, onde este se relaciona de maneira especial ao uso da fauna (exceto peixes) e flora, particularmente das florestas naturais ou plantadas (CARVALHO; SOARES; VALVERDE, 2005).

Motoyama (2004, p. 28) relata que o setor florestal brasileiro

“Começou a crescer a partir da década de 1960, em especial, depois da criação do Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (Ipef), ligado à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), graças a um convênio entre a USP e um grupo de seis firmas relacionadas com a transformação de madeira: Champion Celulose S/A, Madeirit S/A, Olinkraft Celulose e Papel Ltda., e Cia. Suzano de Papel e Celulose.”

O setor de árvores plantadas brasileiro corresponde no ano de 2016 a aproximadamente 7,84 milhões de hectares, sendo um setor de grande importância para a economia brasileira. Pode-se citar como os principais produtos desta atividade a produção de celulose, diversos tipos de papel (imprimir, escrever, embalagem, sanitários (*tissue*), imprensa), painéis, pisos, carvão, dentro outros (IBÁ, 2017; IBÁ, 2015b).

O Brasil possui uma das áreas mais significativas de florestas plantadas e nativas, sendo que algumas estatísticas apontam o Brasil como uma das maiores áreas de florestas plantadas do mundo, tendo o eucalipto como uma das principais, com aproximadamente 5 milhões de hectares (CARVALHO; SOARES; VALVERDE, 2005). Segundo BRACELPA (2016), *“O plantio florestal do eucalipto é, hoje, uma importante atividade produtiva no Brasil, fonte de riqueza e desenvolvimento social, bem como de conservação ambiental.”*

Com relação aos plantios de eucalipto, sua ocupação corresponde a 5,56 milhões de hectares das áreas plantadas, sendo principalmente localizados nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e São Paulo (IBÁ, 2015b).

Admite-se que por volta de 1823 o primeiro país a introduzir o eucalipto na América do Sul foi o Chile e que no Brasil as primeiras introduções aconteceram no Rio Grande do Sul por volta de 1823 (LIMA, 1996). É difícil determinar quando e como o eucalipto chegou ao Brasil, gerando diversas controvérsias sobre este tema (FOELKEL, 2005). Seu plantio inicia-se a mais de um século, com o pioneiro Navarro de Andrade que trouxe mudas de eucalipto (*Eucalyptus spp.*) para a produção de dormentes para estrada de ferro (DARSKI, 2014).

Essas espécies introduzidas nos cerrados paulistas tiveram um bom desenvolvimento e se mostraram como uma boa alternativa para suprir a demanda de madeira (SNIF, 2017b). Buainain e Batalha (2007, p. 19) citam que

“O Brasil reúne condições excepcionais na indústria de base florestal, quando se analisam aspectos relacionados à liderança em custo e diferenciação de produto. No caso das florestas plantadas, o País desenvolveu tecnologias de melhoramento genético e manejo florestal que o colocam entre os produtores de menor custo e maior produtividade. Essa vantagem competitiva é apropriada pela indústria de celulose e papel, bem como alguns segmentos da indústria de painéis de fibra e aglomerados.”

Com mais de 600 espécies e membro da família da Myrtaceae, o gênero *Eucalyptus* é uma das espécies de fonte de matéria prima para a indústria, estando adaptados aos mais diversos tipos de climas e solos, sendo utilizados para as mais diversas finalidades. Os eucaliptos podem ser plantados em parques e jardins como árvores ornamentais, suas folhas podem ser utilizadas em arranjos florais, extração de óleo e para a produção de mel através de suas folhas (HIGA; MORA; HIGA, 2000; YANG et al., 2017).

Devido as favoráveis condições edafoclimáticas e de seus avanços tecnológicos na área de silvicultura, o setor florestal brasileiro tem se destacado no plantio do *Eucalyptus*, com ciclos curtos de corte entre 5 e 7 anos e sua produtividade com uma média nacional $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo uma das mais altas do mundo (SILVA, 2011).

Xavier e Silva (2010) citam que os plantios clonais de *Eucalyptus* no Brasil vêm cada vez mais sendo ampliado, devido ao seu custo competitivo, propósitos comerciais e disponibilidade de clones para as mais diversas regiões. A Tabela 1 apresenta as áreas plantadas de árvores de eucalipto por estado no ano de 2014.

Tabela 1 – Área de árvores plantadas por Estado (ha) em 2014.

Área Plantada com árvores (ha)	
Estados	Eucalipto
MG	1.400.232
SP	976.186
PR	224.089
MS	803.699
BA	630.808
SC	112.944
RS	309.125
MT	187.090
ES	228.781
MA	211.334
PA	125.110
TO	115.564
GO	124.297
AP	60.025
PI	31.212
Outras	18.157
Total	5.558.653

Fonte: Adaptado de IBÁ (2015b, p. 29)

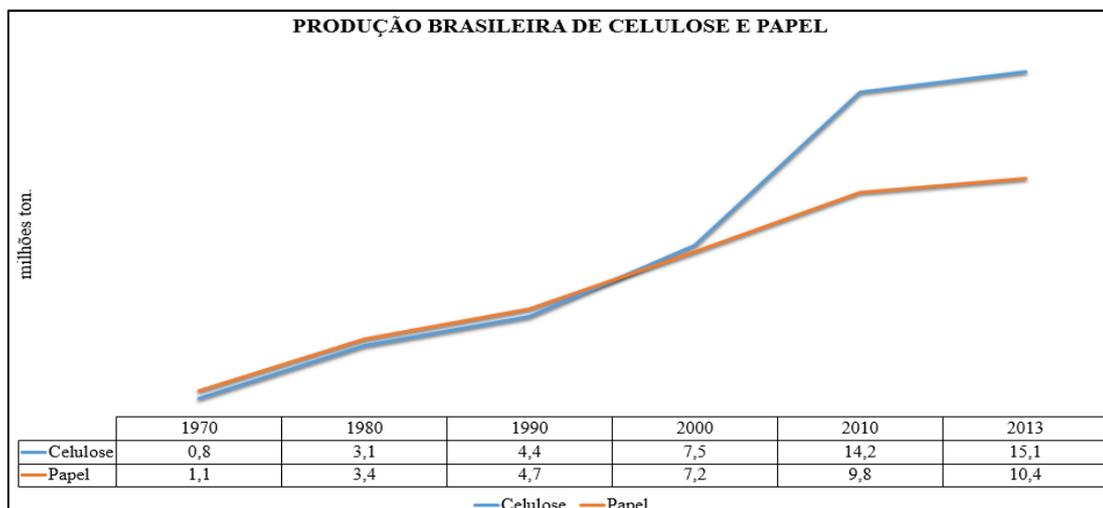
Dentre os setores que fazem uso dos plantios de madeira de florestas de eucalipto, podemos destacar o setor de celulose e papel. Esse segmento representou 34% do total de árvores plantadas no Brasil no ano de 2016, tendo como segundo e terceiro lugar os proprietários independentes e pequenos e médios produtores de programas de fomento florestal (29%) e o segmento da siderurgia a carvão vegetal (14%) (IBÁ, 2017). A Tabela 2 representa a distribuição mundial dos principais países produtores de celulose e papel no ano de 2012.

Tabela 2 – Distribuição mundial dos principais países produtores de celulose e papel em 2012 (Mil ton.).

País	Celulose (Mil ton.)	País	Papel (Mil ton.)
EUA	50.351	China	102.500
China	18.198	EUA	74.375
Canadá	17.073	Japão	26.083
Brasil	13.977	Alemanha	22.630
Suécia	11.672	Suécia	11.417
Finlândia	10.237	Coréia do Sul	11.333
Japão	8.642	Canadá	10.751
Rússia	7.519	Finlândia	10.694
Indonésia	6.710	Brasil	10.260
Chile	5.155	Indonésia	10.247
Índia	4.095	Índia	10.242
Alemanha	2.636	Itália	8.664
Demais	10.376	Demais	90.789
Total	166.641	Total	399.985

Fonte: Adaptado de BRACELPA (2014).

Esta evolução representa um aumento no crescimento médio anual para a produção de celulose de 7,1% e para a produção de papel de 5,4% (BRACELPA 2014). A Figura 2 apresenta a evolução da produção brasileira de celulose e papel no período de 1970 a 2013.



Fonte: Adaptado de BRACELPA (2014).

Figura 2 – Evolução da produção brasileira de celulose e papel.

2.2 Produção de Mudanças de Eucalipto

A produção de mudas de eucalipto é realizada principalmente pelo método de clonagem, garantindo resistência a doenças, uniformidade de talhões com alta produtividade e a conservação plena das características da planta-matriz-elite selecionada (MAFIA et al., 2005b).

O desenvolvimento de florestas clonais de eucalipto tem sido cada vez mais utilizado, de maneira a melhorar a qualidade das mudas e garantir sua homogeneidade (OLIVEIRA et al., 2012). Os clones devem ser submetidos a testes clonais antes que seu plantio ocorra em escala comercial. Isso ocorre plantando-os em diferentes condições edafoclimáticas, de forma a submetê-lo a diversas situações ambientais possíveis de ocorrer na prática, confirmando a superioridade do material genético originalmente selecionado (ALFENAS et al., 2009).

Após a realização dos testes clonais, os clones superiores escolhidos podem ser cultivados em áreas com espaçamento reduzido para a sua multiplicação clonal denominado jardim clonal. A formação do jardim clonal é realizada a partir do corte raso de plantas com 2 a 4 meses de idade, que após o surgimento das brotações, são podadas, deixando-se um ou mais alimentadores, ou pulmões por cepa. Após a remoção dos drenos ocorridos de 30 a 40 dias, as novas brotações podem ser colhidas para a estaquia, as quais a partir de então serão coletadas

de forma contínua e seletiva no período de 7 a 15 dias, estando após 90 dias do seu estaqueamento aptas para o plantio comercial (ALFENAS et al., 2009). O Quadro 1 apresenta as principais etapas do processo de Produção de mudas de eucalipto.

Quadro 1 – Principais etapas do processo de produção de mudas de eucalipto (Adaptado de HOPPE et al., 2004).

Etapas		Função
Jardim clonal		Local destinado à produção de microestacas, formado por calhetões cheios de areia, no qual são plantadas as microcepas, utilizando fertirrigação por gotejamento.
Coleta da microestaca		Local destinado para a coleta das microestacas, que originarão as mudas.
Estaqueamento		Ambiente onde ocorre o plantio das microestacas em tubetes contendo substrato.
Casas de vegetação		Ambiente protegido com controle climático mínimo necessário para enraizamento das microestacas.
Casas de sombra		Ambiente semi-protegido, com telas de sombreamento nas laterais e teto, e filme de polietileno no teto, destinado a climatização das mudas recém-saídas da casa de vegetação.
Pleno sol		Área sem cobertura destinada a conter as mudas durante as fases de crescimento e rustificação.

Com a crescente demanda de produtos florestais, ocorre a necessidade de produção de mudas em escala comercial e consequentemente o aumento de viveiros pelo Brasil (CALDEIRA et al., 2016). Considerado a base do processo produtivo florestal, o viveiro florestal produz mudas de espécies florestais, sendo responsável pelo abastecimento de mudas para arborização urbana e de parques, implantação de povoamentos, recuperação de áreas

degradadas, entre outros fins, podendo ser classificados como viveiros temporários ou permanentes (CARNEIRO, 1995; TATAGIBA et al., 2015).

Os viveiros temporários são destinados para a produção em um período limitado, em uma determinada área, sendo desativados após terem desempenhados suas respectivas finalidades. Entretanto, os viveiros permanentes são fixos, produzindo mudas de maneira contínua, destinados a produção de mudas durante um longo período de anos ou para comercialização (CARNEIRO, 1995; MACEDO, 1993).



Fonte: Serygma Soluções Ambientais (2016).

Figura 3 – Exemplo de um viveiro florestal de produção de eucalipto.

Os viveiros também podem ser classificados quanto a proteção do sistema radicular (raízes), sendo classificados como viveiros com mudas em recipientes e viveiros com mudas em raiz nua. As mudas produzidas em recipientes são envolvidas pelo substrato, que está inserido dentro dos recipientes, envolvendo o sistema radicular da muda e proporcionando sua proteção. Já as mudas com raiz nua, no momento de seu plantio não possuem proteção em seu sistema radicular, sendo semeadas diretamente nos canteiros e retiradas para o plantio, permanecendo o solo onde foi produzida no viveiro (CARNEIRO, 1995).

Na produção de mudas clonais de eucalipto, um dos problemas atuais está relacionado a baixa qualidade e malformação do sistema radicular e a ausência de padronização de critérios e procedimentos para avaliação de sua qualidade. Uma muda com boa qualidade, deve ser obtida a partir de resultados experimentais de cada material genético (ALFENAS et al., 2009), sendo apresentado no Quadro 2 os critérios para sua seleção:

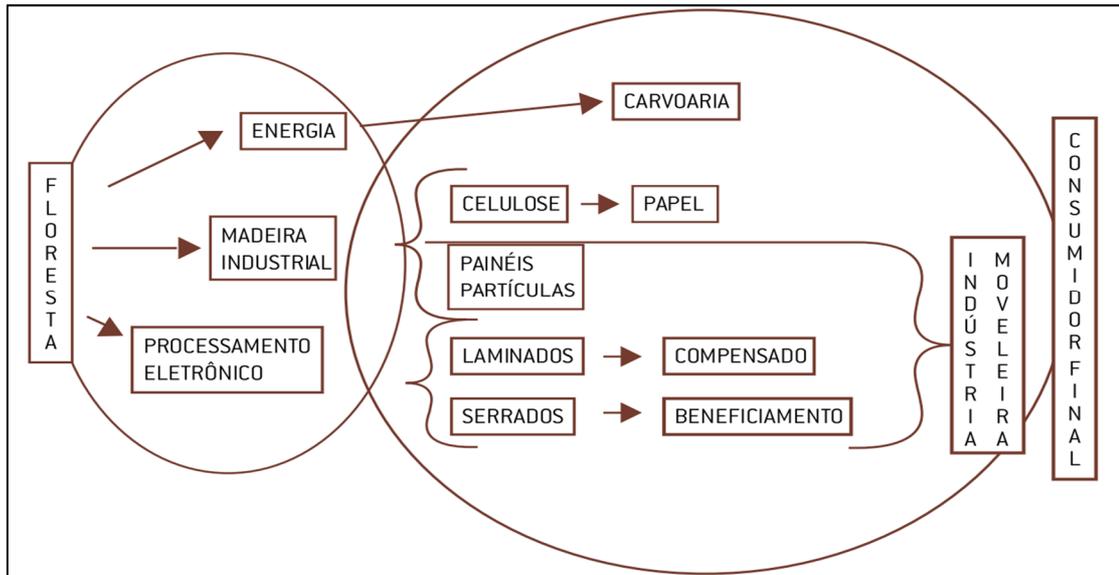
Quadro 2 – Critérios práticos de seleção para uma boa muda de eucalipto (ALFENAS et al., 2009).

Característica	Critérios
Altura	20 – 35 cm.
Diâmetro de coleto	Superior ou igual a 4 mm.
Número de folhas	Quatro ou mais pares de folhas completamente expandidas.
Sanidade	Ausência de sintomas aparentes de doenças no caule, nas folhas e nas raízes.
Nutrição	Ausência de sintomas de desequilíbrio nutricional.
Raiz	Sistema radicular contendo pelo menos quatro raízes, bem distribuídas na periferia da estaca enraizada e com alta atividade fisiológica, evidenciada pela coloração branca das radículas.
Rusticidade	Grau de maturidade parcial dos tecidos foliares e caulinares.
Idade	As mudas não podem permanecer por longos períodos à espera do plantio. Normalmente, entre 70-80 dias, as mudas podem ser expedidas para o campo.
Mudas contendo apenas uma haste principal.	-----
Mudas sem danos mecânicos	-----

As avaliações de qualidade das mudas de eucalipto são realizadas durante o seu envio para o plantio, adotando como critério prático um nível de 95% de atendimento de cada critério preestabelecido (ALFENAS et al., 2009).

2.3 Silvicultura

O Setor Florestal Brasileiro (SFB) é composto basicamente pelas cadeias produtivas de madeira industrial (celulose e papel e painéis de madeira reconstituída), de madeira de energia (carvão vegetal, lenha e cavaco) e do processamento mecânico de madeira (serrados e compensados), sendo o segmento de celulose e papel o que possui maior expressão, contribuindo significativamente para o desenvolvimento do Brasil (VALVERDE et al., 2012). A Figura 4 apresenta o fluxograma da cadeia produtiva da madeira.



Fonte: Valverde et al. (2012).

Figura 4 – Fluxograma da cadeia produtiva da madeira.

A silvicultura é responsável pelas atividades ligadas ao cultivo de árvores para produção de madeira, sendo aplicada como um dos mais importantes meios para obtenção de matéria prima para o atendimento de diversas demandas, podendo ser crucial para a sustentabilidade do meio rural (IPEF, 2017; RAMOS et al., 2006). Parte da atividade de silvicultura, o reflorestamento é a atividade de plantio de essências florestais, incluindo a extração de produtos de árvores plantadas (BUAINAIN; BATALHA, 2007).

Para o setor de celulose e papel, as formas de abastecimento de madeira são provenientes de terras próprias da empresa e arrendamentos, destacando-se os processos de parceria e fomento florestal. O processo de parceria florestal consiste em um acordo onde o produtor, mediante o pagamento de uma porcentagem na produção de madeira, cede a área a empresa para ser cultivada. Entretanto, para o fomento florestal a empresa realiza o fornecimento das mudas, assistência técnica, financiamento, insumos, incentivo fiscal, entre outros ao produtor (INTERNATIONAL PAPER DO BRASIL - IPB, 2014).

Antes da realização do plantio das mudas, se faz necessário o preparo da área do plantio e de seu solo, de maneira a disponibilizar a quantidade suficiente de água e nutrientes para o estabelecimento mais rápido das mudas, através das seguintes etapas: Limpeza do talhão, Controle preventivo de formiga e cupins e subsolagem na linha do plantio (RAMOS et al., 2006; SILVA; CASTRO; XAVIER, 2008; SIMÕES; DA SILVA, 2012).

A limpeza do talhão deve ser realizada com antecedência através da roçada, capina manual ou química (uso de herbicidas), evitando-se as queimadas desnecessárias. Caso a

vegetação esteja mais alta, como gramíneas, samambaias, sapé, grama, capim gordura, colonião, braquiária, entre outras, recomenda-se a utilização da capina química por apresentarem uma atividade mais eficiente e barata (RAMOS et al., 2006; SILVA; CASTRO; XAVIER, 2008), sendo que a eliminação das plantas arbóreas devem ser realizadas de acordo com a legislação vigente (RAMOS et al., 2006).

Já o controle preventivo de formiga deverá ser realizado entre 30 e 60 dias antecedendo o plantio, onde deverá ser realizado a localização dos formigueiros ou carreiros (RAMOS et al., 2006).

Outros sérios prejuízos observados nos plantios estão relacionados aos cupins. Sua prevenção pode ser realizada com o mergulho da bandeja com tubetes em uma calda cupinicida durante trinta segundos, encharcando o caule das mudas até o nível das primeiras folhas e também todo o seu sistema radicular. Para o caso de cupim de montículo, poderá ser retirado na forma manual ou mecanicamente, em períodos de seca e com sol bem quente, fragmentando em pedaços pequenos ou através da aplicação de cupinicida no interior de cada montículo (SILVA; CASTRO; XAVIER, 2008).

Em seguida para o plantio de espécies florestais, o preparo de solo visa disponibilizar quantidades suficientes de água e nutrientes para o mais rápido estabelecimento das mudas. Essas técnicas visam o crescimento mais rápido do sistema radicular, facilitando a absorção de água e nutrientes e evitando a competição de plantas indesejáveis próximas, durante um período suficientemente longo (BAPTISTA; LEVIEN, 2010; GATTO et al., 2003).

Na sequência o processo de subsolagem tem como objetivo principal romper as camadas dos solos maiores que 40 cm de profundidade, provocando o rompimento do solo para cima, frente e lados, formando na linha de preparo um corpo triangular tridimensional (SIXEL, 2009). A consolidação desse processo na área florestal se fez em razão de suas vantagens operacionais (maior capacidade de trabalho) e econômicas (menor custo) e de seus efeitos benéficos para as plantas (PAES et al., 2013).

2.3.1 Plantio e Replântio

O processo de plantio se caracteriza pela colocação da muda no campo, podendo ser realizado na forma manual, mecanizado ou semi mecanizado, dependendo da disponibilidade de equipamentos, mão de obra, topografia e recursos financeiros (REMADE, 2007).

O plantio na forma manual é aconselhado quando as áreas de plantio são declivosas ou onde os usos de máquinas agrícolas são inviáveis. Para os plantios mecanizado ou semi

mecanizado é utilizado onde a topografia é plana, possibilitando a utilização de plantadoras traquinadas por tratores (REMADE, 2007).

Durante o processo de plantio, ocasionalmente podem ocorrer falhas de forma que a sobrevivência das mudas não é de 100,00%. Após a realização do plantio no período de trinta a quarenta dias, é recomendado percorrer as áreas visando avaliar sua quantidade falhas e caso esse valor exceda a 5,00%, é necessário a realização do replantio e reposição das mudas. Caso esse valor de porcentagem de falhas não exceda, não há necessidade de realização do replantio, atentando-se que as falhas não estejam concentradas (SILVA; CASTRO; XAVIER, 2008). A operação de replantio é bastante onerosa e deve ser realizada no máximo a 30 dias após o plantio, empregando-se mudas com padrões de qualidade similares das utilizadas inicialmente (PAIVA et al., 2011).

2.3.2 Adubação de base e Espaçamento

A adubação de base é responsável pelo crescimento inicial rápido (“arranque”), podendo ser realizada antes ou após o plantio. Sua vantagem está relacionada ao menor custo de capinas e roçadas, escape do ataque de formigas e condições mais adequadas quanto a danos e geadas (PAIVA et al., 2011; RAMOS et al., 2006).

A forma de aplicação do adubo pode ser realizada no fundo ou ao lado da cova de plantio, de maneira a evitar o contato direto do torrão da muda com o produto químico (RAMOS et al., 2006). Sua aplicação deverá ser realizada com o auxílio de dosadores, evitando assim a variação na quantidade de adubo a ser aplicado em cada muda (PAIVA et al., 2011).

Quanto ao espaçamento, entende-se como o espaço ou área necessária para o desenvolvimento e crescimento das plantas, sendo definido em função da espécie, grau de melhoramento, fertilidade do solo e objetivos do plantio (SILVA; CASTRO; XAVIER, 2008). No Brasil, os espaçamentos mais utilizados são de 3,00 metros (m) entre as linhas de plantio e 2,00 metros (m) entre as plantas na linha de plantio, ou seja, 3,00 m x 2,00 m, para mudas produzidas utilizando-se sementes. Quando são utilizadas mudas clonais, o espaçamento utilizado é de 3,00 m x 3,00 m (PAIVA et al., 2011).

O espaçamento das mudas depende principalmente do regime de chuvas e da fertilidade do solo, sendo que em regiões com período seco inferior a 60 dias, utiliza-se espaçamentos menores, enquanto em regiões com secas maiores, acima de 60 dias, os espaçamentos devem ser mais abertos (WILCKEN et al., 2008). A Tabela 3 apresenta os espaçamentos mais utilizados para plantios de eucalipto em função da sua finalidade.

Tabela 3 – Espaçamentos mais utilizados para plantios de eucalipto, de acordo com sua finalidade.

Espaçamento (m)	Nº de plantas por hectare (ha)	Finalidade do plantio
3,00 x 1,50	2222	Lenha, carvão, mourões e celulose
3,00 x 2,00	1667	Lenha, carvão, mourões e celulose
3,00 x 2,50	1333	Lenha, carvão, mourões, celulose e serralaria
3,00 x 3,00	1111	Celulose, carvão e serraria

Fonte: WILCKEN et al. (2008).

O espaçamento e a qualidade do local influenciam decisivamente na produção florestal. Locais com solos mais férteis tendem a suportar um maior número de árvores que em locais mais pobres. Deve-se atentar que essa quantidade maior de árvores por unidade de área levará a uma colheita precoce, uma vez que propicia uma menor eficiência de utilização de nutrientes, tornando-se desinteressante (PAIVA et al., 2011).

Utilizando espaçamentos mais largos, a densidade de plantas será menor e ocorrerá uma menor produção de madeira por unidade de área, de maneira que as árvores terão um maior diâmetro em relação as árvores plantadas em espaçamentos estreitos. Caso a densidade de plantio ocorra em espaçamentos menores, as toras serão de pequeno diâmetro e mais finas, havendo a necessidade de desbastes ou corte em idades mais jovens e ocorrência de árvores denominadas mortas, afetando o volume final de madeira (SILVA; CASTRO; XAVIER, 2008).

2.3.3 Colheita da madeira

Inicialmente poucas empresas utilizavam a mecanização em suas operações de colheita florestal no Brasil. Na década de 40, a colheita florestal não fazia uso de máquinas, iniciando a modernização de suas operações na década de 70, em virtude da indústria brasileira começar a produzir maquinários de portes leve e médio (MACHADO; SILVA; PEREIRA, 2008).

A operação de corte da madeira consiste na separação da árvore da cepa a partir da gema de brotação, sendo incluídos nesta operação as seguintes etapas: derrubada, desgalhamento, traçamento e empilhamento (LEITE et al., 2014).

O ciclo de corte da madeira está relacionado ao objetivo final da madeira, sendo que a condução dos talhões comumente é realizada aos sete, quatorze e vinte um anos (SILVA; CASTRO; XAVIER, 2008). Também chamada de rotação florestal, a idade de corte de um povoamento é uma das fases mais importantes no conjunto de técnicas de manejo e planejamento florestal (RESENDE et al., 2004) e compreende a idade que vai do plantio até o

corte da floresta, indicando a idade na qual povoamentos de mesma idade são planejados para serem colhidos (SILVA; RIBEIRO, 2006). Frequentemente, a madeira de eucalipto para a produção de celulose, chapas de fibras, painéis, lenhas e carvão é utilizada numa idade mais nova, em geral de seis a oito anos (SILVA; CASTRO; XAVIER, 2008).

Para as operações que fazem parte da colheita florestal, existem diversas máquinas disponíveis no mercado. Basicamente, existem máquinas de colheita florestal para a utilização em dois sistemas: Sistemas de toras curtas (*cut-to-length*) e o sistema de toras longas ou árvores inteiras (*full-tree*) (MACHADO; SILVA; PEREIRA, 2008). O Quadro 3 apresenta alguns tipos de máquinas e equipamentos e suas finalidades utilizados para a colheita florestal.

Quadro 3 – Máquinas utilizadas nas diversas etapas de colheita florestal (Adaptado de MACHADO; SILVA; PEREIRA, 2008).

Máquina	Finalidade
<i>Harvester</i>	Máquina que pode simultaneamente executar operações de derrubada, desgalhamento, traçamento, descarregamento e empilhamento de madeira.
<i>Feller-buncher</i>	Trator florestal cortador-acumulador, que efetua o corte e o empilhamento de árvores.
<i>Forwarder</i>	Máquina projetada para ser utilizada no sistema de toras curtas, executando a extração de madeira da área de corte para a margem da estrada ou para o pátio intermediário.
<i>Skidder</i>	Máquina projetada para trabalhar nos sistemas de toras compridas, realizando o arraste de feixes de toras ou árvores da área de corte até a margem das estradas ou pátio intermediário.
Carregador Florestal	Equipamento que realiza o carregamento e descarregamento da madeira ligados ao transporte florestal, sendo realizado na margem da estrada, no pátio intermediário e no local de consumo.

2.3.4 Inventário Florestal

Nas atividades de manejo florestal se faz necessário o conhecimento de inúmeras características da floresta, sendo imprescindível quando é buscado o manejo sustentado de produção de madeira. Podemos obter tais informações através do inventário florestal, o qual numerosas variáveis podem ser diretamente quantificadas (FRANCEZ et al., 2010).

O inventário florestal é o processo que visa informar os recursos florestais de determinada área através da medição parcial da população, podendo ser classificado de acordo com a coleta dos dados, podendo ser obtido por procedimentos de amostragem ou pela enumeração total das árvores, sendo um importante instrumento para identificar o potencial produtivo de uma floresta (CESARO et al., 1994; FICK, 2011; FRANCEZ et al., 2010).

Embora isenta de erros amostrais, o censo ou enumeração total só se torna praticável em áreas pequenas e de grande importância econômica, em virtude de seu alto custo de operação. Entretanto, a amostragem pode ser realizada segundo vários métodos, devendo ser aplicados de acordo com a característica da população de forma a obter menor custo e maior precisão (CESARO et al., 1994).

Sua avaliação visa quantificar e qualificar os recursos quanto aos seus dados dendométricos e também quanto as espécies vegetais ocorrentes, apresentando informações qualitativas e quantitativas dos produtos madeireiros e não madeireiros (ARAUJO, 2006; FRANCEZ et al., 2010).

A aplicação dos inventários florestais pode ocorrer em diversos tipos de levantamento, podendo por exemplo ser utilizado para uma análise após a realização de atividades exploratórias que podem ter causado danos a vegetação ou para a realização de reconhecimento de uma área a ser explorada (FRANCEZ et al., 2010).

Qualquer propriedade florestal cuja sua finalidade de gestão seja a produção de madeira ou volume de madeiras serradas, são fundamentados através de tabelas de volumes, ou seja, volumes médios tabulados de árvores com diâmetros e alturas conhecidas. Sua metodologia geral de construção dessas tabelas de volume é correlacionando a altura com o diâmetro da árvore (SCHUMACHER; HALL, 1933). As variáveis independentes geralmente utilizadas para a estimação do volume de madeira são: diâmetro da altura do peito (DAP), altura e forma. É de extrema importância que as variáveis altura e DAP coletadas sejam mensuradas com bastante precisão (FRANCEZ et al., 2010; GAROSI; GORENSTEIN; GOMES, 2008).

O diâmetro é a variável mais frequentemente medida em um inventário florestal, expressa em centímetros ou milímetros, sendo o diâmetro da altura do peito (altura de 1,30 m do nível do solo) a medição mais comum realizada nas árvores em pé. A altura total de uma árvore é definida como a distância medida sobre o eixo da árvore, sendo uma importante variável, pois juntamente com o diâmetro da altura do peito (DAP), é possível estimar outras importantes variáveis da árvore, como o volume de madeira, lenhas e biomassa (ARANDA et al., 2003).

O volume de madeira é a expressão quantitativa mais importante e utilizada para o conhecimento do potencial da floresta, que muitas vezes é dificultada pela variação de sua forma, podendo ser estimados através de relações estabelecidas previamente entre eles e dimensões de fácil medição (FRANCEZ et al., 2010; GAROSI; GORENSTEIN; GOMES, 2008), podendo ser calculado conforme a Equação (1) proposta por Schumacher e Hall (1933).

$$V = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot A^{\beta_2} \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Onde:

- V representa o volume em metro cubico (m^3);
- β_0, β_1 e β_2 representam os parâmetros;
- DAP representa o diâmetro da altura do peito a 1,30 metros de altura a partir do solo;
- A representa a altura total da árvore em metros (m);
- ε representa o erro aleatório.

2.3.5 Custos estimados no plantio do eucalipto

Com o crescimento do setor no mercado brasileiro, a produção de eucalipto para celulose tornou-se uma opção mais segura e com um grande estímulo para a produção de eucalipto no Brasil (FILHO; AGUIAR; TORRES, 2014).

Os custos para o plantio do eucalipto podem variar em função das condições da propriedade do pequeno produtor (disponibilidade de mão de obra, área, etc.) e também de sua região. Os custos estimados das operações de mercado, com espaçamentos de 3,00 m x 2,00 m, com mudas de valores entre R\$ 0,20 a 0,30 por muda, localizados na região central do estado de São Paulo, para ciclo de produções de 7 anos (WILCKEN et al., 2008) são apresentados conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Operações de plantio e seus custos estimados no ano de 2008 (R\$/ha).

	Atividades	Mão de obra	Insumos	Total
Pré plantio	Controle de formigas	15,00	10,00	25,00
	Correção do solo	50,00	136,00	186,00
	Construção de bacias de retenção (máquina)	90,00	0,00	90,00
	Controle de plantas daninhas	73,00	40,00	113,00
	Subsolagem com adubação de base	130,00	0,00	130,00
	Subsolagem sem adubação de base	100,00	0,00	100,00
Plantio	Controle de formigas sistemático	15,00	10,00	25,00
	Plantio	120,00	*	120,00
	Irrigação	100,00	0,00	100,00
	Adubação de base	90,00	130,00	226,00
Manutenção	Controle de formigas	15,00	5,00	20,00
	Replanteio (acima de 5% de perda de plantio)	20,00	30,00	50,00
	Adubação de cobertura com 3 meses	90,00	120,00	210,00
	Coroamento	95,00	0,00	95,00
	Controle de daninhas com 6 meses	73,00	40,00	113,00
	Adubação de cobertura com 6 meses	73,00	120,00	193,00
	Controle de formiga com 6 meses	15,00	5,00	20,00
	Correção do solo	73,00	40,00	113,00
	Controle de daninhas com 12 meses	90,00	120,00	210,00
	Adubação de cobertura com 12 meses	55,00	20,00	75,00
	Gasto anual 2º ano	55,00	20,00	75,00
	Gato anual 3º ano	55,00	20,00	75,00
	Gato anual 4º ano	55,00	20,00	75,00
	Gato anual 5º ano	55,00	20,00	75,00
Custos (R\$/ha)				2.514,00

* Depende do preço da muda adquirida.

Fonte: Adaptado de WILCKEN et al. (2008).

Em algumas ocasiões se faz necessário a atualização de valores, visto que a todo momento surgem oportunidades de investimento. Para se definir a viabilidade dos investimentos, se faz necessário uma estimativa de qual será o resultado esperado e que seus valores sejam medidos em um mesmo instante de tempo, podendo se decidir no início (Valor presente - VP) ou final do investimento (Valor futuro - VF) (MARQUES, 2013).

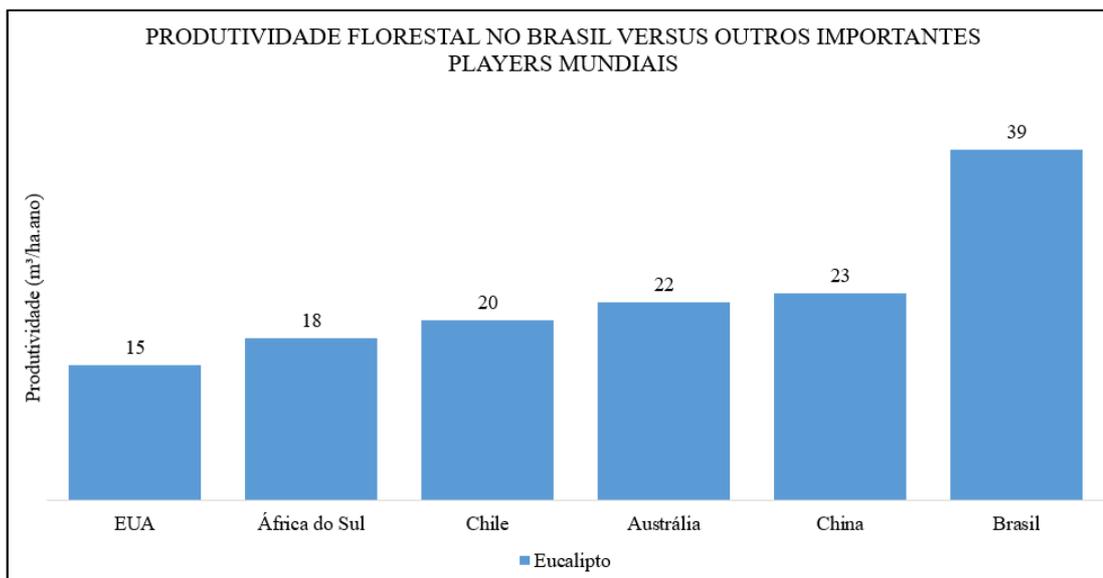
Seja qual for o método utilizado e aplicando-o de maneira adequada, seu resultado será o mesmo para ambos. Desse modo o conceito de Valor futuro (VF) é obtido de maneira que os resultados e a capitalização de seu investimento inicial adquiridos ao longo do processo, sendo seus valores conduzidos para o momento final do investimento (MARQUES, 2013). O método algébrico para o cálculo do valor futuro para um único montante (GALLAGHER; ANDREW, 2007) é apresentado na Equação (2):

$$VF = VP \times (1 + k)^n \quad (2)$$

Onde:

- VF representa o Valor futuro;
- PV representa o Valor presente;
- k representa a taxa de juros;
- n representa o número de períodos.

Investimentos visando melhoramento genético e pesquisas vem ocorrendo a décadas, de forma que as florestas plantadas estão produzindo cada vez mais madeira em uma mesma área de cultivo, levando ao aumento de sua produtividade (BRACELPA, 2016). A Figura 5 apresenta a produtividade florestal em $m^3/ha.ano$, no Brasil comparado aos outros importantes *players* mundiais.



Fonte: Adaptado de IBÁ (2015b, p. 32)

Figura 5 – Produtividade florestal no Brasil *versus* outros importantes *players* mundiais.

Buscando a melhoria das técnicas de manejo florestal e genética de seus plantios, as empresas brasileiras historicamente vem priorizando a manutenção de investimentos em desenvolvimento e pesquisa. Esta estratégia demonstra o sucesso espantoso da produtividade do eucalipto no Brasil no período de 1970 a 2008, sendo de 5,7% ao ano comparados ao da América Latina de 2,6%, ao conjunto de países em desenvolvimento 1,9% e 0,9% dos países desenvolvidos (IBÁ, 2015b).

2.4 Pesquisa Operacional na tomada de decisão

A Pesquisa Operacional (PO) consiste na aplicação para problemas complexos, de métodos científicos aplicados na gestão de grandes sistemas (exército, negócios, indústria, materiais, máquinas, etc.) (KIRBY, 2003). Por se tratar de uma ciência interdisciplinar, a PO desempenha papel importante na tomada de decisão de problemas complexos do mundo real nos ramos da ciência e engenharia (KUTER; WEBER; AKYÜREK, 2017).

Com o intuito de solucionar problemas de caráter logístico, tático e militar, a PO surge na Inglaterra durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), onde foram convocados um grupo de cientistas, buscando decidir a forma mais eficaz de utilização dos recursos militares limitados (FÁVERO; BELFIORE, 2013). Esses problemas encontrados durante a guerra eram muito similares aos encontrados nas empresas, de maneira que os métodos de PO não demoraram a ser rapidamente aceitos (COLIN, 2015).

Seu sucesso e ganho durante a guerra foram tão grandes, que uma vez terminado, esses cientistas e suas novas metodologias foram transferidos para as empresas, visando ajudar nas tomadas de decisões de grande complexidade. Em alguns países onde as preocupações com os fundamentos teóricos foram prelevadas, a PO desenvolveu-se como Ciência da Gestão ou da Decisão, ou a predominância nas aplicações, sendo denominados como Engenharia de Produção ou Industrial (SOBRAPO, 2016).

Segundo Marins (2011, p. 13), os principais aspectos da Pesquisa Operacional podem ser resumidos em:

- Possui um amplo espectro de utilização, no governo e suas agências, indústrias e empresas comerciais e de serviço;*
- É aplicada a problemas associados à condução e a coordenação de operações ou atividades numa organização;*
- Adota um enfoque sistêmico para os problemas;*
- Busca a solução “ótima” para o problema;*
- Usa uma metodologia de trabalho em equipe (engenharia, computação, economia, estatística, administração, matemática, ciências comportamentais). ”*

No Brasil, a PO iniciou-se na década de 60, tendo seu primeiro simpósio brasileiro realizado em 1968 no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), em São José dos Campos. Posteriormente, foi fundada a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), a qual publica periódicos de Pesquisa Operacional a mais de 30 anos (ARENALES et al., 2015).

2.4.1 Modelagem para Tomada de Decisão

Um modelo representa de maneira simplificada um sistema real, podendo ser um projeto futuro ou já existente, expresso na forma de equações matemáticas que visam simular a realidade (COLIN, 2015; FÁVERO; BELFIORE, 2013).

No processo de tomada de decisão, o comportamento de um sistema real é influenciado por diversas variáveis, tornando-se necessária sua simplificação à partir de um modelo, devido a sua complexidade e de maneira que as principais variáveis envolvidas no projeto ou sistema que se pretende controlar ou entender sejam consideradas em sua construção (FÁVERO; BELFIORE, 2013).

O modelo para Tomada de Decisão é composto pelos seguintes elementos: Variáveis de decisão, Parâmetros, Função objetivo e Restrições (COLIN, 2015; FÁVERO; BELFIORE, 2013), conforme apresentado na Figura 6.

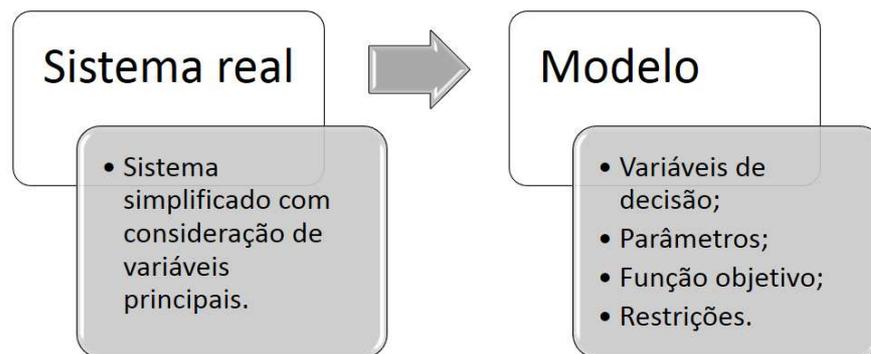


Figura 6 – Modelagem a partir de um sistema real.

Fonte: Adaptado de Colin (2015) e Fávero & Belfiore (2013).

O detalhamento dos elementos que compõe o modelo para Tomada de Decisão está detalhado conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Modelo para Tomada de decisão (COLIN, 2015; FÁVERO; BELFIORE, 2012)

Elementos	Definição
Variáveis de decisão	As variáveis de decisão são valores desconhecidos, ou incógnitas, que são determinados pela solução do problema e devem assumir valores não negativos, podendo ser classificadas como variáveis contínuas, discretas ou binárias. Essas variáveis utilizadas no modelo são controladas pelo tomador da decisão, testando-se diversos valores, de forma a encontrar a solução do problema. As variáveis contínuas são representadas por valores quaisquer contidos no intervalo dos números reais, podendo citar como exemplos a quantidade de um produto produzido (em litros ou kilogramas) ou a porcentagens de um ativo a ser alocado em uma carteira de investimento. Já as variáveis discretas são representadas por valores contidos dentro de um conjunto finito de valores, proveniente de determinada contagem. Como exemplo, podemos citar uma quantidade ideal de funcionários em um turno de trabalho ou as unidades que deverão ser fabricadas de um determinado tipo de caminhão. Por fim as variáveis binárias, também conhecidas como <i>dummy</i> , que podem assumir os valores 0 ou 1. Como exemplos dessas variáveis podemos citar a fabricação ou não de um determinado produto ou percorrer ou não um determinado roteiro.
Parâmetros	Os parâmetros são os valores conhecidos do problema. Podemos citar como exemplo de parâmetros o custo ou lucro de um produto fabricado ou a margem de contribuição unitária referente à venda ou fabricação de um eletrodoméstico. Seus valores são admitidos como fixos e o tomador da decisão não possui controle sobre estas variáveis do modelo.
Função Objetivo	Uma função objetivo é caracterizada por uma função matemática que origina o valor alvo a ser alcançado, em função dos parâmetros e das variáveis de decisão. Essa função pode ser apresentada de forma a maximizar ou minimizar, sendo o principal objetivo do tomador da decisão.
Restrições	As restrições são caracterizadas como um conjunto de equações e inequações em que as variáveis de decisão devem atender. Estas restrições são adicionadas de forma a considerar as limitações físicas do sistema, afetando diretamente os valores das variáveis de decisão. Essas regras associadas ao modelo nos dizem quais são as limitações e o que podemos ou não podemos fazer com os recursos ou atividades.

2.5 Programação Matemática e Linear

Para a obtenção de uma solução ótima para problemas através de minimização e maximização de uma função objetivo, podemos utilizar a programação matemática. As variáveis da função objetivo encontram-se sujeitas a condições matemáticas, na forma de desigualdades e equações, as quais são denominadas de restrições. (LUSTOSA et al., 2008). De tal maneira que tanto os critérios como as restrições de um problema são funções lineares, esta ampla classe de tarefas de otimização descreve uma Programação Linear (PL) (DASGUPTA; PAPADIMITRIOU; VAZIRANI, 2010).

A Programação Linear (PL) é uma das principais ferramentas que vem sendo difundida e aplicada na Pesquisa Operacional. Sua função objetivo e todas as restrições de seu modelo são representadas por funções lineares, sendo adicionalmente suas variáveis de decisão todas contínuas, de maneira a assumir quaisquer valores em um intervalo de números reais (FÁVERO; BELFIORE, 2012).

Em 1939, Leonid Kantorovitch foi um dos precursores da PL, tendo recebido no ano de 1975 o prêmio Nobel de Economia. Durante a Segunda Guerra Mundial e nos anos que a sucederam, ocorre-se o seu grande desenvolvimento em função da necessidade de investigação e de melhorar a forma das tomadas de decisão na gestão dos recursos logísticos nas operações das forças armadas (CARVALHO, 2014).

São conseguidos no campo da PL grandes desenvolvimentos teóricos entre os anos de 1939 e 1951. Von Neumann, Harold Kuhn e A. W. Tucker. George B. Dantzig formularam o algoritmo Simplex e foram desenvolvidas por T. C. Koopmans, A. Charnes e W. W. Cooper formulações em PL (CARVALHO, 2014).

A PL visa solucionar problemas de maneira a encontrar os valores ótimos das variáveis x_1, x_2, \dots, x_n contínuas, visando minimizar ou maximizar uma função linear z , sujeita a um conjunto de restrições m de desigualdade ou igualdade (FÁVERO; BELFIORE, 2012).

Para Colin (2015, p. 6), um modelo geral de PL contempla:

- “As variáveis as quais temos poder para alterar, ou seja, variáveis de decisão;
- Os parâmetros, que são variáveis e os quais não temos poder para alterar;
- A função objetivo, que define e mensura o principal objetivo;
- As restrições que combinam variáveis e parâmetros para estabelecer regras, relações e limites do modelo;
- Uma “montagem” ou modelo que contempla parâmetros, variáveis, função objetivo e restrições e que representa o problema real em análise utilizando somente funções lineares.”

Um problema de PL consiste em uma função linear que possui diversas variáveis, onde ocorre a minimização ou maximização dessa função, sujeita a um conjunto de restrições lineares. Esse problema pode ser expresso de forma genérica (CLÍMACO; ANTUNES; ALVES, 2003), conforme apresentado nas Equações (3), (4) e (5).

$$\max (\min) \quad z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (3)$$

$$\text{s.a:} \quad \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \quad \left\{ \begin{array}{l} \leq \\ \geq \\ = \end{array} \right\} b_i, \quad i=1, \dots, m \quad (4)$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1, \dots, n \quad (5)$$

Onde:

- n representa o número de variáveis de decisão;
- m representa o número de restrições funcionais, sendo suas variáveis sujeitas a restrições de negatividade ($x_j \geq 0$);
- c representa o vetor $1 \times n$, (c_1, c_2, \dots, c_n) ;
- x representa o vetor $n \times 1$, (x_1, x_2, \dots, x_n) ;
- b representa o vetor $m \times 1$, (b_1, b_2, \dots, b_m) .

Para se resolver um problema matemático são utilizados algoritmos que resolvam problemas de PL, sendo o mais comum o modelo criado nos anos 50 por Dantzing, denominado modelo ou método simplex (COLIN, 2015).

Na programação matemática, de tal modo como na PL, utiliza-se o termo solução para determinar os valores das variáveis de decisão, que podem apresentar soluções viáveis, inviáveis e ótimas. A solução viável é aquela que os valores das variáveis de decisão atendem as restrições, enquanto a solução inviável pelo menos uma das restrições não é atendida. A solução ótima é aquela solução que na maximização define o maior valor dentro os valores existentes, enquanto na minimização define o menor valor dentre os existentes, e que em ambas são soluções viáveis (COLIN, 2015).

2.6 Produtividade e Eficiência

O conceito de produtividade está relacionada à forma de utilização de recursos para a realização de sua produção, sendo representada pela relação entre a sua produção (saídas) e o insumo (entradas) utilizados (FERREIRA; GOMES, 2009; TITKO; STANKEVIČIENĖ; LĀCE, 2014), conforme apresentada na Equação (6).

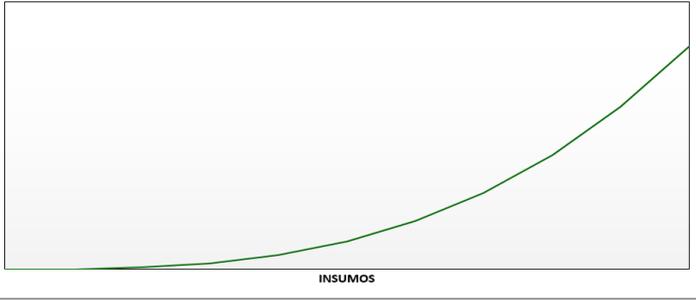
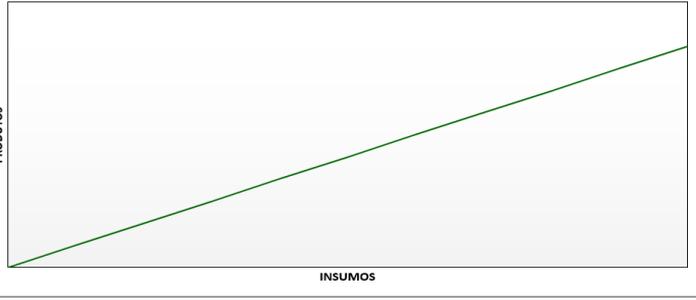
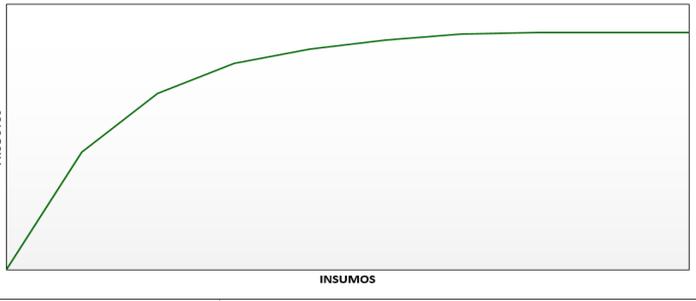
$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produção}}{\text{Insumo}} \quad (6)$$

Já o conceito de eficiência está ligado à utilização correta dos recursos disponíveis (meios de produção), ou seja, a relação entre os produtos resultantes pelos recursos utilizados (CHIAVENATO, 2016), conforme apresentado pela Equação (7).

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Produtos resultantes}}{\text{Recursos utilizados}} \quad (7)$$

Para análise de eficiência, de maneira a definir as relações entre insumos e produtos, faz-se importante a utilização das curvas de produção. Podemos considerar para a relação entre insumos e produtos as seguintes hipóteses (KASSAI, 2002), conforme apresentado no Quadro 5.

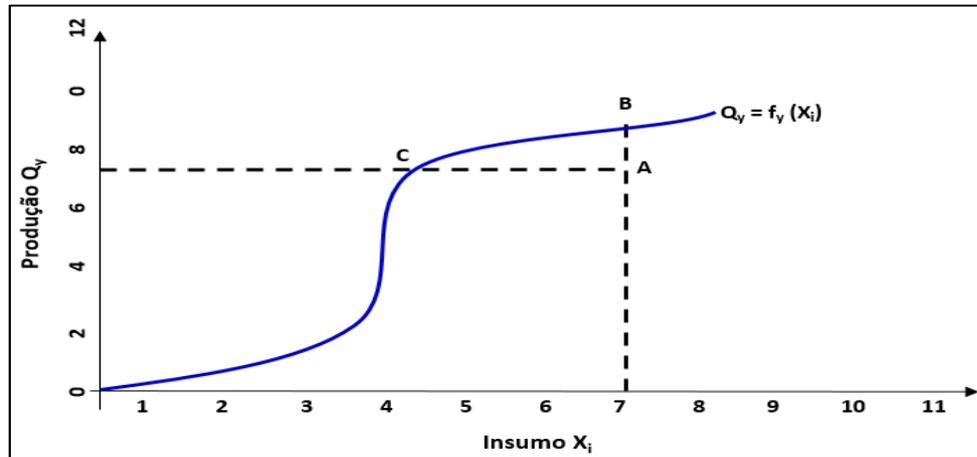
Quadro 5 – Hipóteses de retornos de escala (KASSAI, 2002).

<p><u>Retornos crescentes de escala:</u> Nos retornos crescentes de escala, caso ocorra acréscimo no consumo de recursos, ocorre um aumento mais que proporcional na quantidade dos produtos.</p>	<p style="text-align: center;">RETORNOS CRESCENTES DE ESCALA</p> 
<p><u>Retornos constantes de escala:</u> Nos retornos constantes de escala, caso ocorra acréscimo no consumo de recursos, ocorre um aumento proporcional na quantidade dos produtos.</p>	<p style="text-align: center;">RETORNOS CONSTANTES DE ESCALA</p> 
<p><u>Retornos decrescentes de escala:</u> Nos retornos decrescentes de escala, caso ocorra acréscimo no consumo de recursos, ocorre um aumento menos que proporcional na quantidade dos produtos.</p>	<p style="text-align: center;">RETORNOS DECRESCENTES DE ESCALA</p> 

Utilizando-se a teoria da produção da microeconomia, através do conceito de função da produção estática de curto prazo, utiliza-se um insumo para produzir um produto, sendo possível demonstrar graficamente os conceitos de produtividade e eficiência (FERREIRA; GOMES, 2009), conforme apresentado na Equação (8):

$$Q_y = f_y (\text{insumo } X_i) \quad (8)$$

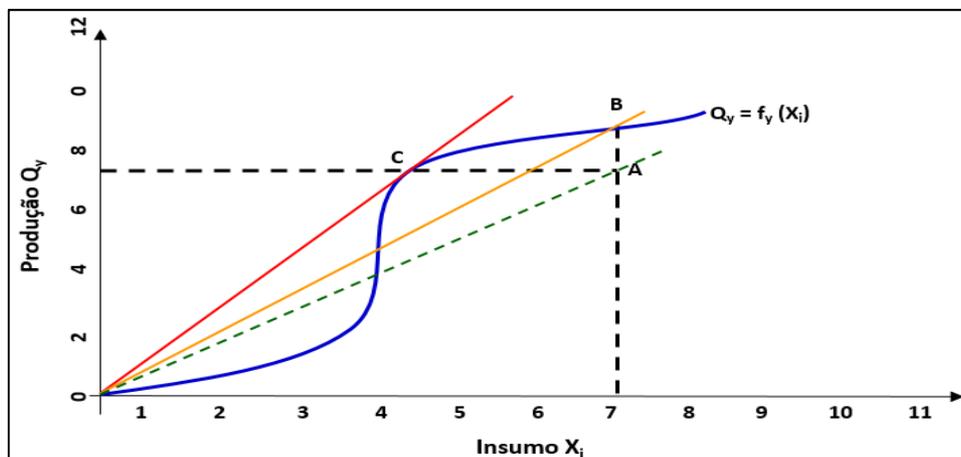
Esta função da produção estática de curto prazo também pode ser representada graficamente conforme apresentado na Figura 7:



Fonte: Adaptado de Ferreira e Gomes (2009, p. 25)

Figura 7 – Função Produção: produtividade e eficiência.

O ponto A é considerado ineficiente, visto que o mesmo se encontra abaixo da curva de produção. Já os pontos B e C são considerados tecnicamente eficientes, visto que se apresentam acima da curva de produção e representam as produções máximas. Entretanto, o ponto B possui uma produção com menor produtividade que o C, visto que é necessário aumentar a quantidade de insumo para produzir uma produção Q_B . As produtividades dos pontos A, B e C podem ser representadas através de retas traçadas entre esses pontos, sendo que suas inclinações indicam suas produtividades. Essas produtividades também podem ser representadas pela relação entre Y e X (FERREIRA; GOMES, 2009), conforme apresentado na Figura 8.



Fonte: Adaptado de Ferreira e Gomes (2009, p. 25)

Figura 8 – Função Produção: variações da produtividade e da eficiência.

É possível identificar que a inclinação representada pelo segmento \overline{OB} indica a produtividade média é decrescente a partir do ponto C. Entretanto, é possível identificar que no ponto C a produtividade média é a maior possível. Para a atividade sobre o segmento \overline{CA} , é menos eficiente e mais produtiva que B, por não se encontrar sobre a função de produção ou fronteira de possibilidade de produção da análise. Dessa forma, o ponto A possui sua produtividade média menor que nos pontos C e B, sendo então sua produção considerada ineficiente. Sendo assim, é possível concluir que uma determinada atividade que opera sobre a fronteira de eficiência é tecnicamente eficiente, porém, pode não ser a mais produtiva ou até mesmo possuir uma produtividade menor que a das outras atividades (FERREIRA; GOMES, 2009).

Segundo Ferreira e Gomes (2009, p. 27) existem duas opções para torná-la eficiente:

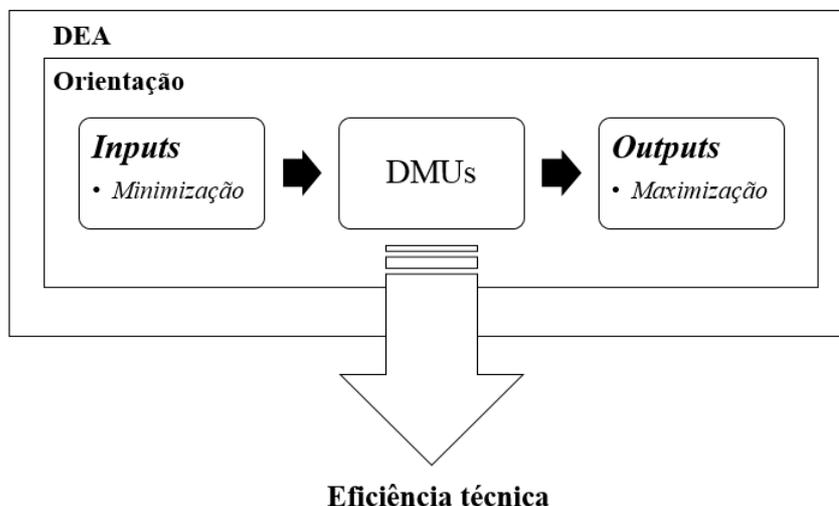
1. *“Deslocar o ponto A para o ponto C, reduzindo a quantidade do insumo utilizado de X_A para X_C . Esta escolha é denominada orientada ao insumo. Nesse caso, a produção permanece no mesmo patamar.*
2. *Deslocar o ponto A para o ponto B, aumentando a quantidade produzida de Q_A para Q_B . Esta escolha é denominada orientada a produto. Nesse caso, é mantida a mesma utilização anterior do insumo, X_A . ”*

2.7 Análise de Envoltória de Dados (DEA)

A Análise de Envoltória de Dados, do inglês DEA (*Data Envelopment Analysis*), também conhecida como Análise de Fronteira é um método de programação linear (PL), não paramétrica que tem por finalidade calcular a eficiência relativa de um conjunto de organizações similares, tendo sua primeira apresentação através de Charnes, Cooper e Rhodes no ano de 1978 (EL-MAHGARY; LAHDELMA, 1995; LOZANO, 2015; MANTRI, 2008) e desde seu aparecimento houve um aumento significativo em suas aplicações voltadas para situações teóricas e conceitos práticos, sendo considerada na literatura como um poderoso método para a medição de desempenho (COOK; SEIFORD, 2009; MARDANI et al., 2017).

Esse modelo matemático mede seu desempenho ou eficiência técnica de unidades tomadora de decisão (*Decision Making Units – DMUs*), comparando os *inputs* (recursos disponíveis) com os *outputs* (o que foi produzido), verificando o que poderia ser produzido com os mesmos recursos (CHEN; ZHU, 2017; CORREIA; MELLO; MEZA, 2011), auxiliando as DMUs fora da fronteira (não eficientes) e entendendo seus pontos a serem aprimorados, alcançando assim seu potencial através de possíveis melhorias em sua eficiência (CHARLES;

CORNILLIER, 2017; PARMAN; FEATHERSTONE; COFFEY, 2017). A Figura 9 apresenta de maneira resumida as etapas do modelo DEA.



Fonte: Adaptado de Paiva Júnior (2000).

Figura 9 – Etapas do modelo DEA.

Sua popularidade se remete a sua capacidade de estabelecer sobre os dados uma fronteira eficiente (PURI; YADAV; GARG, 2017), sendo seu nome baseado em função da forma como ela “envolve” a observação, visando identificar sua “fronteira”, a qual é utilizada para avaliar estas observações, representando todas as entidades que estão sendo avaliadas (COOPER; SEIFORD; TONE, 2006). Segundo Kassai (2002, p. 70), no ano de 1978 Edward Rhodes apresentou com a orientação de W. W. Cooper, na *Carnegie Mellon University* sua tese de doutorado, que visava

“Avaliar os resultados de um programa de acompanhamento de estudantes carentes, instituído em escolas públicas americanas, com o apoio do governo federal. A ideia central era comparar o desempenho de um conjunto de alunos de escolas que participavam, com o de alunos de escolas que não aderiram ao programa. A performance dos alunos eram medidas em termos de produtos definidos, como, por exemplo, “aumento da autoestima em crianças carentes” (medida por testes psicológicos) e insumos como “tempo gasto pela mãe em exercícios de leitura com a criança”.

Essa eficiência técnica estimada do programa educacional das escolas públicas americanas, baseados em múltiplas entradas e saídas, resultou na formulação do modelo

denominado CCR (Charnes, Cooper e Rhodes), representando a abreviatura dos nomes dos autores (CHARNES et al., 1994; KASSAI, 2002).

O conjunto de DMUs utilizado deve variar apenas em intensidade, devendo apresentar a mesma utilização de entradas e saídas e realizar as mesmas tarefas, objetivos, condições de mercado e possuir autonomia na tomada de decisões (MELLO et al., 2005), podendo ser determinadas como: unidades de manufatura, departamentos de uma organização, hospitais, prisões, universidades, entre outros. O desempenho de cada DMU é avaliado utilizando o conceito de eficiência ou produtividade, sendo essa razão entre o total de saídas (*outputs*) pelo total de entradas (*inputs*) (RAMANATHAN, 2003). Para classificar uma DMU como eficiente, seu valor a ser atingindo deverá ser um (ALDAMAK; ZOLFAGHARI, 2017).

Segundo Ferreira e Gomes (2009, p. 19) a DEA

“Baseia-se em modelos matemáticos não paramétricos, isto é, não utiliza inferências estatísticas nem se apega a medidas de tendência central, testes de coeficientes ou formalizações de análises de regressão. O DEA não exige a determinação de relações funcionais entre insumos e os produtos, nem se restringe a medidas únicas, singulares dos insumos e produtos e permite utilizar variáveis discricionárias, instrumentais ou de decisão, variáveis não discricionárias ou exógenas (fixas), e categóricas (tipo dummies) em suas aplicações. ”

Este método pode ser aplicado com sucesso em organizações com ou sem fins lucrativos para avaliação de sua eficiência relativa, podendo ser aplicados a múltiplas entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*), ao contrário de outras técnicas como a análise de regressão ou de relação (MANTRI, 2008; ZADMIRZAEI; MOHAMMADI LIMAEI; AMIRTEIMOORI, 2015).

Um dos maiores benefícios do uso da DEA está relacionado ao conjunto de unidades de referência, que são encontradas projetando-se a DMU em sua fronteira eficiente, sendo utilizado como *benchmarks* para as unidades menos eficientes, indicando o que precisa ser modificado nos *inputs* e *outputs*, buscando melhorá-los e torná-los eficientes (MACEDO; ALMEIDA; BARBOSA, 2012; MOHAMMADI; MIRDEHGHAN; JAHANSHAHLOO, 2016). Mais especificamente, Colin (2015, p. 142) cita que a DEA determina:

- “A melhor prática – grupo de UTDs mais eficientes;
- As UTDs menos eficientes comparadas com as melhores práticas;
- A quantidade de recursos utilizados de forma improdutiva nas UTDs menos eficientes;

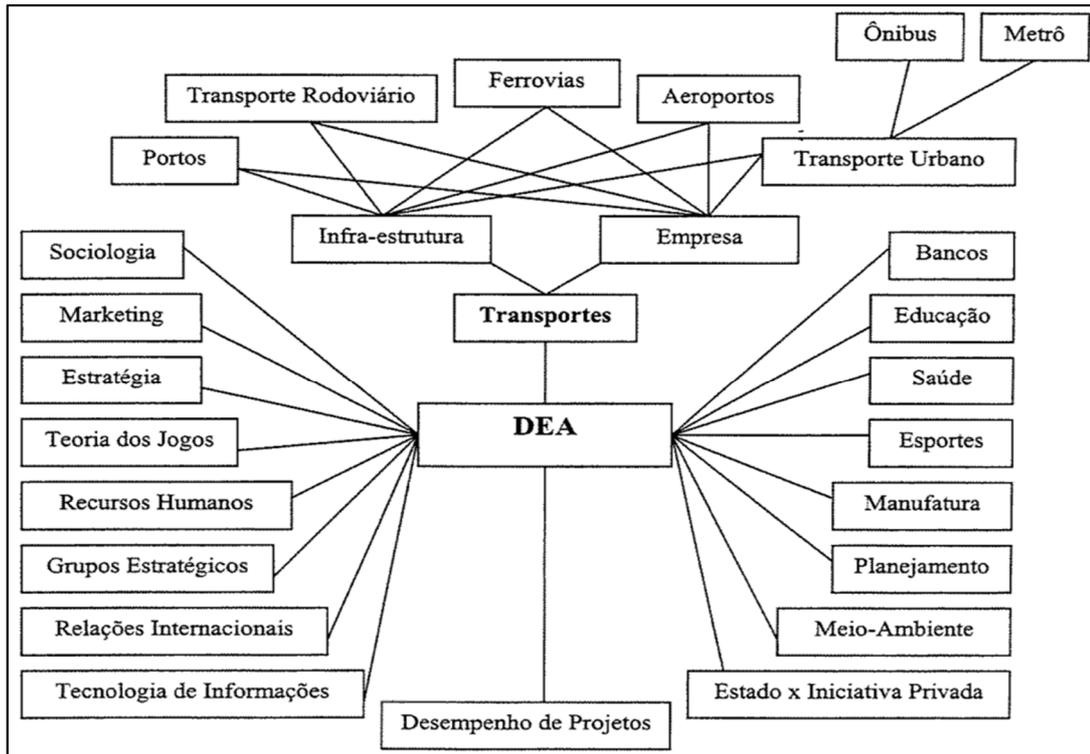
- *Para cada uma das UTDs menos eficientes, o grupo das unidades de melhor pratica que são mais parecidas com elas e que poderiam ser usadas como Benchmarks. ”*

A DEA possui como vantagem mais conhecida o seu bom funcionamento fazendo-se o uso de pequenas amostras (FETHI; PASIOURAS, 2010), sendo apresentado no Quadro 6 outras vantagens e limitações de seu modelo.

Quadro 6 – Vantagens e limitações dos modelos DEA (PAIVA JUNIOR, 2000).

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Permite uma estimativa robusta da fronteira de eficiência; • Analisar separadamente cada DMU; • Medir a eficiência relativa ao conjunto de DMUs; • Não necessitar da especificação previa da forma da função de produção; • Permitir a inclusão de atributos ambientais ou do processo de produção que não sejam nem recursos econômicos ou produtos; • Possibilita a introdução de julgamentos; • Disponibiliza recursos de interpretação das variáveis duais e análise de sensibilidade, por utilizar a técnica de programação matemática. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ser mais sensível a erro nos dados, uma vez que requer apenas uma observação; • Reduzir a habilidade de discriminação com o aumento dos números de variáveis; • Ser muito sensível à especificação das variáveis, porque o método é baseado em pontos extremos.

Sua utilização não está sujeita somente a empresas de negócios, mas também aos mais diferentes tipos de segmentos, como por exemplo, escolas, hospitais, unidades militares, forças policiais, entre outros (COOPER; SEIFORD; TONE, 2006), sendo melhor detalhado seus campos de aplicação conforme apresentado na Figura 10.



Fonte: Paiva Júnior (2000).

Figura 10 – Campos de aplicação do método de Análise de Envoltória de Dados (DEA).

A DEA é um modelo de programação matemática fracionária que consiste em um método não paramétrico de medição de eficiência de uma Unidade Tomadora de Decisão (UTD), do inglês DMU (*Decision Making Unit*) (PAIVA JUNIOR, 2000; RAY, 2004), através da resolução do respectivo modelo abaixo representado pelas Equações (9), (10), (11) e (12) (FERREIRA; GOMES, 2009).

$$\text{Maximizar } E_{f0} = \frac{\sum_{j=1}^m \mu_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}} \quad (9)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1 \quad (10)$$

$$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m \geq 0 \quad (11)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_r \geq 0 \quad (12)$$

$$i = 1, 2, \dots, r$$

$$j = 1, 2, \dots, m$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

Sendo:

- x_{ik}, y_{jk} são valores considerados positivos e representam as entradas e saídas;
- v_i, μ_j representam as ponderação variáveis de entrada e saída procuradas;
- k, r e m representam o número de DMUs, de entradas e saídas.

Essa formulação baseada em proporções apresenta o problema de gerar um número infinito de soluções, de modo que as restrições de não negatividade atribuídas aos pesos μ_j e v_i não garantem uma única solução ótima para a eficiência técnica E_{f0} (FERREIRA; GOMES, 2009).

Para a resolução deste problema de programação fracionaria, visto que nessa formulação representa uma programação não linear, deve-se transformar essa programação matemática em uma programação matemática linear (PML), chegando a uma única solução para essa eficiência técnica (FERREIRA; GOMES, 2009; PAIVA JUNIOR, 2000), conforme apresentado nas Equações (13), (14) e (15), considerando as mesmas variáveis das Equações (9) a (12).

$$\text{Maximizar } E_{f0} = \sum_{j=1}^m \mu_j y_{j0} \quad (13)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0 \quad (15)$$

$$\mu_j, v_i \geq 0, \forall i, j$$

Dentre um conjunto n de DMUs, o DEA busca identificar uma fronteira determinística ou envoltória de produção, sendo que as DMUs presentes na superfície da envoltória são consideradas eficientes enquanto as que estão no interior da envoltória são consideradas ineficientes (PAIVA JUNIOR, 2000).

2.7.1 Seleção das variáveis

É de fundamental importância uma correta seleção das variáveis de entradas (insumos) e saídas (produtos) que constituirão na análise dos desempenho de eficiência técnica de cada DMU, pois a escolha de maneira errada de qualquer variável pode acarretar em modelos pobres e que discriminem pouco as DMUs (BARROS et al., 2010; FERREIRA; GOMES, 2009). Essa eficiência é definida como a razão da soma ponderada das saídas (produtos / *outputs*) pela soma ponderada das entradas (insumos / *inputs*). Pouco se tem discutido sobre a problemática da seleção de variáveis utilizadas na modelagem na literatura, sendo que a maioria dos trabalhos publicados abordam a seleção das variáveis segundo a disponibilidade dos dados e através da opinião de especialistas (SENRA et al., 2007).

Esse conjunto de variáveis de entradas e saídas são admitidas tradicionalmente como valores não negativos e diferentes de zero (KERSTENS; VAN DE WOESTYNE, 2011; SUEYOSHI; GOTO, 2013), devendo compor uma ampla lista de fatores (qualitativos, quantitativos, controláveis ou não), podendo ser fatores externos ou internos que influenciam nos resultados alcançados (*inputs*) ou fatores que medem os objetivos e resultados obtidos (*outputs*) (PAIVA JUNIOR, 2000). De acordo com os objetivos da análise a ser executada, será realizado um processo de refinamento, de forma a mostrar claramente o desempenho das DMUs e reduzindo a quantidade de variáveis da lista (PAIVA JUNIOR, 2000).

Entretanto, pode ser aplicado de uma maneira geral que as variáveis que se desejam minimizar são classificadas de *inputs* e as variáveis que se desejam maximizar são consideradas *outputs* (GOMES; MANGABEIRA, 2004). É de extrema importância que os possíveis conjuntos de variáveis sejam analisados antecipadamente em conjunto com especialistas e decisores (SENRA et al., 2007). Ferreira e Gomes (2009, p. 147) também citam que a

... primeira condição para essa seleção é o conhecimento profundo da atividade em análise. Eventualmente, pode-se recorrer a especialistas que orientam na escolha e seleção das variáveis. Contudo, o conhecimento da atividade é imprescindível para que se analisem os resultados obtidos com o modelo de Análise Envoltória de Dados escolhido.

A DEA admite flexibilidade na escolha dos pesos das entradas e saídas, sendo que quanto maior o número de fatores incluídos, menor será a discriminação (DYSON et al., 2001). Ao se aumentar de maneira indiscriminada a quantidade de variáveis, os desempenhos de eficiência tendem a aumentar gradualmente, em virtude das DMUs se aproximarem dos limites possíveis de produção (FERREIRA; GOMES, 2009).

Não existe uma norma definida para a quantidade de unidades a serem utilizadas, porém, quanto maior a quantidade de unidades analisada, maior será a capacidade discriminatória do modelo (PEÑA, 2008). Para que se tenha um nível de discriminação razoável, existe uma recomendação empírica de que o número de DMUs seja pelo menos o dobro ou o triplo do produto do número de *inputs* e *outputs* (DYSON et al., 2001; GOMES; MANGABEIRA, 2004).

Desta forma, ocorre a necessidade de uma análise quantitativa que busque levantar os parâmetros estatísticos dos dados relacionados a cada variável e sua correlação, auxiliando assim na seleção e classificação das variáveis listadas (PAIVA JUNIOR, 2000). A correlação entre as variáveis é o principal parâmetro a ser avaliado (KASSAI, 2002; PAIVA JUNIOR, 2000), pois o seu coeficiente de correlação mede o grau de associação entre as variáveis que estão sendo analisadas, o qual é composto por um número que varia entre -1 e 1 (FERREIRA; GOMES, 2009).

Quando o grau de correlação é linear entre as duas variáveis numéricas, utiliza-se o coeficiente de correlação de Pearson. Entretanto, quando os dados observados entre essas variáveis não possuem uma distribuição normal bidimensional, uma alternativa não paramétrica para o cálculo de correlação é o coeficiente de correlação de Spearman (VIEIRA, 2010, 2016). O Quadro 7 apresenta uma regra prática para a classificação de correlações, onde r representa a correlação.

Quadro 7 – Regra prática para classificação de correlações (Adaptado de VIEIRA, 2016).

Correlação	Classificação	
Pequena	$0 < r < 0,25$	$-0,25 < r < 0$
Fraca	$0,25 < r < 0,50$	$-0,50 < r < -0,25$
Moderada	$0,50 < r < 0,75$	$-0,75 < r < -0,50$
Forte	$0,75 < r < 1,00$	$-1,00 < r < -0,75$

Através da elaboração de uma matriz de correlação linear, é possível determinar as variáveis redundantes ou irrelevantes, bem como os *inputs* e *outputs*. Também é possível determinar quais variáveis possuem alta ou baixa correlação, ou ainda se ela possui uma correlação positiva ou negativa (PAIVA JUNIOR, 2000). Quando ocorrer uma alta correlação para cada par de variáveis de *input* e para cada par de variáveis de *outputs*, deve-se excluir uma delas (FERREIRA; GOMES, 2009).

Estas informações são de grande importância para verificar se algum *output* possui correlação negativa com um *input*, visto que não é permitida essa tal correlação no método DEA (DYSON et al., 2001; PAIVA JUNIOR, 2000). Entretanto, vale ressaltar conforme explicado por Ferreira e Gomes (2009, p. 148) que

O coeficiente de correlação isoladamente não mede a relação causa-efeito entre as variáveis, embora essa relação possa existir. Isto quer dizer que não se pode concluir que um valor alto desse coeficiente (por exemplo, próximo de 1) garante que variações (aumentos ou diminuições) da variável X1 provoque variações na variável X2; a correlação entre as variáveis pode resultar, por exemplo, de uma variável oculta que não faz parte do conjunto analisado.

Deve-se evitar a eliminação de variáveis simplesmente por razões de correlações, sendo que nessas situações a escolha de qual variável deve permanecer ser de extrema importância, podendo diferir de maneira significativa os resultados da avaliação de eficiência (DYSON et al., 2001).

Em virtude disso, torna-se de extrema relevância a utilização de métodos que visem selecionar variáveis para a utilização dos modelos em DEA, de maneira a auxiliar na decisão dessas variáveis. Estes métodos de seleção admitem diferentes níveis de intervenção do decisor, sendo os métodos que exigem nenhum ou pouco conhecimento subjetivo, os mais adequados quando ocorrem dúvidas ou não consigam ser emitidas opiniões pelo decisor (SENRA et al., 2007).

2.7.2 Modelos DEA

Os modelos DEA possuem várias formulações encontradas na literatura, entretanto, existem dois tipos de modelos clássicos utilizados em suas aplicações: o modelo CCR e o modelo BCC (CORREIA; MELLO; MEZA, 2011; KASSAI, 2002; MACEDO; ALMEIDA; BARBOSA, 2012).

O modelo CCR desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes, também conhecido como CRS (*constant returns to scale*) (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978), trabalha com

retornos de escala constantes, sendo que quaisquer variações nos *inputs* produzem uma alteração proporcional nos *outputs* (CORREIA; MELLO; MEZA, 2011; KASSAI, 2002; MELLO et al., 2006). Esse modelo busca através da otimização da divisão entre a soma ponderada dos produtos (saídas) e a soma ponderada dos insumos (entradas), determinando assim sua eficiência técnica (FERREIRA; GOMES, 2009). A formulação do modelo DEA-CCR (MELLO; GOMES, 2004; VILELA; NAGANO; MERLO, 2007) está representada a seguir:

$$\max h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \quad (16)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0 \quad (18)$$

$$k = 1, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall x, y$$

Sendo:

- h_0 eficiência da DMU₀ em análise;
- x_{ik} representa o *input* i da DMU_k;
- y_{jk} representa o *output* j da DMU_k;
- v_i representa o peso atribuído ao *input* i ;
- u_j representa o peso atribuído ao *output* j .

O modelo BCC, criado por Banker, Charnes e Cooper, também conhecido como VRS (*variable returns to scale*) (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984), não admite proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, de maneira que as DMUs que atuam com altos valores de *input* apresentem decrescentes retornos de escala e as que atuam com baixos valores

apresentem retornos crescentes (CORREIA; MELLO; MEZA, 2011; KASSAI, 2002; MELLO et al., 2006). A formulação do modelo DEA-BCC (MELLO; GOMES, 2004; VILELA; NAGANO; MERLO, 2007) está representada abaixo:

$$\max h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + u^* \quad (19)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - u^* \leq 0 \quad (21)$$

$$k = 1, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall x, y$$

$$u^* \in \square$$

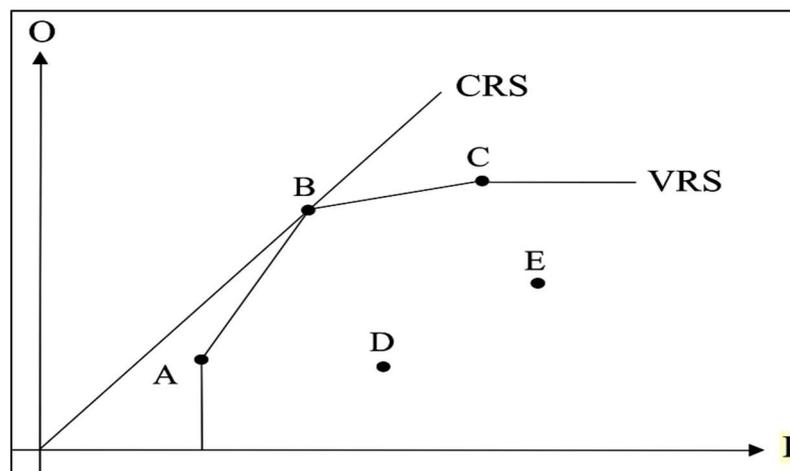
Sendo:

- h_0 eficiência da DMU₀ em análise;
- x_{ik} representa o *input* i da DMU_k;
- y_{jk} representa o *output* j da DMU_k;
- v_i representa o peso atribuído ao *input* i ;
- u_j representa o peso atribuído ao *output* j ;
- u^* representa o fator de escala.

Os modelos CCR e BCC apresentam em seus duais, o modelo de envelope, o qual gera uma fronteira linear por partes composta pelas DMUs eficientes, sendo que as ineficientes se apresentam abaixo dessa fronteira (MELLO; GOMES, 2004). Essa restrição de convexidade adicional de igualdade $j=1$ faz com que somente combinações convexas do conjunto de

unidades sejam permitidas para a formação da fronteira de produção, de modo a reduzir o conjunto de possibilidades de produção variável e convertendo o ganho de escala constante para variável (rendimentos crescentes ou decrescentes de escala) na fronteira eficiente (VILELA; NAGANO; MERLO, 2007).

A Figura 11 apresenta as fronteiras DEA CCR (CRS) e DEA BCC (VRS) para um modelo DEA bidimensional, com 1 *input* e 1 *output*.



Fonte: Mello & Gomes (2004).

Figura 11 – Fronteiras DEA CCR (CRS) e BCC (VRS) para um modelo bidimensional.

Quanto a orientação desses modelos, podemos classificá-los como orientados ao *input* e *output*. O modelo orientado pelo *input* tem como objetivo de produzir uma mesma quantidade matéria prima com menos insumos, dessa maneira buscando minimizar as matérias primas. Entretanto, quando o modelo é orientado ao *output*, busca-se gerar o maior número possível de produtos mantendo-se a quantidade de matéria prima usada (BARROS et al., 2010).

Esses modelos também identificam para as organizações que possuem um desempenho pouco eficiente seus *benckmarks*, com o objetivo de melhorar sua performance através do fornecimento de um conjunto de unidades com modelos de desempenho para comparação com as organizações que podem ser comparadas (SILVEIRA; MEZA; MELLO, 2012).

3. METODOLOGIA

Visando o conhecimento científico e demais aspectos de um determinado assunto, de maneira sistemática, metódica e crítica, dispomos da pesquisa científica. A pesquisa científica visa despertar o espírito de investigação diante de trabalhos e problemas sugeridos na academia e também para o avanço do conhecimento humano (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A coleta de dados é de natureza quantitativa e foi obtida da base de dados da empresa objeto de estudo, provenientes de inventário florestal pré corte e dados pós colheita. Esses dados quantitativos consideram que tudo pode ser quantificável, traduzindo em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Esses dados são decorrentes de características atribuídas aos locais de plantio e características de cada tipo de clone de madeira de eucalipto, avaliados para cada tipo de solo com características argilosa ou arenosa. Futuramente esses dados serão utilizados para a criação dos modelos de Análise de Envoltória de Dados (DEA) e modelo de Programação linear (PL).

A proposta deste trabalho consiste primeiramente na aplicação de um modelo DEA para avaliar a eficiência de diferentes tipos de DMUs, representadas pelos clones de eucalipto e produzidos em solos argilosos e arenosos, validando os clones mais eficientes e auxiliando na decisão de plantios dos próximos ciclos produtivos.

A DEA utiliza modelos matemáticos não paramétricos, visando avaliar o desempenho de organizações e atividades por meio de medidas de eficiência técnica (FERREIRA; GOMES, 2009). Esse modelo apresenta como principais vantagens (PAIVA JUNIOR, 2000):

- Permite uma estimativa robusta da fronteira de eficiência;
- Analisar separadamente cada DMU;
- Medir a eficiência relativa ao conjunto de DMUs;
- Não necessitar da especificação prévia da forma da função de produção;
- Permitir a inclusão de atributos ambientais ou do processo de produção que não sejam nem recursos econômicos ou produtos;
- Possibilita a introdução de julgamentos;
- Disponibiliza recursos de interpretação das variáveis duais e análise de sensibilidade, por utilizar a técnica de programação matemática.

Na segunda etapa proposta por esse trabalho, ocorre a determinação de qual seria a melhor alocação desses clones de eucalipto mais eficientes. Essa determinação ocorre através

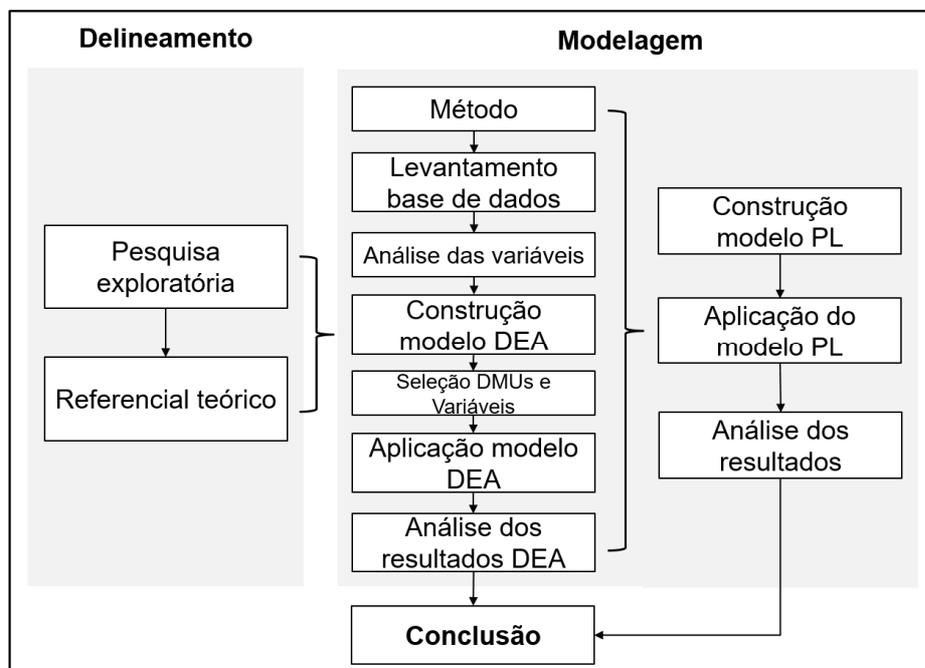
da utilização de modelos PL, que buscam separadamente minimizar seus custos e maximizar seu volume produzido. Para isso, utilizou-se o software licenciado CPLEX, da empresa IBM, sendo desenvolvidos modelos que visam avaliar a alocação das DMUs eficientes pré-definidas anteriormente pelo modelo DEA.

A Pesquisa Operacional (PO) aplica e difunde a PL como uma de suas principais ferramentas, a qual busca solucionar problemas e encontrar os valores ótimos das variáveis contínuas visando minimizar ou maximizar sua função linear, segundo um conjunto de igualdades ou desigualdades (FÁVERO; BELFIORE, 2012).

3.1 Fases da pesquisa

O desenvolvimento dessa pesquisa se divide nas fases de delineamento e modelagem. A fase de delineamento se refere a maneira resumida de como será planejado o tipo da pesquisa e suas características e a fase de modelagem apresentam o processo de conclusões ou decisões com relação ao problema estudado.

O fluxo definido para o procedimento metodológico desse trabalho é adaptado de Kassai (2002), podendo ser melhor ilustrado em algumas fases relevantes conforme apresentado na Figura 12.



Fonte: Adaptado de Kassai (2002)

Figura 12: Fases para desenvolvimento da pesquisa.

3.1.1 Delineamento da pesquisa

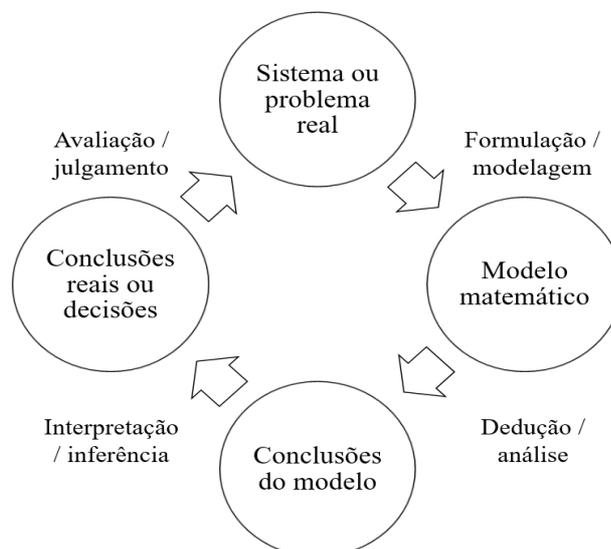
A pesquisa se caracteriza do ponto de vista de seus objetivos como sendo uma pesquisa exploratória. Sua finalidade é de proporcionar mais informações sobre um determinado assunto a se investigar, facilitando a delimitação do tema da pesquisa, orientando quanto a fixação dos objetivos e formulação de hipóteses ou descoberta de um novo tipo de enfoque do assunto (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Essa aplicação ocorre durante o processo de desenvolvimento teórico, sendo utilizado diversas fontes de consulta e bases documentais e científicas. Essa análise de desenvolvimento teórico visa proporcionar uma fundamentação teórica para a realização do trabalho proposto e também dos modelos a serem aplicados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

3.1.2 Modelagem

O processo de modelagem consiste na definição das variáveis e suas relações matemáticas, buscando apresentar o comportamento relevante do sistema ou problema real. Sua análise consiste no uso de tecnologias e metodologias matemáticas visando solucionar o modelo matemático e apresentar suas conclusões (ARENALES et al., 2015).

As conclusões obtidas no modelo e sua interpretação são suficientes para inferir conclusões ou decisões para o problema real, sendo que frequentemente, essa avaliação apresenta conclusões não adequadas para o modelo. Isso demonstra que é preciso a realização de uma revisão da definição do problema e sua modelagem matemática, repetindo-se esse ciclo (ARENALES et al., 2015), conforme apresentado na Figura 13.



Fonte: Arenales et al. (2015).

Figura 13 - Processo de modelagem.

3.1.3 Identificação do problema para modelagem

É caracterizado como o processo de identificação do problema a ser resolvido, de maneira a entendê-lo e avaliá-lo.

Esse processo se caracteriza no alinhamento com a questão de pesquisa definida no problema de pesquisa, na qual se questiona se realmente os métodos para a seleção de clones de eucaliptos para o plantio apresentam a maior eficiência sobre ao volume de madeira disponível para a produção de produtos derivados, muitas vezes observadas em empresas florestais

A metodologia de seleção de novos clones ocorre desde sua fase inicial até a fase final num período de 12 anos e posteriormente selecionado a cada 3 anos, não levando em conta parâmetros de pré e pós colheita, em escala comercial. Esse trabalho visa contribuir para a melhoria da tomada de decisão de quais clones de eucaliptos mais eficientes devem ser utilizados em plantios comerciais pelas empresas que possuem esse tipo de negócio e também contribuir para desenvolvimento de trabalhos acadêmicos sobre esse tema.

3.1.4 Levantamento da base de dados

O processo de obtenção das informações inicia-se através do levantamento das variáveis contidas na base de dados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2016. Esse período é utilizado em função do ciclo de plantio utilizado pela empresa ser realizado entre 6 e 7 anos, sendo os dados agrupados conforme apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Agrupamento dos dados para análise (Base de dados do estudo).

Agrupamento	Descrição
Ano de recebimento	Ano de entrega da madeira para as Fábricas de Celulose, sendo utilizados os anos de 2011 à 2016.
Horto	Área de terreno onde se cultivam as árvores de eucalipto.
Talhão	Divisão de um terreno (Horto), mais ou menos distinta e separada, onde são cultivadas as árvores de eucalipto.
Tipo de Florestas	Florestas próprias e de parcerias.
Tipo de Clone	Separado por tipo de clone de eucalipto.
Tipo de Solo	Solos separados em arenosos e argilosos onde estavam plantados os clones de eucalipto.

Seus dados são constituídos de valores de natureza quantitativas, sendo representados pelas seguintes variáveis: Altura (m), Área plantada (ha), Custo Total (R\$),

Diâmetro na Altura do Peito – DAP (cm), Densidade Básica (Kg/m³), Idade de corte (anos), Volume Individual (dm³) e Volume produzido (m³). A escolha dessas variáveis se fez em função da proposta desse trabalho de se avaliar as eficiências dos clones de eucaliptos baseados em dados pré e pós colheita em escala comercial.

As variáveis Diâmetro na Altura do Peito – DAP (cm), Densidade Básica (Kg/m³) e Altura (m) se referem às informações obtidas no Inventário pré-corte, as quais são realizados antes da colheita da madeira, estimando a quantidade de madeira a ser entregue para as Fábricas de celulose. As variáveis Área plantada (ha) e Idade de corte (anos) são obtidas diretamente da base de dados e definidas de acordo com a estratégia utilizada pela empresa objeto do estudo no período avaliado.

A variável Custo Total (R\$), caracterizada como de caráter sigiloso e, portanto, sua divulgação não sendo autorizada, é substituída por um custo similar ao processo avaliado e disponível na literatura acadêmica, conforme apresentado na Tabela 4. Para o cálculo dessa variável é utilizado o valor de R\$ 4.437,30 por hectare, o qual é ajustado para o ano de 2016 utilizando o conceito de Valor futuro (VF), conforme apresentado na Equação (2).

Sua base de correção utilizada é pelo Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI), que é calculado pelo Instituto Brasileiro de Economia (IBRE) da Fundação Getúlio Vargas (FGV), sendo esse composto por uma pesquisa mensal do preço de matérias primas industriais e agrícolas e de produtos intermediários, de bens e serviços finais (IBRE, 2016). Esses valores corrigidos são apresentados conforme o APÊNDICE A.

Assim, é realizado o cálculo do Custo total para cada Área plantada, indicada pelo horto e talhão contido na base de dados, multiplicando-se o valor atualizado no ano de 2016 de R\$ 4.437,30 por hectare (R\$/ha) pela Área plantada em hectare (ha), conforma exibido na Equação (22) e detalhado no APÊNDICE A.

$$Custo\ total\ (R\$) = Custo\ corrigido\ 2016 \left(\frac{R\$}{Ha} \right) \times Área\ plantada\ (Ha) \quad (22)$$

Em seguida, é realizado análise das variáveis para verificação da existência de valores faltantes na base de dados. Caso tenha ocorrido algum dado faltante em alguma das variáveis analisadas, o dado referente a esse período é excluído da base.

3.1.5 Análise das Variáveis

As variáveis são analisadas para os clones utilizados no estudo, sendo calculadas para cada tipo de solo as seguintes medidas estatísticas: Coeficiente de Variação (CoefVar), Desvio Padrão (DesvPad), Máximo, Média, Mediana e Mínimo. A realização dessas análises visa o conhecimento e o comportamento dos dados referentes aos diversos clones utilizados de acordo com cada variável e também em relação ao tipo de solo.

Suas informações visam avaliar cada clone em função do tipo de solo, de acordo com suas características de plantio através dos dados de pré e pós colheita, sendo esses dados de natureza quantitativa. Dessa maneira, realiza-se essa análise utilizando a ferramenta *Boxplot*, com o auxílio do *software* licenciado Minitab. O uso dessa ferramenta se faz, devido a possibilidade de verificação da variabilidade e da tendência central dos dados, de maneira a entender a distribuição dos dados analisados e também de identificar: possíveis *outliers*, mediana, 1º e 3º Quartis. Através dessas análises é possível verificar e identificar nesses dados a existência de *outliers*.

3.1.6 Construção do Modelo utilizando DEA

Para a realização do estudo são utilizados dois modelos distintos, que se diferem em função do tipo de solo usado para o plantio do referido clone de eucalipto. A escolha do modelo DEA a ser utilizado ocorre em função do rendimento de escala adotado e das características dos dados empregados, analisando-se o Coeficiente de Variação (CoefVar) e posteriormente a comparação das entradas e saídas individualmente, utilizando-se a ferramenta Gráfico de dispersão por tipo de solo.

Quanto a orientação utilizada nos modelos, indo de encontro ao objetivo desse trabalho, utiliza-se a orientação ao *input*. Isso significa que para os modelos utilizados apresentam como principal objetivo a produção com uma mesma quantidade de matéria prima utilizando menos insumos, dessa maneira buscando minimizar as matérias primas (BARROS et al., 2010).

3.1.7 Seleção das DMUs e Variáveis

As DMUs empregadas representam clones de eucalipto utilizados no plantio durante período analisado. Esses clones apresentam a mesma utilização, entradas e saídas, variando somente com relação a sua intensidade de mudas plantadas, tipo de solo e extensão utilizada em seu plantio. As DMUs devem possuir um nível de discriminação aceitável, sendo

que a quantidade de DMUs utilizado no modelo deverá ser de pelo menos o dobro do produto do número de *inputs* e *outputs* (DYSON et al., 2001; GOMES; MANGABEIRA, 2004).

Na sequência visando classificar as variáveis como *inputs* ou *outputs*, verifica-se cada uma delas de forma independente, em função de sua finalidade. As variáveis que possuem a finalidade de minimização são classificadas como *inputs* e as variáveis que visam a maximização são consideradas como *output* (GOMES; MANGABEIRA, 2004).

Posteriormente esses dados são agrupados em função do tipo de solo onde cada clone é plantado e por tipo de clone, sendo realizado individualmente para cada clone e variável o Teste de Normalidade dos dados utilizando o software licenciado Minitab, visando determinar o tipo de correlação entre os dados.

Para a definição e auxílio de quais variáveis devem ser utilizadas no modelo DEA, é realizada a análise de correlação entre as variáveis, para cada tipo de solo. Essa análise é realizada através da criação de uma matriz de correlação entre essas variáveis, necessária para determinar o grau de correlação entre as duas variáveis analisadas e caracterizada como principal parâmetro a ser avaliado (KASSAI, 2002; PAIVA JUNIOR, 2000), buscando refinar os fatores que distinguem o desempenho de cada DMU, classificando as variáveis como redundantes ou irrelevantes. O índice utilizado para realizar a exclusão de variáveis é de uma correlação maior que 0,75, conforme apresentado no Quadro 7, por se tratarem de uma correlação Forte entre essas variáveis analisadas.

Uma vez finalizada a correlação, é realizada em conjunto com especialistas da área acadêmica e da empresa objeto do estudo, uma análise crítica dessas variáveis, visando determinar quais seriam as mais relevantes (FERREIRA; GOMES, 2009). Essa análise é de extrema importância porque ela evita eliminar variáveis simplesmente por motivos de correlação (DYSON et al., 2001).

3.1.8 Aplicação do modelo DEA

Para a aplicação dos modelos DEA utiliza-se o software livre SIAD – Sistema Integrado de Apoio a Decisão, que faz uso do algoritmo Simplex para resolução de problemas referentes a programação linear (MEZA et al., 2005). Através da definição da tabela final contendo os valores que serão utilizados pelos modelos, por tipo de solo, os dados são criados no formato de texto e inseridos no software, o qual cria automaticamente sua Matriz de Dados. Na sequência, é definido o modelo a ser utilizado e sua orientação, de maneira a realizar os cálculos e obter os resultados dos modelos propostos.

3.1.9 Análise dos resultados DEA

Uma vez realizado o processamento dos dados por tipo de solo, é possível determinar as DMUs consideradas eficientes e ineficientes. Para as DMUs analisadas, são determinados seus pesos e *benchmarks*, de maneira a possibilitar sua análise e propor suas melhorias.

Definidas as DMUs que apresentam maior eficiência para cada tipo de solo, ou seja, que apresentam desempenho igual a 1 (um), ocorre a classificação dos clones que serão aplicados no modelo de Programação linear (PL). Para composição desse modelo, é definido o uso somente das DMUs classificadas como eficientes, ou seja, que apresentam valores de desempenho iguais a 1 (um), de maneira a utilizar somente os melhores clones determinados pelos modelos DEA.

3.1.10 Construção e resultados do modelo em PL

Para a criação dos modelos em Programação linear (PL), utilizou-se o software licenciado CPLEX, da empresa IBM. Foram criados seis modelos em PL que visam avaliar a alocação das DMUs eficientes, definidas pelos modelos DEA, individualmente para os tipos de solo arenoso, argiloso e ambos os tipos de solos. Para ambos os tipos de solo é realizado a junção entre os tipos de solo arenoso e argiloso em um único modelo PL, tanto para a minimização de custo e maximização do volume.

A construção dos modelos PL utilizados para a minimização de custos e maximização do volume refere-se ao ano 2016. Sua alocação de clones é definida pelo modelo PL em função do seu tipo de solo, os quais são alocados nos locais (Hortos e Talhões) correspondentes ao ano avaliado. Os locais de alocação estão definidos conforme apresentado no APÊNDICE A.

Baseando-se conforme apresentado no Quadro 4, o modelo de minimização de custos é composto pelos seguintes elementos, conforme apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 – Elementos do modelo em programação linear para a minimização de custos
(Base de dados do estudo).

Elementos	Definição
Variáveis de decisão	São representadas pela quantidade de cada DMU (clones) que serão alocadas em cada local de plantio, definidas pelo modelo de programação linear.
Parâmetros	Custo unitário (R\$) de cada DMU; Quantidade (Qtd.) de clones que poderão ser alocados em cada local (Horto e talhão).
Função Objetivo	O modelo visa a minimização do custo (R\$) através da alocação das DMUs, conforme apresentado na Equação (28).
Restrições	O modelo em PL é composto pelas seguintes restrições: <ul style="list-style-type: none"> – Quantidade de clones a serem alocados não poderão exceder a 50% da quantidade total de clones alocados. Para os clones que possuem restrições impostas pelas fábricas de celulose, não poderão exceder 1/3 da quantidade total alocada. Essas quantidades de clones não deverão exceder a capacidade máxima de cada local (talhões) conforme Equação (29); – Somente um único tipo de clone deverá ser alocado por local (Horto e talhão), conforme Equação (30); – A quantidade de um único tipo de clone alocado em talhões próximos não poderão exceder a 300 ha contínuos (Plantio em mosaico), conforme Equação (31); – Todos os clones deverão ser utilizados no modelo, conforme Equação (32).

Quanto ao modelo de maximização de volume, conforme referenciado no Quadro 4, a composição dos elementos está descrita conforme o Quadro 10.

Quadro 10 – Elementos do modelo em programação linear para a maximização do volume
(Base de dados do estudo).

Elementos	Definição
Variáveis de decisão	São representadas pela quantidade de cada DMU (clones) que serão alocadas em cada local de plantio, definidas pelo modelo de programação linear.
Parâmetros	Volume individual (m ³) de cada DMU; Quantidade (Qtd.) de clones que poderão ser alocados em cada local (talhão).
Função Objetivo	O modelo visa a maximização do volume produzido (m ³) através da alocação das DMUs eficientes definidos anteriormente pelo modelo DEA, conforme Equação (33).
Restrições	O modelo em PL é composto pelas seguintes restrições: <ul style="list-style-type: none"> – Quantidades de clones alocados não poderão exceder a 50% da quantidade total alocada. Para os clones que possuem restrições impostas pelas fábricas de celulose, não poderão exceder 1/3 da quantidade total alocada. Essas quantidades de clones não deverão exceder a capacidade máxima de cada local (talhões) conforme Equação (34); – Somente um único tipo de clone deverá ser alocado por local (Horto e talhão), conforme Equação (35); – A quantidade de um único tipo de clones alocados em talhões próximos não poderá exceder a 300 ha contínuos (Plantio em mosaico), conforme Equação (36); – Todos os clones deverão ser utilizados no modelo, conforme Equação (37).

Para determinação do custo (R\$) para cada tipo de clone utilizado para emprego nos modelos de PL, é calculado em função do Volume produzido (m^3) e da mediana de seu Volume individual (m^3) para cada clone em função de seu tipo de solo, conforme apresentado na Equação (23).

$$\text{Custo} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{Clone}} \right) = \frac{\sum \text{Custo total (R\$)}}{\sum \text{Volume produzido (m}^3\text{)}} \times \text{Mediana Volume individual (m}^3\text{)} \quad (23)$$

Para a obtenção da quantidade estimada máxima de clones a serem plantados para cada local, diferenciando-os em função de seu tipo de solo, é obtido empregando-se como referência os parâmetros contidos na Tabela 3.

Essa quantidade é obtida multiplicando-se o número de plantas por hectare (plantas/ha) pela área do local a ser plantada, sendo esse valor arredondando para baixo, garantindo assim a utilização de valores inteiros. Para o tipo de solo arenoso, utiliza a quantidade de plantas a serem plantadas de 1111 plantas/ha e para o tipo de solo argiloso usa a quantidade de 1333 plantas/ha conforme apresentado na Tabela 3. A Equação (24) apresenta o cálculo para o total de mudas plantadas, que pode variar em função do tipo de solo.

$$\text{Total mudas plantadas (Qtd.)} = \text{N}^\circ \text{ plantas por tipo solo} \left(\frac{\text{Qtd.}}{\text{ha}} \right) \times \text{Área plantada (ha)} \quad (24)$$

Os valores de Volume individual (m^3) para cada tipo de clone em função de seu tipo de solo são obtidos através dos dados medianos referentes ao período avaliado.

Na base de dados da empresa objeto de estudo identificou-se que as unidades fabris de produção de celulose também impõem restrições quanto a quantidade de alguns tipos de clones a serem utilizados em seu processo produtivo, pelo histórico de desempenho desses clones ao longo do processo produtivo. O Quadro 11 apresenta os tipos de clones que possuem restrições no processo produtivo das unidades fabris de celulose.

Quadro 11 – Clones com restrições nas unidades fabris de celulose (Base de dados do estudo).

Clones com restrições	Efeito no processo produtivo
CL08	Alto teor de Lignina, exigindo uma maior aplicação de produtos químicos no processamento da polpa de celulose.
CL09	Maior incidência de quebras no tambor descascador, impactando no rendimento do processo e também em problemas nas máquinas de produção de papel.

Essas restrições de quantidade ocorrem em função de problemas que ocorrem ao longo do processo de produção de celulose e papel, que podem impactar diretamente em sua eficiência e/ou produção.

Sendo assim, as unidades fabris estabelecem que esses tipos de clones não devem exceder a 1/3 da quantidade total de clones utilizado em seu processo. Dessa forma, ocorre uma mistura de tipos de clones e conseqüentemente a diminuição desses problemas em seu processo produtivo.

Uma vez criados os modelos em PL são realizados sua execução para ambos modelos em função de seu tipo de solo para o ano de 2016, sendo realizadas individualmente análises para se comparar os resultados obtidos pelos modelos propostos com relação a Quantidade de mudas alocadas (Qtd.), Custo (R\$) e Volume (m³), conforme apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 – Análises dos resultados dos modelos em PL (Base de dados do estudo).

Tipo de análises	Definição da análise
Quantidade de mudas alocadas (Qtd.)	Quantidade de mudas alocadas pelos modelos de minimização de custos (R\$) e maximização de volume (m ³) individualmente para cada tipo de solo.
Custo (R\$)	Custos propostos pelo modelo de minimização de custos (R\$) individualmente para cada tipo de solo utilizado.
Volume (m ³)	Volumes propostos pelo modelo de maximização de volume (m ³) individualmente para cada tipo de solo utilizado.

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo:

- Coleta e Análise de dados: apresenta-se de forma detalhada o procedimento de coleta e análise dos dados contidos na base de dados avaliada;
- Análise de *Boxplot*: nesta seção é apresentado a análise da base de dados buscando determinar a presença de possíveis *outliers*;
- Análise após eliminação *outliers*: apresenta-se a análise da base de dados buscando entender as variações dos dados após a retirada dos *outliers*;
- Desenvolvimento DEA: apresenta-se a análise da base de dados de maneira a determinar o modelo DEA a ser utilizado, sua orientação e variáveis empregadas nesse modelo;
- Resultados e discussões dos modelos DEA: neste item apresenta-se os resultados obtidos utilizando do modelo DEA em função do tipo de solo utilizado;
- Desenvolvimento dos modelos em PL: apresenta-se nessa seção a estruturação e construção dos modelos em PL;
- Resultados e discussões dos modelos em PL: nesta seção são apresentados os resultados referentes a aplicação do modelo em PL e sua comparação junto ao cenário atual.

4.1 Coleta e Análise de dados

Os dados são analisados de forma individual para cada uma das variáveis contidas na base de dados. Nessa análise verifica-se alguma inconsistência sobre a disponibilidade na série histórica avaliada, sendo necessária a exclusão desses dados para evitar que erros de entrada dos dados possam influenciar nas análises realizadas.

A Tabela 5 apresenta de maneira resumida a distribuição dos dados em função do seu tipo de solo e clone ao longo dos anos, sendo esses dados exibidos de maneira detalhada no APÊNDICE A.

Tabela 5 – Distribuição dos dados por tipo de solo e clone.

Tipo solo	Tipo clone	Ano Recebimento						Total
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Areia	CL01	3	6	3	12			24
	CL02		4	3	7		2	16
	CL03		7		6			13
	CL08	6	23	21	8			58
	CL09	2	13	19	21	26		81
	CL10	3		1	12	4		20
	CL11	1	2	14	22	22	12	73
	CL12	1	4	15	9	10	7	46
Total		16	59	76	97	62	21	331
Argila	CL01	7	15		8	1		31
	CL02	4	20	7	10	12	5	58
	CL03		11	6	3	1		21
	CL04		5	9				14
	CL05		5	1	3			9
	CL06				8	4	2	14
	CL07				6	4	1	11
	CL08	7	2	5	4			18
	CL09	1	4	1	9	11		26
	CL10	6	1	3	2			12
	CL11	1		2	6			9
	CL12	1		6	1		1	9
Total		27	63	40	60	33	9	232
Total geral		43	122	116	157	95	30	563

A exclusão dos dados permite realizar análises estatísticas para cada tipo de solo e clone, sendo calculadas as seguintes medidas estatísticas: Coeficiente de Variação (CoefVar), Desvio Padrão (DesvPad), Máximo, Média, Mediana e Mínimo. A Tabela 6 apresenta de maneira resumida as estatísticas básicas realizadas por variável para o tipo de solo arenoso, estando detalhados conforme apresentado no APÊNDICE B.

Tabela 6 – Estatísticas básicas por variável - solo arenoso.

Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
Coefficiente de variação								
CL01	83,18	83,18	6,35	4,07	4,87	13,87	1,56	88,23
CL02	57,60	57,60	5,28	6,82	8,57	21,68	1,57	66,72
CL03	76,36	76,36	5,87	7,49	7,95	22,94	0,81	74,59
CL08	69,10	69,10	4,04	3,67	5,28	14,73	1,22	66,79
CL09	62,96	62,96	4,29	7,40	8,93	19,79	1,50	51,92
CL10	65,57	65,57	5,19	7,45	8,68	22,47	1,32	53,12
CL11	64,87	64,87	4,53	5,54	7,32	17,47	1,66	64,91
CL12	51,37	51,37	4,65	6,42	7,67	18,03	1,62	52,33
Desvio padrão								
CL01	117.482,10	26,48	0,42	0,62	1,17	26,82	7,82	6.241,50
CL02	95.156,84	21,44	0,34	1,00	1,93	35,92	8,00	5.122,91
CL03	144.026,24	32,46	0,38	1,12	1,77	38,66	4,01	5.675,09
CL08	74.056,49	16,69	0,26	0,54	1,27	28,49	6,07	3.665,88
CL09	84.214,34	18,98	0,27	1,07	2,03	32,95	7,73	3.140,21
CL10	85.493,25	19,27	0,34	1,12	2,05	41,10	6,65	3.153,16
CL11	75.254,61	16,96	0,29	0,80	1,68	28,92	8,27	3.648,67
CL12	61.204,99	13,79	0,30	0,93	1,81	31,74	8,18	2.736,03

Fonte: Base de dados do estudo.

É possível verificar para o Coeficiente de Variação (CoefVar) uma grande variação entre as variáveis analisadas. O clone CL01 é o clone que apresenta mais variáveis com os maiores valores: Custo total (R\$) e Área plantada (ha) (83,18), Idade corte (anos) (6,35) e Volume produzido (m³) (88,23). Já os clones CL01, CL08 e CL12 apresentam as variáveis com os menores valores: Altura (m) (4,87) e Volume Individual (dm³) (13,87) para o clone CL01, Idade corte (anos) (4,04) e DAP (cm) (3,67) para o clone CL08 e Custo total (R\$) e Área plantada (ha) (51,37) para cada.

Pode-se verificar através da análise estatística referente ao Desvio Padrão que os clones CL03 e CL10 são os clones que apresentam variáveis com os maiores valores: Custo total (R\$) (144.026,24), Área plantada (ha) (32,46) e DAP (cm) (1,12) para o clone CL03 e DAP (cm) (1,12), Altura (m) (2,05) e Volume Individual (dm³) (41,10) para o clone CL10. Logo os clones CL08 e CL12 são os clones que apresentam variáveis com os menores valores: Idade corte (anos) (0,26), DAP (cm) (0,54) e Altura (m) (1,27) para o clone CL08 e Custo total (R\$) (61.204,99), Área plantada (ha) (13,79) e Volume produzido (m³) (2.736,03) para o clone CL12.

A Tabela 7 apresenta de forma resumida as estatísticas básicas realizadas por variável para o tipo de solo argiloso, e detalhada conforme apresentado no APÊNDICE B.

Tabela 7 – Estatísticas básicas por variável - solo argiloso.

Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
Coefficiente de variação								
CL01	94,84	94,84	5,57	8,80	10,43	28,70	1,60	82,26
CL02	100,90	100,90	4,54	7,90	9,56	23,34	1,38	122,17
CL03	65,63	65,63	5,90	6,90	7,17	20,16	1,65	68,78
CL04	74,51	74,51	5,19	4,59	6,40	17,69	2,69	84,09
CL05	91,48	91,48	6,77	6,67	7,10	21,48	0,55	94,47
CL06	117,68	117,68	5,33	7,23	9,36	24,19	1,05	111,90
CL07	111,20	111,20	5,10	10,29	7,35	26,62	0,56	112,97
CL08	62,59	62,59	6,44	5,17	7,62	20,73	1,64	57,18
CL09	45,58	45,58	5,12	4,85	8,29	15,50	1,45	51,52
CL10	51,43	51,43	6,16	6,78	7,75	21,69	1,19	50,95
CL11	65,85	65,85	5,06	7,84	9,42	24,63	2,79	71,58
CL12	31,95	31,95	6,80	6,77	9,82	22,22	1,94	53,82
Desvio padrão								
CL01	94.711,68	21,34	0,37	1,43	2,69	71,00	7,90	4.703,69
CL02	91.292,49	20,57	0,29	1,27	2,38	51,97	6,89	6.250,03
CL03	158.299,76	35,67	0,38	1,07	1,69	39,43	8,04	8.399,08
CL04	73.852,81	16,64	0,35	0,73	1,56	39,40	13,43	4.562,28
CL05	175.287,42	39,50	0,44	0,96	1,72	39,87	2,75	10.418,43
CL06	117.905,24	26,57	0,34	1,20	2,31	58,55	5,13	5.810,73
CL07	112.023,81	25,25	0,32	1,65	1,82	61,14	2,76	5.609,84
CL08	90.578,65	20,41	0,42	0,76	1,78	38,15	8,05	4.434,44
CL09	72.509,42	16,34	0,33	0,75	2,01	30,83	7,43	4.140,03
CL10	106.549,77	24,01	0,40	1,00	1,84	40,38	5,93	5.390,84
CL11	84.248,12	18,99	0,31	1,16	2,27	45,99	13,64	4.565,49
CL12	49.991,32	11,27	0,44	0,97	2,35	39,15	9,66	3.967,87

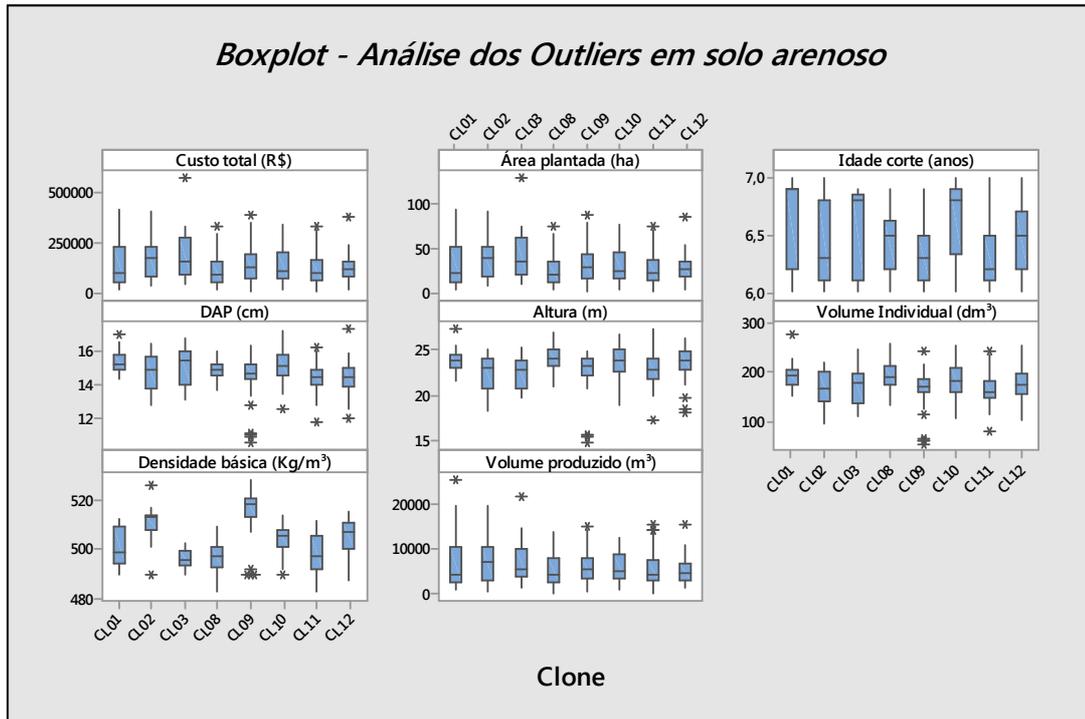
Fonte: Base de dados do estudo.

Para os clones utilizados em solo argiloso, também é possível verificar para o Coeficiente de Variação (CoefVar) uma grande variação entre as variáveis analisadas. Os clones CL01 e CL06 são os clones que apresentaram variáveis com maiores valores: Altura (m) (10,43) e Volume Individual (dm^3) (28,70) para o clone CL01 e Custo total (R\$) e Área plantada (ha), onde ambos apresentam (117,68) para o clone CL06. Contudo, os clones CL09 e CL12 são os clones que apresentam as variáveis com os menores valores: DAP (cm) (4,85) e Volume Individual (dm^3) (15,50) para o clone CL09 e Custo total (R\$) e Área plantada (ha), onde apresentam (31,95) para o clone CL12.

Pode-se verificar para a análise estatística referente ao Desvio Padrão que o clone CL05 apresenta os maiores valores: Custo total (R\$) (175.287,42), Área plantada (ha) (39,50), Idade corte (anos) (0,44) e Volume produzido (m^3) (10.418,43). Já o clone CL12 é o clone que apresenta variáveis com os menores valores: Custo total (R\$) (49.991,32), Área plantada (ha) (11,27) e Volume produzido (m^3) (3.967,87).

4.2 Análise de *Boxplot*

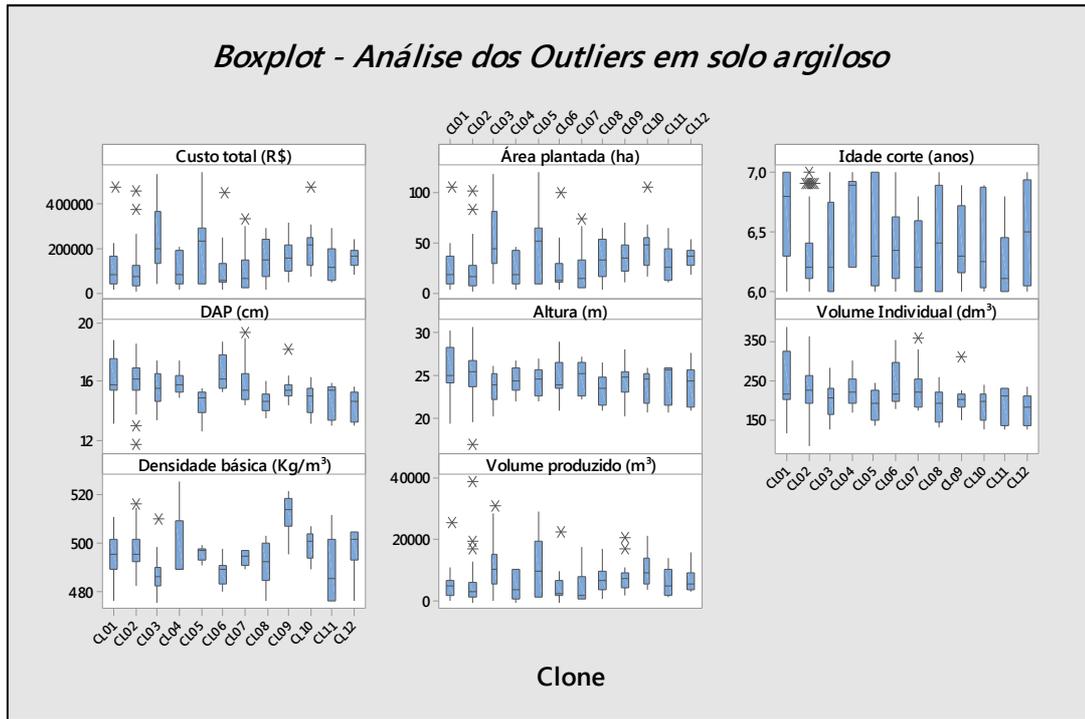
O *boxplot* é resultado da amostra de dados utilizada conforme apresentado na Tabela 5, esses dados são analisados de forma individual para cada uma das variáveis e por tipo de clone. Nessa análise de dados verifica-se a presença de *outliers*, os quais são representados por asteriscos (*). A Figura 14 apresenta de forma detalhada a análise de *boxplot* para o tipo de solo arenoso.



Fonte: Base de dados do estudo.

Figura 14 - Análise de *boxplot* das variáveis em solo arenoso.

É possível verificar a presença de 52 *outliers*, sendo a variável DAP (cm) a que apresenta o maior número (11 *outliers*). Entretanto, a variável Idade corte (anos) é a única variável que não possui *outliers*. Verifica-se também que os clones CL09 e CL11 são os que apresentaram maior número de *outliers*, com valores de 21 e 10 respectivamente e que os clones CL02, CL08 e CL10 são os que apresentaram os menores números de *outliers* com 2 valores cada. Na sequência a Figura 15 apresenta de forma detalhada a análise de *boxplot* para o tipo de solo argiloso.



Fonte: Base de dados do estudo.

Figura 15 - Análise de *boxplot* das variáveis em solo argiloso.

É possível verificar a presença de 36 *outliers*, sendo a variável Volume produzido (m^3) que apresenta o maior número (8 *outliers*). Verifica-se também que o clone CL02 apresenta o maior número (18 *outliers*) e que os clones CL04, CL05, CL08, CL11 e CL12 não apresentam *outliers*. Uma vez identificados a presença dos *outliers* para ambos os tipos de solos, esses dados foram excluídos do trabalho e detalhados conforme o APÊNDICE C.

4.3 Análise após eliminação *outliers*

A análise dos dados referentes ao Coeficiente de Variação (CoefVar) para o tipo de solo arenoso apresenta uma grande variação entre as variáveis. A Tabela 8 exibe de maneira detalhada essas variações.

Tabela 8 – Análise estatística após eliminação dos *outliers* em solo arenoso – (CoefVar).

Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm^3)	Densidade básica (Kg/m^3)	Volume produzido (m^3)
CL01	77,18	77,18	6,40	3,47	3,74	10,83	1,63	74,95
CL02	54,65	54,65	5,43	7,02	8,89	22,54	0,94	67,00
CL03	58,73	58,73	5,77	7,42	7,72	22,94	0,79	60,92
CL08	66,47	66,47	3,95	3,64	5,24	14,55	1,22	66,37
CL09	52,78	52,78	4,39	4,25	4,79	11,80	0,95	51,56
CL10	66,31	66,31	4,93	6,53	7,56	20,58	1,10	56,13
CL11	59,02	59,02	4,60	4,87	6,48	15,09	1,64	56,81
CL12	41,50	41,50	4,71	4,88	5,47	14,42	1,61	43,45

Fonte: Base de dados do estudo.

É possível identificar que o clone CL01 apresenta os maiores valores de variação: Custo total (R\$) e Área plantada (ha), ambos com (77,18), Idade corte (anos) (6,40) e Volume produzido (m³) (74,95). Os clones CL01 e CL12 são os clones que apresentaram as menores variações: DAP (cm) (3,47), Altura (m) (3,74) e Volume Individual (dm³) (10,83) para o clone CL01 e Custo total (R\$) e Área plantada (ha) com (41,50) e Volume produzido (m³) (43,45) para o clone CL12.

Outro ponto verificado está relacionado a grande variação no tamanho das áreas de plantio. Analisando-se sua amplitude, o clone CL02 apresenta a maior variação com 82,05 ha e o clone CL12 apresenta a menor variação com 50,91 ha. Essa variação influencia diretamente na quantidade mudas a serem plantadas e conseqüentemente no seu Volume produzido (m³). Realizando-se as análises para o tipo de solo argiloso, também é identificado uma grande variação entre as variáveis. A Tabela 9 apresenta de forma detalhada essas variações.

Tabela 9 – Análise estatística após eliminação dos *outliers* em solo argiloso – (CoefVar).

Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
CL01	76,05	76,05	5,35	8,60	10,23	28,10	1,60	60,00
CL02	80,78	80,78	2,50	5,97	6,83	17,97	1,24	80,67
CL03	65,42	65,42	5,67	7,05	7,16	21,07	1,33	66,79
CL04	74,51	74,51	5,19	4,59	6,40	17,69	2,69	84,09
CL05	91,48	91,48	6,77	6,67	7,10	21,48	0,55	94,47
CL06	90,97	90,97	5,55	7,30	9,58	24,43	1,08	79,42
CL07	104,97	104,97	5,18	8,27	6,76	20,98	0,62	100,47
CL08	62,59	62,59	6,44	5,17	7,62	20,73	1,64	57,18
CL09	43,24	43,24	5,37	3,60	7,73	11,47	1,44	38,38
CL10	39,25	39,25	6,34	7,04	8,05	22,54	1,22	45,02
CL11	65,85	65,85	5,06	7,84	9,42	24,63	2,79	71,58
CL12	31,95	31,95	6,80	6,77	9,82	22,22	1,94	53,82

Fonte: Base de dados do estudo.

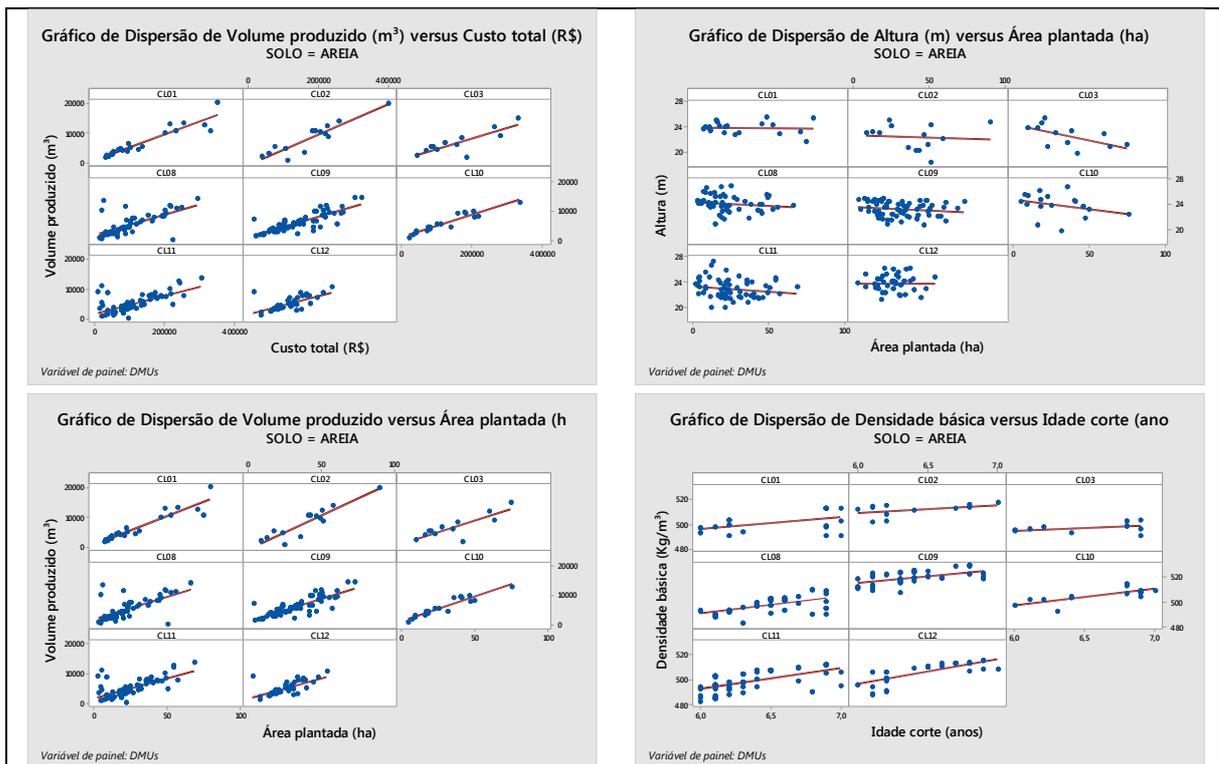
Identifica-se que os clones CL01 e CL07 são os clones que apresentam os maiores valores de variação: DAP (cm) (8,60), Altura (m) (10,23) e Volume Individual (dm³) (28,10) para o clone CL01 e Custo total (R\$) e Área plantada (ha) com valor de (104,97) e Volume produzido (m³) (100,47) para o clone CL07. Já o clone CL09 é o clone que apresenta as menores variações: DAP (cm) (3,60), Volume Individual (dm³) (11,47) e Volume produzido (m³) (38,38).

Também é verificado uma grande variação no tamanho das áreas de plantio sendo os clones CL05 (115,31 ha) e CL12 (35,956 ha) os que apresentaram o maior e menor valores

respectivamente. Essa variação influencia diretamente na quantidade mudas a serem plantadas e conseqüentemente no Volume produzido (m^3).

4.4 Desenvolvimento DEA

A Figura 16 apresenta de maneira resumida os Gráficos de dispersão referentes ao tipo de solo arenoso.

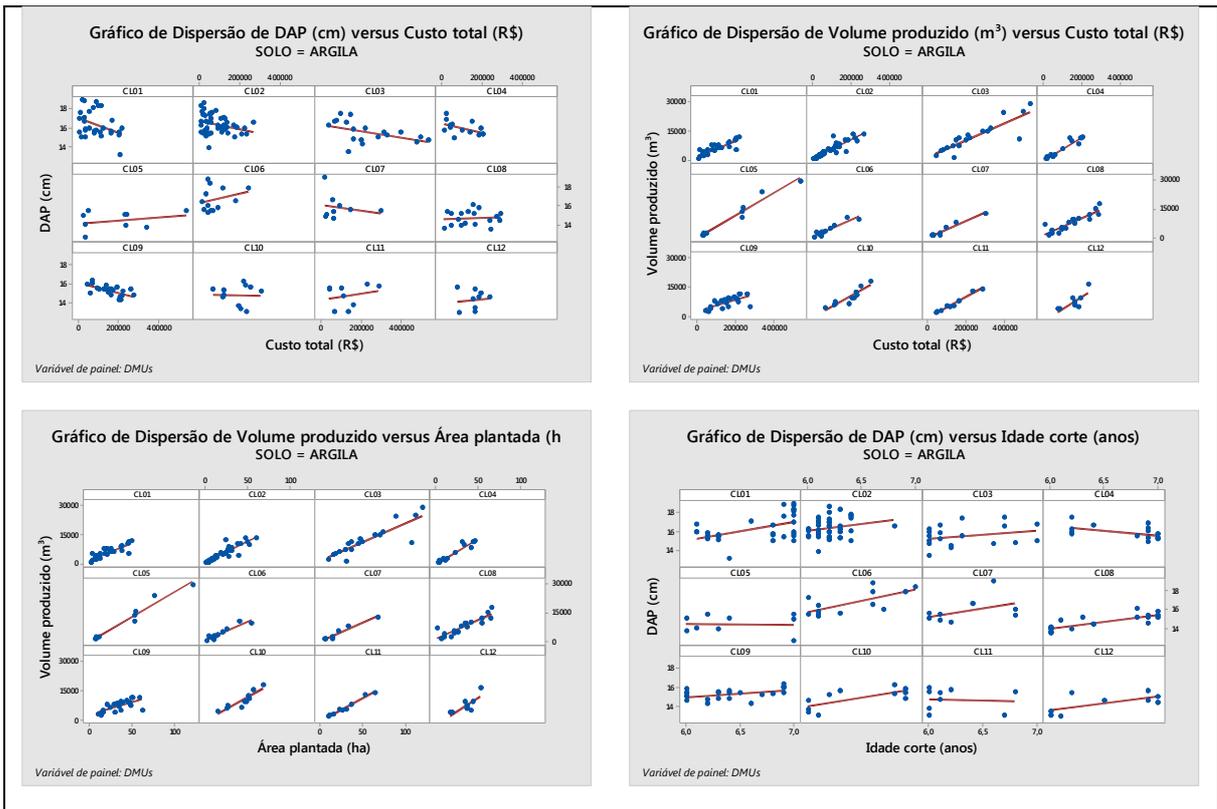


Fonte: Base de dados do estudo.

Figura 16 - Gráficos de dispersão para solo arenoso.

As análises da dispersão dos dados apresentam para as variáveis Volume produzido (m^3) e Custo total (R\$), Volume produzido (m^3) e Área plantada (ha) e Densidade básica (kg/m^3) e Idade de corte (anos) uma correlação positiva para todos os clones analisados. Para as variáveis Altura (m) e Área plantada (ha) apresentam uma correlação nula para o clone CL22 e correlação negativa para os demais clones.

A Figura 17 apresenta de maneira resumida os Gráficos de dispersão referentes ao tipo de solo argiloso.



Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 17 - Gráficos de dispersão para solo argiloso.

As análises da dispersão dos dados apresentam para as variáveis DAP (cm) e Custo total (R\$) uma correlação positiva para os clones CL05, CL06, CL08, CL11 e CL12 e correlação negativa para os demais clones. Avalia-se que as variáveis Volume produzido (m³) e Custo total (R\$) e Volume produzido (m³) e Área plantada (ha) apresentam uma correlação positiva para todos os clones analisados. Já as variáveis DAP (cm) e Idade de corte (anos) apresentam uma correlação negativa para os clones CL04, CL05 e CL11 e correlação positiva para os demais clones avaliados.

Identifica-se que ambos os tipos de solos exibem pouca proporcionalidade, caracterizando rendimento de escala variáveis. Essa indicação indica que o modelo a ser utilizado é o DEA-BCC, conforme apresentado no item 2.7.2 e detalhado nas análises apresentadas no APÊNDICE D.

Para ambos os modelos em função de seu tipo de solo, opta-se pela utilização da orientação ao *input*. Essa determinação é tomada visando estar de encontro ao objetivo central desse trabalho, o qual visa a minimização do Custo total (R\$). O modelo DEA-BCC orientado ao *input* utilizado nesse trabalho está representado pelas equações (25), (26) e (27) (Adaptado de KASSAI, 2002):

$$\min h_0 = \sum_{i=1}^n v_i x_{ki} + v_k \quad (25)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1 \quad (26)$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{jr} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ji} - v_k \leq 0 \quad (27)$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

$$r = 1, \dots, m; \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, N$$

$y =$ saídas; $x =$ entradas; $u, v =$ pesos

Sendo:

- h_0 eficiência do clone de eucalipto (DMU₀) em análise;
- x_{ki} representa as variáveis de *input* k do clone de eucalipto (DMU _{i});
- y_{rk} representa as variáveis de *output* r do clone de eucalipto (DMU _{i});
- v_i representa o peso atribuído as variáveis de *input* i ;
- u_r representa o peso atribuído as variáveis de *output* r ;
- v_k representa os retornos variáveis de escala.

A classificação das variáveis como *inputs* ou *outputs* ocorre de acordo com sua finalidade, visando sua minimização ou maximização, conforme definido e apresentado no item 3.1.7. O Quadro 13 apresenta as classificações das variáveis estudadas no trabalho.

Quadro 13 – Classificação das variáveis estudadas no trabalho (Base de dados do estudo).

<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>
Área plantada (ha); Custo Total (R\$); Idade de corte (Anos).	Altura (m); Densidade Básica (Kg/m ³); Diâmetro na Altura do Peito – DAP (cm); Volume Individual (dm ³); Volume produzido (m ³).

Como resultado da análise dos dados é identificado a aderência das DMUs para os modelos DEA-BCC, sendo essas representadas por 12 clones de eucalipto. Desse total de clones, 8 clones estão localizados em solo arenoso e 12 clones em solo argiloso, sendo 8 desses clones dispostos em ambos os solos. O Quadro 14 detalha para cada tipo de solo os clones utilizados.

Quadro 14 – Clones utilizados no período avaliado por tipo de solo (Base de dados do estudo).

Tipo de solo	Clones
Areia	CL01, CL02, CL03, CL08, CL09, CL10, CL11 e CL12.
Argila	CL01, CL02, CL03, CL04, CL05, CL06, CL07, CL08, CL09, CL10, CL11 e CL12.

Conforme apresentado no item 3.1.7, é definido que a quantidade de DMUs utilizadas no modelo DEA deve ser de pelo menos o dobro do produto do número de entradas e saídas. Isso ocorre em virtude do número de clones mínimos apresentado pelo tipo de solo arenoso (8 clones) e também em função do seu nível de discriminação. Para o tipo de solo argiloso, opta-se pela utilização das mesmas variáveis determinados para o tipo de solo arenoso, visando uma padronização entre os modelos.

4.4.1 Teste de normalidade dos dados

Nas análises dos testes de normalidade aplicados as variáveis para cada tipo de solo, é possível identificar para o solo arenoso que as variáveis analisadas se mostram não normais ($p \leq 0,05$) em 39,06% (25 variáveis), sendo a variável Idade de corte (anos) com maior número (8 clones) e as variáveis DAP (cm) e Volume Individual (dm³) as com o menor número (1 clone). O clone CL11 corresponde ao clone com o maior número de variáveis não normais (6

variáveis) e os clones CL03 e CL10 correspondem aos clones com os menores números (1 variável).

Entretanto, para o tipo de solo argiloso, é possível verificar que as variáveis analisadas se mostram não normais ($p \leq 0,05$) em 35,42% (34 variáveis), sendo a variável Idade de corte (anos) a com maior número (10 clones) e as variáveis DAP (cm) e Volume Individual (dm^3) com o menor número (2 clones). O clone CL01 corresponde ao clone com o maior número de variáveis não normais (6 variáveis) e os clones CL03, CL05, CL08 e CL12 correspondem aos clones com os menores números (1 variável). Os detalhes dessas análises são apresentados no APÊNDICE E.

É possível também constatar uma ampla variação do Coeficiente de Variação (CoefVar) conforme apresentado no item 4.3 para ambos os tipos de solo. Com base nisso, é optado pela utilização da soma dos valores acumulados para as variáveis Custo total (R\$), Área plantada (ha) e Volume produzido (m^3) e da mediana dos dados para as demais variáveis, visando a realização da seleção das variáveis que serão utilizadas nos modelos DEA-BCC. A Tabela 10 apresenta os valores das variáveis para o tipo de solo arenoso.

Tabela 10 – Dados utilizados no modelo DEA-BCC para o tipo de solo arenoso.

Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm^3)	Densidade básica (Kg/m^3)	Volume produzido (m^3)
CL01	2.967.133,78	668,68	6,60	15,16	23,82	187,61	498,38	143.011,34
CL02	2.449.833,35	552,10	6,20	14,65	22,75	162,47	513,27	112.500,65
CL03	1.884.876,30	424,78	6,80	15,39	22,84	177,80	496,41	77.122,51
CL08	5.890.648,92	1.327,53	6,50	14,83	24,04	191,08	497,97	305.294,31
CL09	9.656.186,06	2.176,14	6,30	14,69	23,33	170,70	518,96	410.401,61
CL10	2.264.842,30	510,41	6,80	15,13	24,18	187,26	506,91	106.311,34
CL11	7.519.759,26	1.694,67	6,20	14,35	22,61	157,08	497,76	349.569,66
CL12	4.736.640,27	1.067,46	6,50	14,40	23,96	177,89	508,51	212.052,22

Fonte: Base de dados do estudo.

A Tabela 11 apresenta os valores das variáveis para o tipo de solo argiloso utilizadas nos modelos DEA-BCC.

Tabela 11 – Dados utilizados no modelo DEA-BCC para o tipo de solo argiloso.

Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
CL01	2.627.280,97	592,09	6,80	15,78	24,92	218,97	495,97	151.977,17
CL02	3.841.459,37	865,72	6,20	16,15	25,77	226,14	495,60	207.768,23
CL03	4.420.970,75	996,32	6,20	15,48	23,73	191,01	485,41	217.219,42
CL04	1.387.676,84	312,73	6,90	15,78	24,24	216,50	490,00	75.959,37
CL05	1.724.601,02	388,66	6,30	14,91	24,59	191,13	496,91	99.258,63
CL06	959.610,49	216,26	6,30	16,42	23,90	216,06	490,00	50.092,00
CL07	763.304,36	172,02	6,20	15,45	25,24	218,61	494,80	35.831,84
CL08	2.604.739,49	587,01	6,40	14,66	23,55	190,39	492,48	139.606,07
CL09	3.483.901,72	785,14	6,40	15,43	24,33	198,12	515,26	165.199,60
CL10	2.020.302,69	455,30	6,30	15,21	24,68	195,13	501,37	105.319,83
CL11	1.151.434,98	259,49	6,10	15,41	25,59	210,86	485,57	57.400,88
CL12	1.407.999,68	317,31	6,50	14,58	24,25	178,27	502,18	66.353,86

Fonte: Base de dados do estudo.

4.4.2 Análise de correlação das variáveis

Adotando como base os dados obtidos dos testes de normalidade e contidos no item 4.4.1, verifica-se que algumas variáveis apresentam dados não normais e correlação não lineares entre as variáveis. Em virtude disso, a análise de correlação entre os grupos de variáveis de *inputs* e *outputs* é realizada verificando-se coeficiente de correlação de Spearman, conforme apresentado no item 2.7.1. A Tabela 12 apresenta as correlações para o tipo de solo arenoso.

Tabela 12 – Correlações entre os pares *inputs* e *outputs* - solo arenoso.

Variáveis	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
Custo total (R\$)	1,00							
Área plantada (ha)	1,00	1,00						
Idade corte (anos)	-0,66	-0,66	1,00					
DAP (cm)	-0,62	-0,62	0,84	1,00				
Altura (m)	-0,14	-0,14	0,62	0,36	1,00			
Volume Individual (dm ³)	-0,19	-0,19	0,66	0,57	0,86	1,00		
Densidade básica (Kg/m ³)	0,29	0,29	-0,36	-0,33	0,14	-0,14	1,00	
Volume produzido (m ³)	1,00	1,00	-0,66	-0,62	-0,14	-0,19	0,29	1,00

Fonte: Base de dados do estudo.

Analisando-se as correlações para as variáveis em solo arenoso, é possível identificar para o grupo de *inputs* as variáveis Custo total (R\$) e Área plantada (ha) possuem uma correlação Forte (1,00). Para o grupo de *outputs*, as variáveis Altura (m) e Volume Individual (dm³) apresentaram correlação Forte (0,86) entre si. Também é possível verificar

uma correlação negativa entre as variáveis DAP (cm) e Custo total (R\$) (-0,62), DAP (cm) e Área plantada (ha) (-0,62), Altura (m) e Custo total (R\$) (-0,14), Altura (m) e Área plantada (ha) (-0,14), Volume Individual (dm³) e Custo total (R\$) (-0,19), Volume Individual (dm³) e Área plantada (ha) (-0,19), Densidade básica (Kg/m³) e Idade corte (anos) (-0,36) e Volume produzido (m³) e Idade corte (anos) (-0,66). A Tabela 13 apresenta as correlações para o tipo de solo argiloso.

Tabela 13 – Correlações entre os pares *inputs* e *outputs* - solo argiloso.

Variáveis	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
Custo total (R\$)	1,00							
Área plantada (ha)	1,00	1,00						
Idade corte (anos)	0,06	0,06	1,00					
DAP (cm)	0,06	0,06	-0,10	1,00				
Altura (m)	-0,10	-0,10	-0,42	0,17	1,00			
Volume Individual (dm ³)	-0,12	-0,12	-0,11	0,80	0,63	1,00		
Densidade básica (Kg/m ³)	0,18	0,18	0,40	-0,40	0,23	-0,14	1,00	
Volume produzido (m ³)	0,99	0,99	0,07	0,12	-0,11	-0,06	0,13	1,00

Fonte: Base de dados do estudo.

Em solo argiloso, é verificado para o grupo de *inputs* as variáveis Custo total (R\$) e Área plantada (ha) possuem correlação Forte (1,00). Já para o grupo de *outputs*, as variáveis DAP (cm) e Volume Individual (dm³) apresentam uma correlação Forte (0,80). Também é possível verificar uma correlação negativa entre as variáveis DAP (cm) e Idade corte (anos) (-0,10), Altura (m) e Custo total (R\$) (-0,10), Altura (m) e Área plantada (ha) (-0,10), Altura (m) e Idade corte (anos) (-0,42), Volume Individual (dm³) e Custo total (R\$) (-0,12), Volume Individual (dm³) e Área plantada (ha) (-0,12) e Volume Individual (dm³) e Idade corte (anos) (-0,11).

Entretanto, a variável Idade corte (anos) apresenta para ambos os tipos solos uma correlação de -0,66 com as variáveis Custo total (R\$) e Área plantada (ha). Para o tipo de solo argiloso apresenta-se correlações pequenas para ambas as variáveis contidas no grupo de *inputs*. Também é possível verificar correlações negativas junto as variáveis Densidade básica (Kg/m³) (-0,36) e Volume produzido (m³) (-0,66) para o tipo de solo arenoso. Dessa maneira, opta-se pela retirada dessa variável do modelo DEA-BCC.

Para ambos os tipos de solo as variáveis Custo total (R\$) e Área plantada (ha) possuem correlação Forte (1,00) e também possuem uma correlação negativa junto as variáveis DAP (cm), Altura (m) e Volume Individual (dm^3) para o tipo de solo arenoso e Altura (m) e Volume Individual (dm^3) para o tipo de solo argiloso. Em virtude disso a variável Área plantada (ha) é retirada do modelo, mantendo-se a variável Custo total (R\$), a qual está melhor alinhada junto ao objetivo desse trabalho.

Em conjunto com especialistas da área acadêmica e da empresa objeto do estudo realizou-se análise crítica dessas variáveis, visando propor quais são as variáveis mais relevantes a serem mantidas no modelo. Decorrente disso, verifica-se que as variáveis DAP (cm) e Altura (m) são valores obtidos através de dados amostrais ocorridos antes da realização da colheita da madeira, os quais compõe o valor da variável Volume Individual (dm^3), conforme apresentado na Equação (1). Também é possível avaliar uma correlação negativa dessas variáveis junto as variáveis Custo total (R\$), Área plantada e Idade corte (anos) para ambos os tipos de solos. Sendo assim, opta-se pela retirada dessas variáveis dos modelos.

É possível afirmar a não existência de uma correlação negativa entre a variável Idade corte (anos) em relação as variáveis DAP (cm), Altura (m) e Volume Individual (dm^3). No entanto, para cada tipo de clone individualmente, pode ocorrer variações com relação as suas variáveis em função de características ambientais, como por exemplo tipo de solo, pluviosidade, entre outras. Verificando individualmente cada clone em função do seu tipo de solo, é também possível verificar para o tipo de solo arenoso que os clones CL02 e CL11 e para o tipo de solo argiloso que os CL04, CL05 e CL11 apresentam correlação negativa em relação a Idade corte (anos).

Isso pode ser explicado analisando-se a distribuição dos dados ao longo dos 6,00 à 7,00 anos estudados. É possível verificar que para o tipo de solo arenoso o clone CL02 apresenta um número menor de dados, sendo esses pouco concentrados nas idades entre 6,50 e 7,00 anos e apresentando valores inferiores a idade de 6,00 a 6,50 anos. Já o clone CL11 apresenta uma concentração de seus dados com idade entre 6,00 e 6,50 anos, sendo esses superiores as idades de 6,50 a 7,00 anos.

Para o tipo de solo argiloso, é verificado que o clone CL04 apresenta um número menor de dados, sendo esses pouco concentrados nas idades entre 6,00 e 6,50 anos e apresentando valores inferiores a idade de 6,50 a 700 anos. Já os clones CL05 e CL1 apresentam uma concentração de seus dados com idade entre 6,00 e 6,50 anos, sendo esses superiores as idades de 6,50 a 7,00 anos.

Também é possível verificar que para a elaboração das Tabela 12 e Tabela 13 utiliza-se de maneira conjunta para cada variável os dados no período de 2011 a 2016, sem fazer distinção dos tipos de clones avaliados e idades de corte, que variam de 6,00 à 7,00 anos. A dispersão e agrupamento desses dados utilizando o valor Mediano, contribui diretamente para a obtenção dessa correlação negativa. Maiores detalhes podem ser encontrados no APÊNDICE D.

Analisando-se o número de DMUs entre os modelos, verifica-se diferentes quantidade entre os tipos de solos, definindo-se assim como 3 o valor máximo de variáveis utilizadas no modelo e utilizadas as variáveis: Custo total (R\$), Densidade básica (Kg/m³) e Volume produzido (m³). A Tabela 14 apresenta as variáveis definidas e utilizadas nos modelos DEA-BCC para ambos os tipos de solos.

Tabela 14 – Variáveis utilizadas nos modelos DEA-BCC.

DMUs	Solo arenoso			DMUs	Solo argiloso		
	<i>Input</i> Custo total (R\$)	<i>Output</i> Densidade básica (Kg/m ³)	<i>Output</i> Volume produzido (m ³)		<i>Input</i> Custo total (R\$)	<i>Output</i> Densidade básica (Kg/m ³)	<i>Output</i> Volume produzido (m ³)
CL01	2.967.133,78	498,38	143.011,34	CL01	2.627.280,97	495,97	151.977,17
CL02	2.449.833,35	513,27	112.500,65	CL02	3.841.459,37	495,60	207.768,23
CL03	1.884.876,30	496,41	77.122,51	CL03	4.420.970,75	485,41	217.219,42
CL08	5.890.648,92	497,97	305.294,31	CL04	1.387.676,84	490,00	75.959,37
CL09	9.656.186,06	518,96	410.401,61	CL05	1.724.601,02	496,91	99.258,63
CL10	2.264.842,30	506,91	106.311,34	CL06	959.610,49	490,00	50.092,00
CL11	7.519.759,26	497,76	349.569,66	CL07	763.304,36	494,80	35.831,84
CL12	4.736.640,27	508,51	212.052,22	CL08	2.604.739,49	492,48	139.606,07
				CL09	3.483.901,72	515,26	165.199,60
				CL10	2.020.302,69	501,37	105.319,83
				CL11	1.151.434,98	485,57	57.400,88
				CL12	1.407.999,68	502,18	66.353,86

Fonte: Base de dados do estudo.

Essa decisão visa padronizar as variáveis para ambos os modelos em função do tipo de solo e também para a obtenção de um maior nível de discriminação conforme o apresentado no item 3.1.7, utilizando-se somente as variáveis que estão diretamente associadas aos objetivos centrais deste trabalho.

4.5 Resultados e discussão dos modelos DEA

4.5.1 DEA-BCC em solo Arenoso

Analisando-se os cálculos individualmente para cada tipo de modelo DEA-BCC, em função de seu tipo de solo, verifica-se para o tipo de solo arenoso o total de 8 clones

avaliados, sendo que 5 se mostram eficientes, ou seja, apresentam eficiência relativa igual a 1 (100,00%).

Observa-se uma diferença entre os desempenhos de eficiência relativa para os 8 clones, variando de 93,50% a 100,00%. Para os clones que se mostram ineficientes, podem considerar a possibilidade de se reduzir seus valores de entrada mantendo-se seus valores de saída, de maneira que esses clones ineficientes passem para o grupo de eficientes, ou seja, com desempenhos iguais a 100,00%. Dentre os clones classificados como ineficientes, o clone CL12 apresenta valor de eficiência abaixo de 95,00%.

Avaliando-se a Idade corte (anos), conforme apresentado na Tabela 10, verifica-se que os clones classificados como eficientes possuem uma variação de sua idade entre 6,20 à 6,80 anos, sendo o clone CL02 com a menor idade. Entretanto, os clones classificados como ineficientes possuem uma variação em sua Idade corte (anos) entre 6,20 e 6,60 anos, sendo o clone CL01 o que apresenta a maior idade. A Tabela 15 apresenta o desempenho e a classificação desses clones em solo arenoso.

Tabela 15 – Eficiência e posicionamento dos clones – Solo arenoso.

Categoria	DMUs	Eficiência (%)	Posição
Clones eficientes	CL02	100,00	1°
	CL03	100,00	1°
	CL08	100,00	1°
	CL09	100,00	1°
	CL10	100,00	1°
Clones ineficientes	CL11	99,43	2°
	CL01	98,87	3°
	CL12	93,50	4°

Fonte: Base de dados do estudo.

Com relação aos pesos utilizado pelo modelo DEA-BCC, a Tabela 16 apresenta detalhadamente os resultados para cada clone e variável utilizada para o tipo de solo arenoso.

Tabela 16 – Peso das variáveis por clone – Solo arenoso.

DMUs	Peso Custo total (R\$)	Peso Densidade básica (Kg/m³)	Peso Volume produzido (m³)	u0
CL01	0,00000034	0,00000000	0,00000614	0,11043307
CL02	0,00000041	0,00444045	0,00000764	-2,13836430
CL03	0,00000053	0,00099723	0,00000655	0,00000000
CL08	0,00000017	0,00000000	0,00000328	0,00000000
CL09	0,00000010	0,00000000	0,00000371	-0,52264088
CL10	0,00000044	0,00028274	0,00000806	0,00000000
CL11	0,00000013	0,00000000	0,00000476	-0,67112755
CL12	0,00000021	0,01360146	0,00000485	-7,00933430

Fonte: Base de dados do estudo.

Observa-se que o clone CL12 apresenta o maior percentual de redução de entrada para a variável Custo total (R\$), com valor igual a -6,50%. Os clones CL02, CL03, CL08, CL09 e CL10 são considerados eficientes por não apresentarem folgas e diferenças em suas entradas e saídas, sendo sua utilização adequada e sem apresentação de excessos ou insuficiência. A Tabela 17 apresenta de forma detalhada os valores atuais, folgas, alvos e diferenças para cada clone.

Tabela 17 – Alvos das variáveis por clone – Solo arenoso.

DMUs	Variável	Atual	Folga	Alvo	Diferença (%)
CL01	Custo total (R\$)	2.967.133,78	0,00	2.933.578,44	-1,13%
	Densidade básica (Kg/m ³)	498,38	6,88	505,26	1,38%
	Volume produzido (m ³)	143.011,34	0,00	143.011,34	0,00%
CL02	Custo total (R\$)	2.449.833,35	0,00	2.449.833,35	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	513,27	0,00	513,27	0,00%
	Volume produzido (m ³)	112.500,65	0,00	112.500,65	0,00%
CL03	Custo total (R\$)	1.884.876,30	0,00	1.884.876,30	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	496,41	0,00	496,41	0,00%
	Volume produzido (m ³)	77.122,51	0,00	77.122,51	0,00%
CL08	Custo total (R\$)	5.890.648,92	0,00	5.890.648,92	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	497,97	0,00	497,97	0,00%
	Volume produzido (m ³)	305.294,31	0,00	305.294,31	0,00%
CL09	Custo total (R\$)	9.656.186,06	0,00	9.656.186,06	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	518,96	0,00	518,96	0,00%
	Volume produzido (m ³)	410.401,61	0,00	410.401,61	0,00%
CL10	Custo total (R\$)	2.264.842,30	0,00	2.264.842,30	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	506,91	0,00	506,91	0,00%
	Volume produzido (m ³)	106.311,34	0,00	106.311,34	0,00%
CL11	Custo total (R\$)	7.519.759,26	0,00	7.476.842,03	-0,57%
	Densidade básica (Kg/m ³)	497,76	9,05	506,81	1,82%
	Volume produzido (m ³)	349.569,66	0,00	349.569,66	0,00%
CL12	Custo total (R\$)	4.736.640,27	0,00	4.428.862,47	-6,50%
	Densidade básica (Kg/m ³)	508,51	0,00	508,51	0,00%
	Volume produzido (m ³)	212.052,22	0,00	212.052,22	0,00%

Fonte: Base de dados do estudo.

Os clones classificados como eficientes são considerados *benchmarks* para os demais clones, variando conforme a utilização das variáveis de entrada e saídas do modelo DEA-BCC. Os clones CL02, CL03, CL08, CL09 e CL10 são considerados os principais *benchmarks* para os demais clones ineficientes. A Tabela 18 apresenta os resultados de *benchmarks* dos clones produzidos em solo arenoso.

Tabela 18 – *Benchmarks* por tipo de clone – Solo arenoso.

<i>Benchmarks</i>	Clones ineficientes	Índice de referência (%)
CL02	CL01	0,00%
	CL11	0,00%
	CL12	54,20%
CL03	CL01	0,00%
	CL11	0,00%
	CL12	0,00%
CL08	CL01	18,44%
	CL11	57,88%
	CL12	35,09%
CL09	CL01	0,00%
	CL11	42,12%
	CL12	10,71%
CL10	CL01	81,56%
	CL11	0,00%
	CL12	0,00%

Fonte: Base de dados do estudo.

O clone CL10 apresenta o melhor índice de eficiência de 81,56% perante o clone CL01 avaliados como ineficiente. Já os clones CL08 e CL02 são os principais *benchmarks* para os clones CL11 (57,88%) e CL12 (54,20%) respectivamente.

4.5.2 DEA-BCC em solo Argiloso

Analisando-se para o tipo de solo argiloso, é possível verificar que do total de 12 clones avaliados, 8 se mostram eficientes, ou seja, apresentam eficiência igual a 1 (100,00%). Observa-se uma diferença entre os desempenhos de eficiência relativa para os 12 clones, variando de 92,73% a 100,00%. Dentre os clones classificados como ineficientes, os clones CL08 e CL11 apresentam valores de eficiência abaixo de 95,00%.

Com relação a Idade corte (anos), conforme apresentado na Tabela 11, verifica-se que os clones classificados como eficientes apresentam uma variação entre 6,20 e 6,80 anos, sendo os clones CL02, CL03 e CL07 os que apresentam a menor Idade de corte (anos) correspondente a 6,20 anos e o clone CL01 o que apresenta maior Idade de corte (anos) que equivale a 6,80 anos. Quanto aos clones classificados como ineficientes, sua variação está entre 6,10 e 6,90 anos, sendo o clone CL04 o que possui maior Idade de corte (anos) de 6,90 anos. A Tabela 19 apresenta o desempenho e a classificação para os clones em solo argiloso.

Tabela 19 – Eficiência e posicionamento dos clones – Solo argiloso.

Categoria	DMUs	Eficiência (%)	Posição
Clones eficientes	CL01	100,00%	1º
	CL02	100,00%	1º
	CL03	100,00%	1º
	CL05	100,00%	1º
	CL06	100,00%	1º
	CL07	100,00%	1º
	CL09	100,00%	1º
	CL12	100,00%	1º
Clones ineficientes	CL10	98,71%	2º
	CL04	98,16%	3º
	CL11	93,22%	4º
	CL08	92,73%	5º

Fonte: Base de dados do estudo.

Quanto aos pesos utilizado pelo modelo DEA-BCC para o solo argiloso, a Tabela 20 apresenta de forma detalhada os resultados para cada clone e variável utilizada.

Tabela 20 – Peso das variáveis por clone – Solo argiloso.

DMUs	Peso Custo total (R\$)	Peso Densidade básica (Kg/m³)	Peso Volume produzido (m³)	u0
CL01	0,00000038	0,00000000	0,00000652	0,00952788
CL02	0,00000026	0,00000000	0,00000567	-0,17706592
CL03	0,00000023	0,00000000	0,00001387	-2,01270410
CL04	0,00000072	0,00000000	0,00001121	0,12987318
CL05	0,00000058	0,00002911	0,00000993	0,00000000
CL06	0,00000104	0,00038887	0,00001616	0,00000000
CL07	0,00000131	0,00069798	0,00001827	0,00000000
CL08	0,00000038	0,00000000	0,00000657	0,00961034
CL09	0,00000029	0,00842633	0,00000630	-4,38294060
CL10	0,00000049	0,01925786	0,00000785	-9,49465320
CL11	0,00000087	0,00000000	0,00001351	0,15651947
CL12	0,00000071	0,02032087	0,00001009	-9,87412570

Fonte: Base de dados do estudo.

A Tabela 21 apresenta detalhadamente os valores atuais, folgas, alvos e diferenças para cada tipo clone em solo argiloso.

Tabela 21 – Alvos das variáveis por clone – Solo argiloso.

DMUs	Variável	Atual	Folga	Alvo	Diferença (%)
CL01	Custo total (R\$)	2.627.280,97	0,00	2.627.280,97	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	495,97	0,00	495,97	0,00%
	Volume produzido (m ³)	151.977,17	0,00	151.977,17	0,00%
CL02	Custo total (R\$)	3.841.459,37	0,00	3.841.459,37	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	495,60	0,00	495,60	0,00%
	Volume produzido (m ³)	207.768,23	0,00	207.768,23	0,00%
CL03	Custo total (R\$)	4.420.970,75	0,00	4.420.970,75	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	485,41	0,00	485,41	0,00%
	Volume produzido (m ³)	217.219,42	0,00	217.219,42	0,00%
CL04	Custo total (R\$)	1.387.676,84	0,00	1.362.084,55	-1,84%
	Densidade básica (Kg/m ³)	490,00	3,64	493,64	0,74%
	Volume produzido (m ³)	75.959,37	0,00	75.959,37	0,00%
CL05	Custo total (R\$)	1.724.601,02	0,00	1.724.601,02	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	496,91	0,00	496,91	0,00%
	Volume produzido (m ³)	99.258,63	0,00	99.258,63	0,00%
CL06	Custo total (R\$)	959.610,49	0,00	959.610,49	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	490,00	0,00	490,00	0,00%
	Volume produzido (m ³)	50.092,00	0,00	50.092,00	0,00%
CL07	Custo total (R\$)	763.304,36	0,00	763.304,36	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	494,80	0,00	494,80	0,00%
	Volume produzido (m ³)	35.831,84	0,00	35.831,84	0,00%
CL08	Custo total (R\$)	2.604.739,49	0,00	2.415.455,23	-7,27%
	Densidade básica (Kg/m ³)	492,48	3,71	496,19	0,75%
	Volume produzido (m ³)	139.606,07	0,00	139.606,07	0,00%
CL09	Custo total (R\$)	3.483.901,72	0,00	3.483.901,72	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	515,26	0,00	515,26	0,00%
	Volume produzido (m ³)	165.199,60	0,00	165.199,60	0,00%
CL10	Custo total (R\$)	2.020.302,69	0,00	1.994.213,15	-1,29%
	Densidade básica (Kg/m ³)	501,37	0,00	501,37	0,00%
	Volume produzido (m ³)	105.319,83	0,00	105.319,83	0,00%
CL11	Custo total (R\$)	1.151.434,98	0,00	1.073.330,38	-6,78%
	Densidade básica (Kg/m ³)	485,57	5,46	491,03	1,12%
	Volume produzido (m ³)	57.400,88	0,00	57.400,88	0,00%
CL12	Custo total (R\$)	1.407.999,68	0,00	1.407.999,68	0,00%
	Densidade básica (Kg/m ³)	502,18	0,00	502,18	0,00%
	Volume produzido (m ³)	66.353,86	0,00	66.353,86	0,00%

Fonte: Base de dados do estudo.

Observa-se que os clones CL08, CL11, CL04 e CL10 apresentam os maiores percentuais de redução de entrada para a variável Custo total (R\$), respectivamente com valores -7,27%, -6,78%, -1,84% e -1,29%. A Tabela 22 apresenta os resultados de *benchmarks* dos clones produzidos em solo argiloso.

Tabela 22 – *Benchmarks* por tipo de clone – Solo argiloso.

<i>Benchmarks</i>	Clones Ineficientes	Índice de referência (%)
CL01	CL04	0,00%
	CL08	76,53%
	CL10	0,00%
	CL11	0,00%
CL05	CL04	52,61%
	CL08	23,47%
	CL10	61,99%
	CL11	14,87%
CL06	CL04	47,39%
	CL08	0,00%
	CL10	0,00%
	CL11	85,13%
CL09	CL04	0,00%
	CL08	0,00%
	CL10	18,78%
	CL11	0,00%

Fonte: Base de dados do estudo.

O clone CL05 é considerado o principal *benchmark* para os demais clones ineficientes. O clone CL01 apresenta o melhor índice de eficiência perante o clone CL08 (76,53%) e o clone CL06 diante ao clone ineficiente CL11 (85,13). Para os clones CL04 e CL10 o clone eficiente CL05 exibe os melhores índices de 52,61% e 61,99%.

4.5.3 Considerações sobre os resultados dos modelos DEA

Verifica-se também que os clones CL02, CL03 e CL09 são os clones que se apresentam eficientes para ambos os tipos de solos. Quanto a Idade corte (anos), pode-se verificar que o clone CL02 e CL09 possuem as menores idades para ambos os tipos de solo, sendo o clone CL02 com valor de 6,20 anos para ambos os tipos de solos e o clone CL09 de 6,30 anos para o tipo de solo arenosos e 6,40 anos para o tipo de solo argiloso. Entretanto, o clone CL11 se apresenta como ineficiente para os dois tipos de solos, podendo ser considerado como o clone a não ser mais utilizado.

4.6 Desenvolvimento dos modelos em PL

O cálculo das variáveis Custo unitário (R\$) e Volume individual (m³) utilizados nos modelos para o ano de 2016 são realizados de maneira individual para cada tipo de clone e solo conforme apresentado na Equação (23) e utilizando os dados contidos na Tabela 10.

Os valores da variável Custo unitário (R\$) são corrigidas para o ano de 2016, de forma individual para todos os clones em seus respectivos anos, em função do tipo de solo

aplicado ao modelo conforme apresentado na Equação (22). A Tabela 23 apresenta os valores de Custo unitário (R\$) e Volume individual (m³) para o tipo de solo arenoso.

Tabela 23 – Custos unitários (R\$) e Volume individual (m³) por clone – Solo arenoso.

DMUs	Custo unitário (R\$/clone)	Volume individual (m³)
CL01	3,54	0,1876
CL02	4,35	0,1625
CL03	3,69	0,1778
CL08	4,02	0,1911
CL09	3,99	0,1707
CL10	3,38	0,1873
CL11	3,97	0,1571
CL12	3,54	0,1779

Fonte: Base de dados do estudo.

Os clones utilizados no modelo PL em solo arenoso são constituídos pelos clones CL02, CL03, CL08, CL09 e CL10 em virtude de se apresentarem como os mais eficientes, conforme indicado no item 3.1.10.

A quantidade de clones a serem alocados em cada local para o ano de 2016 é calculada conforme apresentado na Equação (24) e também referenciado na Tabela 3 anteriormente. A Tabela 24 apresenta os locais e suas respectivas quantidade de mudas a serem alocadas e solo arenoso.

Tabela 24 –Quantidade (Qtd.) de clones por local – Solo arenoso.

Local (Horto e Talhão)	Quantidade de mudas (Qtd.)
H04T158	23.586
H04T159	21.286
H04T160	28.697
H04T161	25.175
H04T162	23.353
H04T163	20.964
H35T131	27.719
H35T132	20.297
H35T134	24.275
H35T136	5.266
H35T137	23.930
H37T204	55.894
H37T224	76.125
H37T225	51.472
H37T226	60.438
H41T39	49.061
H41T40	33.307
H41T50	42.395
Total	613.240

Fonte: Base de dados do estudo.

Conforme apresentado nos Quadro 9 e Quadro 10 a quantidade de clones a serem alocados não poderão exceder a 50,00% da quantidade total de clones alocados, devendo ser alocados todos os tipos de clones. Dessa maneira, a quantidade máxima de cada clone a ser alocado pelo modelo não poderá exceder a quantidade de 306.620 mudas por tipo de clone.

Outra restrição também avaliada se aplica aos clones que possuem restrições com relação as unidades fabris de celulose conforme apresentado no Quadro 11. Para esses clones a quantidade total a ser alocada pelo modelo PL não deve extrapolar a 1/3 da quantidade total clones alocados. Dessa forma, a quantidade a ser alocado pelo modelo não pode exceder a 204.413 mudas por tipo de clone.

Para a restrição referente ao plantio em mosaico, para a quantidade de um único clone não poderá exceder a 300 ha contínuos, ou seja, o modelo PL não poderá alocar mais que 333.300 mudas de um mesmo tipo de clone em sequência em um mesmo Horto.

Os valores de Custo unitário (R\$) e Volume individual (m³), para o tipo de solo argiloso são desenvolvidos a partir da Equação (23) e utilizando os dados contidos no modelo DEA-BCC, para o tipo de solo argiloso (Tabela 11). A Tabela 25 demonstra de maneira detalhada esses valores.

Tabela 25 – Custos unitários (R\$) e Volume individual (m³) por clone – Solo argiloso.

DMUs	Custo unitário (R\$)	Volume individual (m³)
CL01	3,79	0,2190
CL02	4,18	0,2261
CL03	3,89	0,1910
CL04	3,96	0,2165
CL05	3,32	0,1911
CL06	4,14	0,2161
CL07	4,66	0,2186
CL08	3,55	0,1904
CL09	4,18	0,1981
CL10	3,74	0,1951
CL11	4,23	0,2109
CL12	3,78	0,1783

Fonte: Base de dados do estudo.

Os clones utilizados no modelo PL em solo arenoso são constituídos pelos clones CL01, CL02, CL03, CL,05, CL06, CL07, CL09 e CL10 em virtude de se apresentarem como os mais eficientes, conforme indicado no item 3.1.10. Quanto a quantidade de clones a serem alocados em cada local para o ano de 2016 é calculada conforme apresentado na Equação (24) e utilizando os dados contidos no modelo DEA-BCC, para o tipo de solo arenoso (Tabela 3). A

Tabela 26 apresenta os locais e suas respectivas quantidade de mudas a serem alocadas e solo arenoso.

Tabela 26 –Quantidade (Qtd.) de clones por local – Solo arenoso.

Local (Horto e Talhão)	Quantidade de mudas (Qtd.)
H21T13	48.867
H32T147	10.397
H32T149	27.086
H32T150	34.631
H32T168	4.665
H32T169	6.984
H32T177	18.542
H32T185	26.126
H37T205	51.813
Total	229.111

Fonte: Base de dados do estudo.

Os Quadro 9 e Quadro 10 apresentam a quantidade de clones a serem alocados não poderão exceder a 50,00% da quantidade total de clones e devendo ser alocados todos os tipos de clones. Sendo assim, a quantidade máxima de cada clone a ser alocado no modelo não poderá extrapolar a quantidade de 114.555 mudas por tipo de clone.

A restrição aos clones aplicados aqueles com relação as unidades fabris de celulose, conforme apresentado no Quadro 11, sua quantidade total a ser alocada pelo modelo PL não deverá exceder a 1/3, ou seja, não poderá exceder a 76.370 mudas por tipo de clone.

A restrição referente ao plantio em mosaico, um único tipo de clone não poderá extrapolar a 300 ha contínuos, o que caracteriza que o modelo PL não poderá alocar mais que 399.900 mudas de um mesmo tipo de clone na sequência.

O modelo de minimização dos custos é apresentado nas equações (28), (29), (30), (32) e (33) listadas abaixo e seu detalhamento é apresentado conforme o Quadro 9.

$$\text{Min Custo total} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot x_{ij} \cdot l_{ij} \quad (28)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n l_{ij} \cdot x_{ij} \leq f_i \cdot \sum_{j=1}^n l_{ij} \quad (29)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j \quad (30)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k \in K(j)} l_{ij} \cdot x_{ij} \leq t_k \quad (31)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq 1 \quad (32)$$

$$C_{ij}, l_{ij}, f_i, t_k \geq 0$$

$$i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, q; \quad x = 0 \text{ ou } 1$$

Sendo:

- C_{ij} representa o custo de cada clone de eucalipto i no local j ;
- x_{ij} representa se o clone de eucalipto i foi alocado no local j ;
- l_{ij} representa a capacidade máxima de alocação de cada clone i no local j ;
- f_i representa a quantidade máxima de clones i a serem enviados para alocação no local j . A quantidade de cada clone a ser alocado não poderá exceder a 50,00% da quantidade total alocada, porém, alguns clones podem possuir restrições impostas pelas fábricas de celulose, não podendo exceder 1/3 (33,33%) da quantidade total alocada;
- d_j representa se o clone i foi alocado no local j ;
- t_k representa a quantidade máxima de clones i que poderão ser alocados em sequência nos locais j (plantio em mosaico);
- k representa o índice do local a ser plantado;
- k_j representa o subconjunto de j pertencente ao um local k .

Quanto ao modelo PL utilizado para a maximização dos volumes, construiu-se conforme apresentado nas equações (33), (34), (35), (36) e (39) listadas abaixo e seu detalhamento é exibido no Quadro 10.

$$\max \text{Volume total} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n V_{ij} \cdot x_{ij} \cdot l_{ij} \quad (33)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n l_{ij} \cdot x_{ij} \leq f_i \cdot \sum_{j=1}^n l_{ij} \quad (34)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j \quad (35)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k \in K(j)} l_{ij} \cdot x_{ij} \leq t_k \quad (36)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq 1 \quad (37)$$

$$V_{ij}, L_{ij}, f_{ij}, t_{ij} \geq 0$$

$$i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, p; \quad r = 1, \dots, s; \quad x = 0 \text{ ou } 1$$

Sendo:

- V_{ij} representa o custo de cada clone de eucalipto i no local j ;
- x_{ij} representa se o clone de eucalipto i foi alocado no local j ;
- l_{ij} representa a capacidade máxima de alocação de cada clone i no local j ;
- f_i representa a quantidade máxima de clones i a serem enviados para alocação no local j . A quantidade de cada clone a ser alocado não poderá exceder a

50,00% da quantidade total alocada, porém, alguns clones podem possuir restrições impostas pelas fábricas de celulose, não podendo exceder 1/3 (33,33%) da quantidade total alocada;

- d_j representa se o clone i foi alocado no local j ;
- t_k representa a quantidade máxima de clones i que poderão ser alocados em sequência nos locais j (plantio em mosaico);
- k representa o índice do local a ser plantado;
- k_j representa o subconjunto de j pertencente ao um local k .

Com relação ao modelo de PL que faz uso da junção para ambos os tipos de solos, os valores utilizados para compor esse modelo são constituídos dos mesmos valores utilizados de maneira acumulada, obedecendo-se as restrições estipuladas, para os tipos de solos arenoso e argiloso e seus respectivos clones, conforme apresentado anteriormente. Os modelos de PL referentes ao solo arenoso, argiloso e ambos os solos são apresentados de maneira detalhada no APÊNDICE F.

4.7 Resultados e discussões dos modelos PL

Executando-se os modelos em Programação linear (PL) utilizando o software licenciado CPLEX para cada tipo de solo, as análises são realizadas de maneira individual para cada modelo PL para o ano de 2016.

4.7.1 Resultados modelo PL em solo Arenoso

Verifica-se para o tipo de solo arenoso os seguintes resultados referentes ao Custo (R\$), Quantidade de mudas alocadas (Qtd.) e Volume (m³) para os modelos de PL, conforme apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 – Resultados modelos PL – Solo arenoso.

Modelo PL	Variáveis	Resultado atual	Resultado modelo PL	Diferença	Diferença (%)
Minimização dos custos	Custo (R\$)	2.449.300,87	2.250.216,54	-199.084,33	-8,13
	Quantidade de Mudas (Qtd.)	613.240	613.240	0	0,00
	Volume (m ³)	96.557,53	107.630,43	11.072,90	11,47
Maximização do volume	Custo (R\$)	2.449.300,87	2.411.785,29	-37.515,58	-1,53
	Quantidade de Mudas (Qtd.)	613.240	613.240	0	0,00
	Volume (m ³)	96.557,53	114.431,25	17.873,72	18,51

Fonte: Base de dados do estudo.

Analisando-se o modelo PL de Minimização dos custos, é possível verificar que variável Custo (R\$) apresenta uma redução de -8,13%, que corresponde a R\$ -199.084,33. Com relação ao Volume (m³), verifica-se um aumento de 11.072,90 m³ em relação a modelo atual, correspondente a 11,47%.

Para o modelo PL de Maximização do volume, verifica-se que o Custo (R\$) exibe uma diminuição de R\$ -37.515,58, que corresponde a -1,53%. Verifica-se para a variável Volume (m³) um acréscimo de 18,51%, correspondente a R\$ 17.873,72.

Os modelos não apresentam diferenças em suas alocações, dessa forma utilizando de maneira eficiente todas as possibilidades de alocação das mudas. A Tabela 28 apresenta o Custo (R\$), Quantidade de mudas alocadas (Qtd.) e Volume (m³) para os modelos PL detalhados por tipo de clone.

Tabela 28 – Resultados modelos PL por tipo de clone – Solo arenoso.

Modelo PL	Tipo de clone	Custo (R\$)	Quantidade de Mudanças (Qtd.)	Volume (m³)
Minimização dos custos	CL02	1.085.045,40	306.510	49.807,88
	CL03	22.907,10	5.266	936,29
	CL08	752.955,57	204.053	38.994,53
	CL09	85.569,72	21.286	3.633,52
	CL10	303.738,75	76.125	14.258,21
Maximização do volume	CL02	18.641,64	5.266	855,73
	CL03	336.942,30	77.458	13.772,03
	CL08	752.346,72	203.888	38.963,00
	CL09	81.593,94	20.297	3.464,70
	CL10	1.222.260,69	306.331	57.375,80

Fonte: Base de dados do estudo.

Para o modelo de Minimização de custos (R\$), é possível verificar que os clones CL02 e CL08 correspondem aos clones com as maiores quantidades de alocações, que correspondem a 49,98% e 33,27% respectivamente, sendo alocados em 15 locais que correspondem a 83,33%.

Para o modelo PL de Maximização do volume, os clones CL08 e CL10 correspondem aos clones com os maiores números de alocações 72,22% (13 locais). Maiores detalhes são apresentados conforme o APÊNDICE G.

4.7.2 Resultados modelo PL em solo Argiloso

Obteve-se para o tipo de solo arenoso os resultados quanto ao Custo (R\$), Quantidade de mudas alocadas (Qtd.) e Volume (m³), conforme apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 – Resultados modelo PL – Solo argiloso.

Modelo PL	Variáveis	Resultado atual	Resultado modelo PL	Diferença	Diferença (%)
Minimização dos custos	Custo (R\$)	762.683,12	840.604,22	77.921,10	10,22%
	Quantidade de Mudanças (Qtd.)	229.111	229.111	0	0,00
	Volume (m ³)	32.498,81	45.001,98	12.503,17	38,47%
Maximização do volume	Custo (R\$)	762.683,12	943.301,35	180.618,23	23,68%
	Quantidade de Mudanças (Qtd.)	229.111	229.111	0	0,00
	Volume (m ³)	32.498,81	49.740,52	17.241,71	53,05%

Fonte: Base de dados do estudo.

Verificando-se o modelo PL de Minimização dos custos, é possível constatar que a variável Custo (R\$) apresenta um aumento de 10,22%, correspondente a R\$ 77.921,10. Para o Volume (m³), verifica-se também um aumento de 12.503,17 m³ em relação a modelo atual, correspondente a 38,47%.

Para o modelo PL de Maximização do volume, é possível verificar que o Custo (R\$) apresenta um aumento de R\$ 180.618,23, que corresponde a 23,68%. Verifica-se para a variável Volume (m³) um aumento de 53,05%, que corresponde a 17.241,71 m³.

Ambos os modelos não apresentam diferenças em suas alocações. A Tabela 30 apresenta o Custo (R\$), Quantidade de mudas alocadas (Qtd.) e Volume (m³) para os modelos PL detalhados por tipo de clone.

Tabela 30 – Resultados modelos PL por tipo de clone – Solo argiloso.

Modelo PL	Tipo de clone	Custo (R\$)	Quantidade de Mudanças (Qtd.)	Volume (m³)
Minimização dos custos	CL01	102.655,94	27.086	5.931,83
	CL02	29.193,12	6.984	1.579,08
	CL03	101.630,14	26.126	4.990,07
	CL05	334.257,60	100.680	19.239,95
	CL06	76.763,88	18.542	4.006,93
	CL07	21.738,90	4.665	1.019,77
	CL09	43.459,46	10.397	2.059,65
	CL12	130.905,18	34.631	6.174,71
	Maximização do volume	CL01	131.251,49	34.631
CL02		420.842,40	100.680	22.763,75
CL03		27.167,76	6.984	1.333,94
CL05		34.518,04	10.397	1.986,87
CL06		108.161,64	26.126	5.645,83
CL07		126.220,76	27.086	5.921,00
CL09		77.505,56	18.542	3.673,17
CL12		17.633,70	4.665	831,77

Fonte: Base de dados do estudo.

Para o modelo PL de Minimização dos custos, verifica-se que os clones CL05 e CL12 correspondem aos clones com as maiores quantidades de alocações, que correspondem a 43,94% e 15,12% respectivamente, sendo alocados em 6 locais.

Para o modelo de Maximização do volume (m³), os clones CL01 e CL02 correspondem aos clones com os maiores números de alocações, dividido em 3 locais cada e correspondentes a 15,12% e 43,94% respectivamente. Maiores detalhes são apresentados conforme o APÊNDICE G.

4.7.3 Resultados modelo PL em ambos os solos

Para ambos os tipos de solos, os seguintes resultados referentes ao Custo (R\$), Quantidade de mudas alocadas (Qtd.) e Volume (m³) são apresentados conforme a Tabela 31.

Tabela 31 – Resultados modelo PL – Ambos os solos.

Modelo PL	Variáveis	Resultado atual	Resultado modelo PL	Diferença	Diferença (%)
Minimização dos custos	Custo (R\$)	3.211.983,99	3.002.187,98	-209.796,01	-6,53
	Quantidade de Mudas (Qtd.)	842.351	842.351	0	0,00
	Volume (m ³)	129.056,34	148.720,20	19.663,86	15,24
Maximização do volume	Custo (R\$)	3.211.983,99	3.319.155,98	107.171,99	3,34
	Quantidade de Mudas (Qtd.)	842.351	842.351	0	0,00
	Volume (m ³)	129.056,34	166.540,07	37.483,73	29,04

Fonte: Base de dados do estudo.

Para o modelo PL de Minimização dos custos, constata-se que variável Custo (R\$) apresenta uma redução de -6,53%, correspondente a R\$ -209.796,01. Quanto a variável Volume (m³), é verificado um aumento de 19.663,86 m³ em relação a modelo atual, que corresponde a 15,24%.

Para o modelo PL de Maximização do volume, é possível verificar que o Custo (R\$) apresenta um aumento de R\$ 107.171,99, que corresponde a 3,34%. Verifica-se também para a variável Volume (m³) um aumento de 29,04%, que corresponde a R\$ 37.483,73. Ambos os modelos não apresentam diferenças em suas alocações.

A Tabela 32 apresenta o Custo (R\$), Quantidade de mudas alocadas (Qtd.) e Volume (m³) para os modelos PL detalhados por tipo de clone.

Tabela 32 – Resultados modelos PL por tipo de clone – Ambos os solos.

Modelo PL	Tipo de clone	Custo (R\$)	Quantidade de Mudanças (Qtd.)	Volume (m³)	
Minimização dos custos	CL01	39.404,63	10.397	2.276,94	
	CL02	1.490.878,08	421.152	68.437,20	
	CL03	22.907,10	5.266	936,29	
	CL05	625.896,36	188.523	36.026,75	
	CL06	28.913,76	6.984	1.509,24	
	CL07	21.738,90	4.665	1.019,77	
	CL08	537.120,09	145.561	27.816,71	
	CL09	81.593,94	20.297	3.464,70	
	CL10	83.646,36	20.964	3.926,56	
	CL12	70.088,76	18.542	3.306,04	
	Maximização do volume	CL01	99.017,54	26.126	5.721,59
		CL02	678.819,46	162.397	36.717,96
CL03		88.291,95	20.297	3.608,81	
CL05		23.186,88	6.984	1.334,64	
CL06		43.043,58	10.397	2.246,79	
CL07		86.405,72	18.542	4.053,28	
CL08		1.023.893,82	277.478	53.026,05	
CL09		21.169,32	5.266	898,91	
CL10		1.237.694,01	310.199	58.100,27	
CL12		17.633,70	4.665	831,77	

Fonte: Base de dados do estudo.

O modelo PL de Minimização dos custos, é verificado que os clones CL02 e CL05 apresentam as maiores quantidades de alocações, que corresponde a 72,38%, sendo alocado em 15 locais.

Para o modelo PL de Maximização do volume, os clones CL08 e CL10 apresentam os maiores números de locais, dividido em 16 locais e correspondente a 59,26%. Maiores detalhes são apresentados conforme o APÊNDICE G.

4.7.4 Considerações sobre os resultados dos modelos PL

É possível verificar para os 6 modelos PL utilizados que 83,33% apresentaram os melhores resultados. Para o modelo de Minimização de custos, os modelos aplicáveis ao tipo de solo arenoso e o modelo para ambos os tipos de solos são os únicos que apresentaram redução de custos e aumento de volume.

O modelo Minimização de custos (R\$) para o tipo de solo arenoso apresenta a maior redução de custo de -8,13% e acréscimo em seu volume de 11,47%. Já o modelo para ambos os tipos de solos, também apresenta redução de custo de -6,53% e aumento em seu volume de 15,24%. Entretanto, o modelo referente ao tipo de solo argiloso apresenta um acréscimo de 10,22% em relação ao custo atual e aumento em seu volume de 38,47%.

Com relação aos modelos de Maximização do volume, todos os modelos avaliados apresentaram melhores valores com relação aos volumes atuais. O modelo aplicável ao tipo de solo argiloso apresenta o maior acréscimo de volume com relação aos demais modelos, com valor de 53,05% e também aumento em seu custo de 23,68%. Entretanto, o modelo aplicado ao tipo de solo arenoso apresenta um acréscimo em seu volume de 18,51% e redução de seu custo em -1,53%.

Quanto aos clones determinados pelos modelos PL, os clones CL02 e CL5 são os clones mais utilizados nos modelos de Minimização de Custos (R\$), estando presentes em 2 modelos. Para os modelos de Maximização de volume (R\$), os clones CL08 e CL10 apresentam-se como os clones mais utilizados, estando presentes em 2 modelos. Entretanto, os clones CL02 e CL08 são os clones mais utilizados para ambos os tipos de modelos, estando presentes em 3 modelos cada. Maiores detalhes são apresentados conforme o APÊNDICE G.

4.8 Discussão sobre os resultados

O modelo DEA pode ser avaliado como uma alternativa para a medição e análise de eficiência em trabalhos futuros aplicáveis a recomendação, validação e eficiência de clones de eucalipto. Esse modelo auxilia diretamente nas tomadas de decisões para a avaliação dos clones mais eficientes de eucalipto e que poderão ser utilizados nos próximos ciclos de plantio.

Do total de 8 clones utilizados em solo arenoso, 5 clones se mostram eficientes. Para os clones plantados em solo argiloso, do total de 12 clones utilizados, 8 clones são considerados eficientes. Essa diversidade de possibilidades de clones se torna importante em virtude da composição do mosaico florestal, podendo compor uma lista de clones a serem mantidos em seus próximos ciclos produtivos, comparando-os junto aos novos clones recomendados através dos testes experimentais.

Os clones CL02, CL03 e CL09 são classificados como eficientes para ambos os tipos de solo, sendo suas características podendo ser avaliadas e aprofundadas em estudos futuros, podendo esses clones serem *benchmarks* perante os clones pouco eficientes. Essas características podem ser utilizadas como parâmetros no desenvolvimento de tipos de clones mais adaptáveis, podendo ser empregados em ambos os tipos de solos.

Entretanto, o clone CL11 é o único clone que se mostra ineficiente nos dois tipos de solos, caracterizando como o clone a não ser mais utilizado.

É possível verificar também que os clones CL02 e CL09 são os clones classificados como eficientes e que apresentam as menores idades de corte, apresentando o clone CL02 a idade de 6,20 anos para os 2 tipos de solos e o clone CL09 apresentados para o tipo de solo

arenoso e argiloso valores de 6,30 anos e 6,40 anos respectivamente. Isso demonstra que nem todos os clones precisam apresentar uma maior idade de corte para se mostrar eficientes perante os clones com menor idade, acarretando num menor ciclo de plantio.

Com relação as reduções dos insumos para o tipo de solo arenoso, o clone CL12 classificado como ineficiente apresenta a maior possibilidade de redução em seu percentual de -6,50% para a variável Custo total (R\$). Já o clone CL08, também classificado como ineficiente, apresenta percentual de redução de -7,27% para o tipo de solo argiloso.

Para os modelos de Minimização de custo (R\$) e Maximização do volume (m³), os modelos referentes ao tipo de solo arenoso e o modelo de custo para ambos os tipos de solos apresentam os modelos com reduções em seus custos e aumento de seus volumes. Com relação a esses modelos, o de Minimização de custos em solo arenoso apresenta uma redução de -8,13%, sendo a maior redução dos custos. Já o modelo de Maximização de volume em solo arenoso apresenta aumento de 18,51%, sendo o modelo com o maior acréscimo de volume.

O modelo de Minimização de custo (R\$) para o modelo PL de ambos os tipos de solos apresentam reduções de -6,53% em seus custos e aumento de 15,24% em seu volume, apresentando valores intermediários aos demais modelos de Minimização de custo (R\$) e Maximização do volume (m³) para o tipo de solo arenoso. Contudo, esse modelo representa o que melhor atende as necessidades e perspectivas com relação aos valores de custo, volume produzido, alocação e sequenciamento dos tipos de clones, sendo o único modelo que atende ambos os tipos de solos.

Os modelos referentes ao tipo de solo argiloso apresentam para ambos os modelos de Minimização de custo (R\$) e Maximização do volume (m³) seus valores de custos acima do valor atual. Esses modelos apresentam respectivamente um aumento de 10,22% e 23,68% em seu custo com relação ao valor atual. Entretanto, ambos os modelos apresentam um aumento em seu volume que corresponde a 38,47% para o modelo de Minimização de custo (R\$) e de 53,05% para o modelo de Maximização do volume (m³). Já o modelo de Maximização do volume (m³) para ambos os tipos de solo, verifica-se um aumento de 3,34% em seu custo com relação ao valor atual, também apresentando aumento em seu volume correspondente a 29,04%.

Esses modelos permitem a possibilidade de se utilizar como critério de decisão a diminuição do custo total e/ou maximização do volume produzido, bem como avaliar sua otimização durante a alocação desses clones em seu plantio, proporcionando uma redução de suas áreas de plantio, na quantidade de mudas a serem plantadas e também redução de seus insumos e custos totais.

No entanto, mesmo alguns modelos não apresentando redução de custo comparados ao valor atual, esses apresentam um aumento significativo com relação ao volume produzido. Logo, durante a tomada de decisão na utilização ou não desses modelos, é de grande valia uma análise crítica com relação aos impactos financeiros relacionado ao aumento desses custos comparados ao valor atual, pois, o aumento obtido em seu volume pode acarretar à viabilização desses modelos.

5. CONCLUSÃO

Esta dissertação de mestrado teve como objetivo principal propor a eficiência de diferentes tipos de clones de eucalipto produzidos em solos arenosos e argilosos, de maneira a determinar quais seriam os clones mais eficientes a serem recomendados e/ou mantidos para estes tipos de solos nos próximos ciclos produtivos e a melhor alocação de plantio dos clones mais eficientes, de tal forma a minimizar os custos e também de maximizar o volume de eucalipto a ser produzido.

Na primeira etapa desse trabalho o modelo DEA-BCC mostrou-se bastante conveniente, possibilitando a identificação dos clones (DMUs) eficientes e ineficientes para os tipos de solos arenosos e argilosos, com base nas informações dos dados de inventário florestal realizado pré colheita e também de dados obtidos após sua colheita, em escala comercial. Para os clones classificados como ineficientes, o modelo possibilitou a identificação dos pontos de melhorias para alcançar sua eficiência. Essa identificação serve como base para melhorar a tomada de decisões de quais clones são os mais eficientes, podendo compor o próximo ciclo de plantio e também quais clones devem ser mantidos e/ou eliminados, auxiliando o processo atual já consolidado.

Esse modelo também possibilitou a identificação dos valores alvos e dos clones *benchmarks* que servirão como parâmetros para o auxílio de quais variáveis devem reduzir ou aumentar para a obtenção de sua eficiência técnica. Os clones classificados como *benchmarks* poderão servir como base para estudos futuros de forma mais aprofundada, podendo melhor avaliá-los quanto as suas características e também quanto ao seu uso como *benchmarks* para os clones classificados como ineficientes.

Na segunda etapa desse trabalho, onde ocorre a alocação dos clones classificados como eficientes pelo modelo DEA-BCC para os tipos de solo arenoso, argiloso e para ambos os solos, os modelos de Programação linear (PL) apresentaram resultados significativos para os 6 modelos criados, os quais apresentaram redução de seus custos (R\$) e também o aumento de seu volume (m³).

Sua contribuição acadêmica está na proposta de uma nova alternativa para a melhoria da tomada de decisão sobre quais clones de eucaliptos são os mais eficientes utilizando o modelo DEA em conjunto com modelos em PL, para a alocação desses clones de eucalipto de maneira a otimizar, ou seja, Minimizar os custos (R\$) e/ou Maximizar o volume produzido (m³). Isso visa contribuir para a correta utilização dos recursos, de maneira a otimizá-los e evitando desperdícios, de modo a ajudar na redução dos custos utilizando clones mais eficientes de maneira produtiva e financeira.

Outro ponto a salientar está na otimização durante a alocação desses clones em seu plantio, os quais possuem atributos mais eficientes e produtivos, podendo proporcionar uma redução de suas áreas de plantio e na quantidade de mudas a serem plantadas, e conseqüentemente na redução de seus insumos e custos.

A contribuição para as empresas Florestais está na possibilidade de um novo processo para tomada de decisão visando o aumento de sua produtividade, através da diminuição de seus custos e aumento do volume. Isso é possível de verificar através dos modelos utilizados que possibilitaram a alocação dos clones de eucalipto gerados em conjunto pelos modelos DEA-BCC e modelos PL de maneira otimizada, minimizando seus custos e maximizando o volume produzido.

De maneira geral é possível concluir que a utilização do modelo não paramétrico DEA, em conjunto com os modelos de PL, proporcionam uma alternativa metodológica para o auxílio na melhoria da tomada de decisão de quais clones de eucaliptos são os mais eficientes a serem recomendados e/ou mantidos nos próximos ciclos produtivos e também na melhor alocação desses clones de maneira mais produtiva e eficiente.

Isso confirma que sua utilização poderá ser realizada juntamente com as técnicas e procedimentos já consolidados e utilizados pela área florestal, possibilitando mais uma alternativa para a melhoria na sua tomada de decisão.

5.1 Oportunidades futuras

Como sugestões para futuros trabalhos, conforme avaliado nos resultados obtidos em conjunto pelos modelos DEA em PL, seria interessante um estudo mais aprofundado desse tema utilizando-se outras abordagens do modelo DEA, as quais poderão proporcionar melhorias e também novas possibilidades de análises para a tomada de decisão na utilização, recomendação e/ou eliminação de clones de eucalipto em processos produtivos de produção de madeira para celulose.

Outra possibilidade seria a utilização de outras variáveis para a análise do modelo DEA, como por exemplo IMA Cel, Biomassa, Suscetibilidade a doenças, Declividade, Distância das fábricas de celulose, Condução, entre outras, as quais poderão proporcionar aos decisores uma visão mais ampla sobre os tipos de clones de eucaliptos ao longo de sua cadeia produtiva quanto as suas eficiências técnicas nos âmbitos financeiro, técnico, produtivos, entre outros.

6. REFERÊNCIAS

- ALDAMAK, A.; ZOLFAGHARI, S. Review of efficiency ranking methods in data envelopment analysis. **Measurement**, v. 106, p. 161–172, ago. 2017.
- ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e Doenças do Eucalipto**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009.
- ARANDA, U. D. et al. **Dendrometria**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2003.
- ARAUJO, H. DE. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 68, p. 447–464, 2006.
- ARENALES, M. et al. **Pesquisa Operacional: Para cursos de engenharia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier: ABEPRO, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Dados do setor**. [s.l: s.n.]. Disponível em:
<<http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>>. Acesso em: 21 maio. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Eucalipto**. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/136>>. Acesso em: 21 maio. 2016.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, set. 1984.
- BAPTISTA, J.; LEVIEN, R. Métodos de preparo de solo e sua influência na erosão hídrica e no acúmulo de biomassa da parte aérea de Eucaliptus Saligna em um cambissolo háplico da depressão central do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 34, n. 4, p. 567–575, 2010.
- BARROS, T. D. DE et al. Avaliação dos atrasos em transporte aéreo com um modelo DEA. **Production**, v. 20, n. 4, p. 601–611, dez. 2010.
- BENT, O.; CHRISTIAN, N.; PODINOVSKI, V. V. Efficiency measures and computational approaches for data envelopment analysis models with ratio inputs and outputs. **European Journal of Operational Research**, v. 261, n. 2, p. 640–655, 2017.
- BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. **Cadeia Produtiva de Madeira**. 6. ed. Brasília: IICA : MAPA/ SPA, 2007.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Produção de Mud. In: SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (Eds.). **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2016. p. 306.
- CANHOTO, J. M. **Biotechnology vegetal: da clonagem de plantas à transformação genética**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2010.

- CARNEIRO, J. G. DE A. **Produção e Controle de Qualidade de Mudanças Florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos:UENF, 1995.
- CARVALHO, A. D. F. DE. **Histórico do melhoramento genético de eucalipto no Brasil**. Piracicaba, 2006. Disponível em: <<http://www.genetica.esalq.usp.br/semina.php>>. Acesso em: 17 jan. 2017
- CARVALHO, J. M. S. **Programação Linear: Algoritmos simplex primal, dual, transporte e afetação**. Porto: Editora Vida Económica, 2014.
- CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S.; VALVERDE, S. R. Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. **Ciência Florestal**, p. 105–118, 2005.
- CESARO, A. DE et al. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia, e de seis árvores, quanto a eficiência, no inventário florestal de um povoamento de Pinus sp. **Ciência Florestal**, v. 4, n. 1, p. 97–108, 1994.
- CHARLES, V.; CORNILLIER, F. Value of the stochastic efficiency in data envelopment analysis. **Expert Systems With Applications**, v. 81, p. 349–357, 2017.
- CHARNES, A. et al. **Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1994.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.
- CHEN, K.; ZHU, J. Second order cone programming approach to two-stage network data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 262, n. 1, p. 231–238, 2017.
- CHIAVENATO, I. **Fundamentos de administração: planejamento, organização, direção e controle para incrementar competitividade e sustentabilidade**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- CLÍMACO, J. N.; ANTUNES, C. H.; ALVES, M. J. G. **Programação linear multiobjetivo: do modelo de programação linear clássico**. Coimbra: [s.n.].
- COLIN, E. C. **Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2015.
- COOK, W. D.; SEIFORD, L. M. Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. **European Journal of Operational Research**, v. 192, p. 1–17, 2009.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses**. New York: Springer, 2006.
- CORREIA, T. C. V. D.; MELLO, J. C. C. B. S. DE; MEZA, L. A. Eficiência técnica das

companhias aéreas brasileiras: um estudo com análise envoltória de dados e conjuntos nebulosos. **Production**, v. 21, n. 4, p. 676–683, 2011.

DARSKI, G. C. **Análise do impacto da distância do ativo florestal ao mercado consumidor na rentabilidade de investimentos florestais no Brasil**. [s.l.] Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2014.

DASGUPTA, S.; PAPADIMITRIOU, C.; VAZIRANI, U. **Algoritmos**. Porto Alegre: Editora AMGH, 2010.

DYSON, R. G. et al. Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, v. 132, n. 2, p. 245–259, 2001.

EL-MAHGARY, S.; LAHDELMA, R. Data envelopment analysis: Visualizing the results. **European Journal of Operational Research**, v. 83, n. 3, p. 700–710, jun. 1995.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Pesquisa Operacional para Cursos de Administração, Contabilidade e Economia**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2012.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2013.

FERREIRA, C. M. DE C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise de envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2009.

FETHI, M. D.; PASIOURAS, F. Assessing bank efficiency and performance with operational research and artificial intelligence techniques: A survey. **European Journal of Operational Research**, v. 204, n. 2, p. 189–198, jul. 2010.

FICK, T. A. Amostragem para inventário florestal em sistemas silvipastoris. **Revista Árvore**, v. 35, p. 1033–1038, 2011.

FILHO, E. P.; SANTOS, P. E. T. DOS. Program de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas: resultados e perspectivas. **Embrapa Florestas**, v. 1, p. 214, 2011.

FILHO, R. R. DE L.; AGUIAR, G. A. M.; TORRES, A. **Eucalipto - Rentabilidade da produção no Brasil**. Disponível em: <<http://www.agroanalysis.com.br/6/2014/mercado-negocios/eucalipto-rentabilidade-da-producao-no-brasil>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

FOELKEL, C. E. B. Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. **Revista Visão Agrícola**, v. 3, p. 66–69, 2005.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V. DE; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F. . G. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, 2010.

FRANCEZ, L. M. DE B. et al. **Manual para Análise de Inventário Florestal e Equação de Volume em Projetos de Manejo Florestal Sustentável - PMFS**. Belém: Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2010.

- GALLAGHER, T. J.; ANDREW, J. D. **Financial Management. Principles and Practice**. 4^a ed. [s.l.] Freeload Press, 2007.
- GAROSI, V. A.; GORENSTEIN, M. R.; GOMES, J. E. Inventário florestal e recomendações de manejo para a floresta estadual de Assis - Instituto Florestal, SP. **Revista científica eletrônica de Engenharia Florestal**, ago. 2008.
- GATTO, A. et al. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 635–646, 2003.
- GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. D. C. Uso de análise de envoltória de dados em agricultura: O caso de Holambra. **Revista Engevista**, v. 6, n. 1, p. 19–27, 2004.
- GRATTAPAGLIA, D. Seleção genômica ampla: O novo paradigma. **Revista Opiniões**, p. 6–8, 2014.
- HIGA, R. C. V; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de Eucalipto na Pequena Propriedade Rural**. Disponível em:
<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc54_000fjvb9ypm02wyiv80sq98yq0mwtkuk.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2017.
- HOPPE, J. M. et al. **Produção de Sementes e Mudanças Florestais**. 2^a ed. Santa Maria: [s.n.]. IBÁ. **Relatório IBÁ 2017**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em:
<http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>.
- IBRE. **IGP-DI. Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna**. Disponível em:
<<http://portalibre.fgv.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A7C82C557E5111F01592230EFAD60E5>>. Acesso em: 2 dez. 2017.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **O que são**. Disponível em:
<<http://iba.org/pt/arvores-plantadas/o-que-sao>>. Acesso em: 18 jan. 2017a.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Ibá 2015**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2017b.
- INTERNATIONAL PAPER DO BRASIL - IPB. **Eucaliptocultura - Alternativa de Renda para o Produtor Rural**. Disponível em: <http://ipef.br/eventos/2014/tume/05_mateus.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2017.
- IPEF. **Silvicultura e Manejo**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/silvicultura/>>. Acesso em: 6 fev. 2017.
- KASSAI, S. **Utilização da análise por envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. [s.l.] Tese de Doutorado, Departamento de Contabilidade e Atuária da Universidade de São Paulo, 2002.

- KERSTENS, K.; VAN DE WOESTYNE, I. Negative data in DEA: a simple proportional distance function approach. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 7, p. 1413–1419, 28 jul. 2011.
- KIRBY, M. W. **Operational Research in War and Peace: The British Experience from the 1930s to 1970**. [s.l.] Imperial College Press, 2003.
- KUTER, S.; WEBER, G.-W.; AKYÜREK, Z. A progressive approach for processing satellite data by operational research. **Operational Research**, v. 17, n. 2, p. 371–393, 30 jul. 2017.
- LEITE, E. DA S. et al. Desempenho do harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 1–7, 2014.
- LIMA, W. DE P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2ª ed. São Paulo: Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, 1996.
- LOZANO, S. A joint-inputs Network DEA approach to production and pollution-generating technologies. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 21, p. 7960–7968, nov. 2015.
- LUSTOSA, L. et al. **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2008.
- MACEDO, A. C. **Produção de Mudas em Viveiros Florestais espécies nativas**. São Paulo: Fundação Florestal, 1993.
- MACEDO, M. A. S.; ALMEIDA, K.; BARBOSA, A. C. T. A. Análise envoltória de dados em decisões de localização. **Gestão de Operações e Logística**, v. 2, n. 1, p. 13–32, 2012.
- MACHADO, C. C.; SILVA, E. N. DA; PEREIRA, R. S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 2ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. p. 501.
- MAFIA, R. G. et al. Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 947–953, 2005a.
- MAFIA, R. G. et al. Crescimento de mudas e produtividade de minijardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 843–851, 2005b.
- MANTRI, J. K. **Research Methodology on Data Envelopment Analysis (DEA)**. Boca Raton: Universal-Publishers, 2008.
- MARDANI, A. et al. A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, n. May, p. 1298–1322, abr. 2017.
- MARINS, F. A. S. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica : Universidade Estadual Paulista, 2011.

- MARQUES, W. L. **Estudo de Finanças Especiais**. Cianorte: Clube dos Autores, 2013.
- MELLO, J. C. C. B. S. DE et al. Curso de Análise de Envoltória de Dados. **XXXVII Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, n. 27 a 30/09/05, p. 2520–2547, 2005.
- MELLO, J. C. C. B. S. DE et al. Algoritmo de alocação de recursos discretos com análise de envoltória de dados. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 2, p. 225–239, ago. 2006.
- MELLO, J. C. C. B. S. DE; GOMES, E. G. Eficiências aeroportuárias: uma abordagem comparativa com análise de envoltória de dados. **Revista de Economia e Administração**, v. 3, n. 1, p. 15–23, 2004.
- MEZA, L. A. et al. ISYDS – Integrated system for decision support (SIAD - Sistema integrado de apoio a decisão): A software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 493–503, 2005.
- MOHAMMADI, S.; MIRDEHGHAN, S. M.; JAHANSHALOO, G. Finding the Most Preferred Decision-Making Unit in Data Envelopment Analysis. **Advances in Operations Research**, v. 2016, p. 1–8, 2016.
- MORI, E. S.; MORAES, C. B. **Visão do melhoramento florestal na interação com o manejo**. Disponível em:
<http://www.ipef.br/eventos/2010/melhoramento_e_manejo/mori_unesp.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2017.
- MOTOYAMA, S. **Prelúdio para uma história: ciência e tecnologia no Brasil**. 1ª ed. São Paulo: Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, 2004.
- OLIVEIRA, A. S. DE et al. Determinação do tempo térmico para o desenvolvimento de mudas de eucalipto na fase de enraizamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 31, p. 1223–1228, 2012.
- PAES, F. A. S. V. et al. Impacto do manejo dos resíduos da colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de Eucalipto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1081–1090, 2013.
- PAINEL FLORESTAL. **A história do eucalipto no Brasil**. Disponível em:
<<http://www.painelflorestal.com.br/arquivo/a-historia-do-eucalipto-no-brasil-32498350c9c49312b8b1c8329ee68acc>>. Acesso em: 20 out. 2015.
- PAIVA, H. N. DE et al. **Cultivo do eucalipto: implantação e manejo**. 2ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2011.
- PAIVA JUNIOR, H. **Avaliação de desempenho de ferrovias utilizando a abordagem DEA/AHP**. [s.l.] Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), 2000.

- PARMAN, B. J.; FEATHERSTONE, A. M.; COFFEY, B. K. Estimating product-specific and multiproduct economies of scale with data envelopment analysis. **Agricultural Economics**, v. 48, p. 523–533, 2017.
- PEÑA, C. R. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). **Revista de Administração Contemporânea**, v. 12, n. 1, p. 83–106, mar. 2008.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.
- PURI, J.; YADAV, S. P.; GARG, H. A new multi-component DEA approach using common set of weights methodology and imprecise data: an application to public sector banks in India with undesirable and shared resources. **Annals of Operations Research**, v. 259, n. 1–2, p. 351–388, 31 dez. 2017.
- RAMANATHAN, R. **An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement**. 1ª ed. New Delhi: Sage Publications India, 2003.
- RAMOS, M. G. et al. **Manual de silvicultura I – Cultivo e manejo de florestas plantadas**. Florianópolis: Epagri, 2006.
- RAY, S. C. **Data Envelopment Analysis: Theory and Techniques for Economics and Operations Research**. 1ª ed. New York: Cambridge University Press, 2004.
- REMADE. Plantio é operação mais importante na implantação florestal. **Revista da madeira**, set. 2007.
- RESENDE, R. R. et al. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamento de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 219–225, 2004.
- SAHARIDIS, G. K. D. Operational research in energy and environment. **Operational Research**, v. 17, n. 3, p. 693–696, 26 out. 2017.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. D. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719–734, 1933.
- SENRA, L. F. A. DE C. et al. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 191–207, ago. 2007.
- SERYGMA SOLUÇÕES AMBIENTAIS. **Viveiros Florestais**. Disponível em: <<http://serygma.blogspot.com.br/2016/04/viveiros-florestais.html>>. Acesso em: 9 fev. 2017.
- SILVA, J. DE C.; CASTRO, V. R. DE; XAVIER, B. A. **Cartilha do fazendeiro florestal**. 2ª ed. Viçosa: [s.n.].
- SILVA, M. G. DA. **Produtividade, idade e qualidade da madeira de Eucalyptus**

destinada à produção de polpa celulósica braqueada. [s.l.] Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, 2011.

SILVA, M. L. DA; RIBEIRO, C. A. Á. S. Estabelecimento de rotação econômica para uma floresta regulada. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 65–73, fev. 2006.

SILVEIRA, J. Q. DA; MEZA, L. A.; MELLO, J. C. C. B. S. DE. Identificação de benchmarks e anti-benchmarks para companhias aéreas usando modelos DEA e fronteira invertida. **Production**, v. 22, n. 4, p. 788–795, dez. 2012.

SIMÕES, D.; DA SILVA, M. R. Desempenho operacional e custos de um trator na irrigação pós-plantio de eucalipto em campo. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 164–170, 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS (SNIF). **Definição de Floresta.** Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&catid=14&id=158>. Acesso em: 17 jan. 2017a.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS (SNIF). **As Florestas Plantadas.** Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 18 jan. 2017b.

SIXEL, R. M. DE M. **Produção de florestas com qualidade: Preparo do solo.** Disponível em: <<http://www.ipef.br/silvicultura/preparodesolo.asp>>. Acesso em: 17 fev. 2017.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL (SOBRAPO). **Pesquisa Operacional.** Disponível em: <http://www.sobrapo.org.br/o_que_e_po.php>. Acesso em: 12 abr. 2016.

SOUZA, I. C. G. DE. **Seleção e Melhoramento em Populações Clonais de Eucalyptus grandis W . Hill ex Maiden.** [s.l.] Tese de Doutorado, Instituto de Biociências de Botucatu da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2016.

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Pitfalls and Remedies in DEA Applications: How to Handle an Occurrence of Zero in Multipliers by Strong Complementary Slackness Conditions. **Engineering**, v. 5, n. 5, p. 29–34, 2013.

TATAGIBA, S. D. et al. Determinação da máxima capacidade de retenção de água no substrato para produção de mudas de eucalipto em viveiro. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 745, 24 set. 2015.

TITKO, J.; STANKEVIČIENĖ, J.; LĀCE, N. Measuring bank efficiency: DEA application. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 20, n. 4, p. 739–757, 2 out. 2014.

VALVERDE, S. R. et al. COLEÇÃO DE ESTUDOS SOBRE DIRETRIZES PARA UMA

ECONOMIA VERDE NO BRASIL. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS**, p. 39, 2012.

VANCE, E. et al. Scientific Basis for Sustainable Management of Eucalyptus and Populus as Short-Rotation Woody Crops in the U.S. **Forests**, v. 5, n. 5, p. 901–918, 14 maio 2014.

VIEIRA, S. **Bioestatística: tópicos avançados**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

VIEIRA, S. **Introdução a Bioestatística**. 5^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

VILELA, D. L.; NAGANO, M. S.; MERLO, E. M. Aplicação da análise envoltória de dados em cooperativas de crédito rural. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 11, n. spe2, p. 99–120, 2007.

WILCKEN, C. F. et al. **Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto**. Botucatu: FEPAF, 2008.

XAVIER, A.; SILVA, R. L. DA. Evolução da silvicultura clonal de Eucalyptus no Brasil. **Agronomia Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 93–98, 2010.

YANG, X. et al. Effect of Eucalyptus forests on understory vegetation and soil quality.

Journal of Soils and Sediments, v. 17, n. 9, p. 2383–2389, 15 set. 2017.

ZADMIRZAEI, M.; MOHAMMADI LIMAEI, S.; AMIRTEIMOORI, A. Efficiency analysis of paper mill using data envelopment analysis models (case study: Mazandaran wood and paper company in Iran). **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 17, n. 6, p. 1381–1391, 2015.

APÊNDICE A: Base de dados do estudo.

Levantamento das informações através da base de dados do estudo e parâmetros empregados para a correção do valor de Custo (R\$) utilizados na pesquisa.

Tabela 33 – Parâmetros IGP-DI utilizados para a correção dos Custos (R\$) para o ano de 2016.

Nº.	Referência	Valor Inicial (R\$)	Índice IGP-DI do mês (%)	Valor Correção (R\$)	Valor Final (R\$)
1	jan/08	2.514,00	0,99	24,89	2.538,89
2	fev/08	2.538,89	0,38	9,65	2.548,54
3	mar/08	2.548,54	0,7	17,84	2.566,38
4	abr/08	2.566,38	1,12	28,74	2.595,12
5	mai/08	2.595,12	1,88	48,79	2.643,91
6	jun/08	2.643,91	1,89	49,97	2.693,88
7	jul/08	2.693,88	1,12	30,17	2.724,05
8	ago/08	2.724,05	-0,38	-10,35	2.713,70
9	set/08	2.713,70	0,36	9,77	2.723,47
10	out/08	2.723,47	1,09	29,69	2.753,15
11	nov/08	2.753,15	0,07	1,93	2.755,08
12	dez/08	2.755,08	-0,44	-12,12	2.742,96
13	jan/09	2.742,96	0,01	0,27	2.743,23
14	fev/09	2.743,23	-0,13	-3,57	2.739,67
15	mar/09	2.739,67	-0,84	-23,01	2.716,65
16	abr/09	2.716,65	0,04	1,09	2.717,74
17	mai/09	2.717,74	0,18	4,89	2.722,63
18	jun/09	2.722,63	-0,32	-8,71	2.713,92
19	jul/09	2.713,92	-0,64	-17,37	2.696,55
20	ago/09	2.696,55	0,09	2,43	2.698,98
21	set/09	2.698,98	0,25	6,75	2.705,72
22	out/09	2.705,72	-0,04	-1,08	2.704,64
23	nov/09	2.704,64	0,07	1,89	2.706,53
24	dez/09	2.706,53	-0,11	-2,98	2.703,56
25	jan/10	2.703,56	1,01	27,31	2.730,86
26	fev/10	2.730,86	1,09	29,77	2.760,63
27	mar/10	2.760,63	0,63	17,39	2.778,02
28	abr/10	2.778,02	0,72	20,00	2.798,02
29	mai/10	2.798,02	1,57	43,93	2.841,95
30	jun/10	2.841,95	0,34	9,66	2.851,62
31	jul/10	2.851,62	0,22	6,27	2.857,89
32	ago/10	2.857,89	1,1	31,44	2.889,33
33	set/10	2.889,33	1,1	31,78	2.921,11
34	out/10	2.921,11	1,03	30,09	2.951,20
35	nov/10	2.951,20	1,58	46,63	2.997,82
36	dez/10	2.997,82	0,38	11,39	3.009,22
37	jan/11	3.009,22	0,98	29,49	3.038,71
38	fev/11	3.038,71	0,96	29,17	3.067,88
39	mar/11	3.067,88	0,61	18,71	3.086,59
40	abr/11	3.086,59	0,5	15,43	3.102,03
41	mai/11	3.102,03	0,01	0,31	3.102,34
42	jun/11	3.102,34	-0,13	-4,03	3.098,30
43	jul/11	3.098,30	-0,05	-1,55	3.096,75
44	ago/11	3.096,75	0,61	18,89	3.115,64
45	set/11	3.115,64	0,75	23,37	3.139,01
46	out/11	3.139,01	0,4	12,56	3.151,57
47	nov/11	3.151,57	0,43	13,55	3.165,12
48	dez/11	3.165,12	-0,16	-5,06	3.160,05
49	jan/12	3.160,05	0,3	9,48	3.169,53
50	fev/12	3.169,53	0,07	2,22	3.171,75
51	mar/12	3.171,75	0,56	17,76	3.189,52
52	abr/12	3.189,52	1,02	32,53	3.222,05
53	mai/12	3.222,05	0,91	29,32	3.251,37
54	jun/12	3.251,37	0,69	22,43	3.273,80
55	jul/12	3.273,80	1,52	49,76	3.323,57
56	ago/12	3.323,57	1,29	42,87	3.366,44
57	set/12	3.366,44	0,88	29,62	3.396,06
58	out/12	3.396,06	-0,31	-10,53	3.385,54
59	nov/12	3.385,54	0,25	8,46	3.394,00
60	dez/12	3.394,00	0,66	22,40	3.416,40
61	jan/13	3.416,40	0,31	10,59	3.426,99
62	fev/13	3.426,99	0,2	6,85	3.433,84

Tabela 33 – Parâmetros IGP-DI utilizados para a correção dos Custos (R\$) para o ano de 2016 (Cont.).

Nº.	Referência	Valor Inicial (R\$)	Índice IGP-DI do mês (%)	Valor Correção (R\$)	Valor Final (R\$)
63	mar/13	3.433,84	0,31	10,64	3.444,49
64	abr/13	3.444,49	-0,06	-2,07	3.442,42
65	mai/13	3.442,42	0,32	11,02	3.453,44
66	jun/13	3.453,44	0,76	26,25	3.479,69
67	jul/13	3.479,69	0,14	4,87	3.484,56
68	ago/13	3.484,56	0,46	16,03	3.500,59
69	set/13	3.500,59	1,36	47,61	3.548,19
70	out/13	3.548,19	0,63	22,35	3.570,55
71	nov/13	3.570,55	0,28	10,00	3.580,54
72	dez/13	3.580,54	0,69	24,71	3.605,25
73	jan/14	3.605,25	0,4	14,42	3.619,67
74	fev/14	3.619,67	0,85	30,77	3.650,44
75	mar/14	3.650,44	1,48	54,03	3.704,47
76	abr/14	3.704,47	0,45	16,67	3.721,14
77	mai/14	3.721,14	-0,45	-16,75	3.704,39
78	jun/14	3.704,39	-0,63	-23,34	3.681,05
79	jul/14	3.681,05	-0,55	-20,25	3.660,81
80	ago/14	3.660,81	0,06	2,20	3.663,00
81	set/14	3.663,00	0,02	0,73	3.663,74
82	out/14	3.663,74	0,59	21,62	3.685,35
83	nov/14	3.685,35	1,14	42,01	3.727,36
84	dez/14	3.727,36	0,38	14,16	3.741,53
85	jan/15	3.741,53	0,67	25,07	3.766,60
86	fev/15	3.766,60	0,53	19,96	3.786,56
87	mar/15	3.786,56	1,21	45,82	3.832,38
88	abr/15	3.832,38	0,92	35,26	3.867,64
89	mai/15	3.867,64	0,4	15,47	3.883,11
90	jun/15	3.883,11	0,68	26,41	3.909,51
91	jul/15	3.909,51	0,58	22,68	3.932,19
92	ago/15	3.932,19	0,4	15,73	3.947,91
93	set/15	3.947,91	1,42	56,06	4.003,98
94	out/15	4.003,98	1,76	70,47	4.074,45
95	nov/15	4.074,45	1,19	48,49	4.122,93
96	dez/15	4.122,93	0,44	18,14	4.141,07
97	jan/16	4.141,07	1,53	63,36	4.204,43
98	fev/16	4.204,43	0,79	33,22	4.237,65
99	mar/16	4.237,65	0,43	18,22	4.255,87
100	abr/16	4.255,87	0,36	15,32	4.271,19
101	mai/16	4.271,19	1,13	48,26	4.319,45
102	jun/16	4.319,45	1,63	70,41	4.389,86
103	jul/16	4.389,86	-0,39	-17,12	4.372,74
104	ago/16	4.372,74	0,43	18,80	4.391,54
105	set/16	4.391,54	0,03	1,32	4.392,86
106	out/16	4.392,86	0,13	5,71	4.398,57
107	nov/16	4.398,57	0,05	2,20	4.400,77
108	dez/16	4.400,77	0,83	36,53	4.437,30

Fonte: Adaptado de IBRE (2016).

Tabela 34 – Levantamento da base de dados de estudo utilizado na pesquisa.

Ano	Local	Solo	Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
2011	H09T108	AREIA	CL08	13.134,41	2,96	6,20	15,02	24,55	205,19	492,90	672,43
2011	H33T03	AREIA	CL11	21.077,18	4,75	6,10	13,86	23,22	134,59	502,49	4639,73
2011	H47T03	AREIA	CL08	30.573,00	6,89	6,80	15,01	25,95	228,28	509,23	2843,53
2011	H41T116	AREIA	CL01	38.249,53	8,62	6,20	15,14	23,90	194,82	503,00	1861,42
2011	H47T01	AREIA	CL08	38.870,75	8,76	6,80	15,71	26,57	254,61	509,08	2623,37
2011	H41T32	AREIA	CL01	77.874,62	17,55	6,20	15,02	24,09	198,96	503,00	3879,43
2011	H24T46	AREIA	CL08	81.025,10	18,26	6,70	14,81	25,24	206,29	498,66	4422,22
2011	H47T05	AREIA	CL08	83.110,63	18,73	6,80	15,91	26,69	255,55	509,15	4234,34
2011	H41T115	AREIA	CL01	100.992,95	22,76	6,20	15,35	23,96	204,55	503,00	4799,40
2011	H47T11	AREIA	CL08	113.373,02	25,55	6,80	15,98	26,91	257,76	509,30	7319,06
2011	H50T07	AREIA	CL09	129.169,80	29,11	6,10	16,29	24,73	241,84	492,29	6753,19
2011	H47T13	AREIA	CL10	157.657,27	35,53	6,80	16,23	26,78	253,75	506,52	9104,39
2011	H50T30	AREIA	CL12	173.675,92	39,14	6,10	14,15	24,56	185,96	494,00	7958,57
2011	H24T36	AREIA	CL10	176.959,52	39,88	6,20	15,09	24,59	197,88	501,33	9585,92
2011	H49T63	AREIA	CL10	180.953,09	40,78	6,80	14,72	24,48	192,42	512,82	9288,81
2011	H24T03	AREIA	CL09	340.962,13	76,84	6,00	14,60	22,17	178,56	519,06	15099,08
2011	H27T193	ARGILA	CL02	2.218,65	0,50	7,00	18,08	30,59	364,54	511,00	178,36
2011	H44T95	ARGILA	CL02	2.307,40	0,52	6,30	18,20	27,35	310,47	482,64	143,67
2011	H44T96	ARGILA	CL02	12.468,81	2,81	6,10	17,33	26,63	276,83	495,68	532,06
2011	H41T17	ARGILA	CL01	31.637,95	7,13	6,20	15,74	24,43	213,68	503,00	1577,92
2011	H24T19	ARGILA	CL08	93.848,90	21,15	6,20	13,86	22,66	163,72	493,45	4124,27
2011	H47T32	ARGILA	CL11	97.176,87	21,90	6,80	15,53	25,73	229,37	512,04	5257,96
2011	H44T72	ARGILA	CL02	106.051,47	23,90	6,20	15,84	25,11	219,57	495,64	5018,21
2011	H41T27	ARGILA	CL01	106.805,81	24,07	6,20	15,47	24,54	210,67	503,00	5851,46
2011	H24T23	ARGILA	CL10	111.908,71	25,22	6,00	14,58	24,82	193,05	501,18	5871,35
2011	H41T15	ARGILA	CL01	114.304,85	25,76	6,30	15,00	24,09	199,21	496,00	5868,28
2011	H23T17	ARGILA	CL10	116.612,24	26,28	6,90	14,87	24,81	199,91	504,00	7317,41
2011	H23T30	ARGILA	CL08	129.125,43	29,10	7,00	15,36	25,41	228,25	500,83	7657,68
2011	H47T25	ARGILA	CL08	152.731,87	34,42	6,80	16,08	26,42	254,79	493,97	9480,26
2011	H23T34	ARGILA	CL08	157.879,13	35,58	7,00	15,16	25,49	219,41	503,00	9243,28
2011	H41T14	ARGILA	CL01	162.360,81	36,59	6,30	15,51	24,94	214,76	503,00	8506,38
2011	H27T153	ARGILA	CL01	164.224,47	37,01	6,30	15,33	25,25	214,81	490,00	6293,43
2011	H47T21	ARGILA	CL09	172.433,48	38,86	6,80	15,39	25,47	215,24	521,69	8736,83
2011	H23T32	ARGILA	CL08	181.219,33	40,84	7,00	15,78	24,79	230,43	503,00	9911,01
2011	H41T31	ARGILA	CL01	199.412,26	44,94	6,20	15,14	24,05	199,24	503,00	9921,25
2011	H41T09	ARGILA	CL01	201.941,52	45,51	6,30	15,49	24,67	209,07	503,00	10932,89
2011	H47T09	ARGILA	CL10	214.321,59	48,30	6,80	16,26	25,41	239,57	506,50	9312,15
2011	H47T15	ARGILA	CL10	224.083,65	50,50	6,90	15,89	25,77	234,64	507,50	12226,79
2011	H20T27	ARGILA	CL12	233.490,73	52,62	6,50	14,65	26,15	207,83	476,78	16396,44
2011	H24T09	ARGILA	CL10	249.908,74	56,32	6,30	15,63	24,68	214,24	491,45	15345,78
2011	H24T21	ARGILA	CL08	270.497,81	60,96	6,10	14,81	25,03	210,81	483,71	14845,48
2011	H24T11	ARGILA	CL08	291.397,49	65,67	6,30	15,15	24,68	216,05	483,99	17425,71
2011	H24T27	ARGILA	CL10	303.422,57	68,38	6,20	15,21	25,40	210,78	501,37	18158,18
2012	H49T89	AREIA	CL08	13.178,78	2,97	6,60	15,42	24,34	215,38	500,75	993,56
2012	H49T90	AREIA	CL08	19.213,51	4,33	6,60	15,22	24,23	206,85	500,82	587,52
2012	H01T69	AREIA	CL09	20.012,22	4,51	6,00	15,64	23,16	205,44	517,99	1481,86
2012	H49T87	AREIA	CL08	22.186,50	5,00	6,50	15,36	24,12	218,43	500,68	1431,71
2012	H49T88	AREIA	CL08	24.893,25	5,61	6,60	15,09	24,04	210,26	500,75	1691,62
2012	H49T85	AREIA	CL08	32.170,43	7,25	6,50	15,47	24,55	220,04	500,68	1872,73
2012	H35T210	AREIA	CL02	36.474,61	8,22	6,10	14,49	22,87	162,13	513,51	1696,98
2012	H09T103	AREIA	CL08	37.007,08	8,34	6,20	15,04	25,82	223,77	492,86	1922,20
2012	H49T91	AREIA	CL08	45.260,46	10,20	6,60	14,82	23,86	203,21	500,89	2092,71
2012	H09T107	AREIA	CL08	53.114,48	11,97	6,20	15,23	25,61	227,81	492,89	2870,86
2012	H49T82	AREIA	CL08	54.534,42	12,29	6,50	15,10	24,11	210,66	502,39	4361,71
2012	H35T184	AREIA	CL02	55.865,61	12,59	6,10	14,80	23,09	168,01	513,54	2765,65
2012	H01T19	AREIA	CL09	60.081,04	13,54	6,30	15,44	24,75	215,32	515,29	3426,98
2012	H09T105	AREIA	CL08	64.518,34	14,54	6,20	15,17	25,86	228,41	492,88	1065,42
2012	H09T104	AREIA	CL08	67.047,60	15,11	6,20	14,78	25,19	214,19	492,87	3351,97
2012	H10T07	AREIA	CL09	73.526,06	16,57	6,60	13,94	22,82	162,58	518,68	3254,32
2012	H11T07	AREIA	CL09	81.646,32	18,40	6,00	15,17	24,38	199,77	512,01	3851,11
2012	H01T66	AREIA	CL08	84.530,57	19,05	6,40	13,87	21,88	147,38	497,97	3521,98
2012	H09T102	AREIA	CL08	87.636,68	19,75	6,20	14,22	24,26	186,32	492,81	2065,44
2012	H37T161	AREIA	CL03	88.568,51	19,96	6,90	16,74	25,26	245,38	495,46	5199,40
2012	H11T09	AREIA	CL09	88.923,49	20,04	6,00	14,63	23,48	180,52	511,91	5130,43
2012	H43T17	AREIA	CL08	89.633,46	20,20	6,60	14,79	25,45	225,25	502,19	4375,13
2012	H01T64	AREIA	CL08	90.787,16	20,46	6,20	13,55	21,57	136,45	491,49	6708,82
2012	H35T194	AREIA	CL01	92.162,72	20,77	6,00	14,50	23,00	164,34	492,74	3607,24
2012	H10T09	AREIA	CL09	95.046,97	21,42	6,60	15,30	23,88	203,03	518,68	4615,22
2012	H11T01	AREIA	CL08	106.228,96	23,94	6,00	14,89	23,76	187,49	492,37	7617,63
2012	H01T63	AREIA	CL08	107.338,29	24,19	6,20	13,60	22,70	143,26	492,42	2828,19
2012	H10T05	AREIA	CL09	108.713,85	24,50	6,60	13,88	21,54	166,24	518,71	4369,47
2012	H09T63	AREIA	CL08	119.363,37	26,90	6,10	14,61	25,08	201,68	489,85	5599,68
2012	H35T187	AREIA	CL01	123.711,92	27,88	6,10	14,77	22,69	169,07	497,12	4288,25
2012	H43T21	AREIA	CL12	123.800,67	27,90	6,50	14,71	25,06	210,74	509,99	5213,25
2012	H43T19	AREIA	CL12	131.077,84	29,54	6,40	14,84	25,53	221,15	509,30	6245,04

Tabela 34 – Levantamento da base de dados do estudo utilizado na pesquisa (Cont.).

Ano	Local	Solo	Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
2012	H49T81	AREIA	CL09	133.207,75	30,02	6,10	14,64	23,07	179,50	520,75	5627,74
2012	H10T01	AREIA	CL09	135.914,50	30,63	6,60	14,67	22,76	175,38	518,75	5725,29
2012	H01T72	AREIA	CL09	145.632,19	32,82	6,00	13,66	23,74	162,36	517,61	5402,39
2012	H43T09	AREIA	CL12	152.332,51	34,33	6,60	11,90	19,81	110,24	511,40	6093,62
2012	H01T11	AREIA	CL08	152.776,24	34,43	6,50	15,37	24,45	217,27	491,07	8451,07
2012	H35T188	AREIA	CL03	155.438,62	35,03	6,00	14,19	21,36	139,92	494,27	5673,94
2012	H43T03	AREIA	CL11	156.237,33	35,21	6,70	13,31	22,07	142,81	509,82	7683,89
2012	H35T155	AREIA	CL02	159.520,94	35,95	6,20	13,63	20,63	136,97	514,46	3038,95
2012	H43T01	AREIA	CL11	160.497,14	36,17	6,70	12,71	20,77	128,09	509,32	8140,17
2012	H10T03	AREIA	CL09	160.896,50	36,26	6,60	14,01	21,95	158,59	518,88	7036,87
2012	H37T159	AREIA	CL03	168.173,67	37,90	6,90	15,40	23,30	192,30	490,00	8168,91
2012	H35T154	AREIA	CL03	183.926,09	41,45	6,20	13,05	19,67	109,26	497,33	1448,91
2012	H01T60	AREIA	CL08	197.060,49	44,41	6,30	14,26	22,89	173,83	482,91	7993,03
2012	H37T156	AREIA	CL01	214.898,44	48,43	6,90	15,93	25,43	226,33	498,25	12850,75
2012	H01T01	AREIA	CL08	215.253,42	48,51	6,80	15,55	25,46	228,02	490,02	11819,78
2012	H43T15	AREIA	CL08	218.270,79	49,19	6,60	14,72	25,07	211,50	502,96	11319,15
2012	H49T55	AREIA	CL08	222.796,83	50,21	6,80	15,20	25,28	218,92	490,01	38,24
2012	H35T186	AREIA	CL02	226.568,54	51,06	6,10	12,70	18,33	94,67	513,24	8409,37
2012	H43T23	AREIA	CL12	238.593,62	53,77	6,50	14,40	24,86	205,89	510,38	10905,51
2012	H35T195	AREIA	CL01	253.591,70	57,15	6,00	14,55	22,86	168,48	492,70	13047,28
2012	H43T05	AREIA	CL09	270.275,94	60,91	6,20	13,59	21,28	150,27	521,41	9388,69
2012	H35T192	AREIA	CL03	280.259,87	63,16	6,10	13,86	20,74	131,04	495,49	8851,96
2012	H01T15	AREIA	CL09	304.221,29	68,56	6,40	14,72	23,29	185,20	525,20	14527,43
2012	H35T206	AREIA	CL01	314.515,82	70,88	6,20	14,86	23,05	170,55	498,51	12442,45
2012	H35T189	AREIA	CL01	330.002,00	74,37	6,00	14,27	21,59	149,30	496,14	10599,51
2012	H35T182	AREIA	CL03	330.800,72	74,55	6,00	14,36	21,01	143,35	494,52	14718,49
2012	H35T183	AREIA	CL03	567.264,43	127,84	6,10	13,81	20,25	138,19	491,72	21789,03
2012	H44T58	ARGILA	CL02	3.993,57	0,90	6,10	16,64	25,95	247,68	494,66	518,67
2012	H44T91	ARGILA	CL02	4.171,06	0,94	6,30	16,21	26,38	244,05	495,74	252,38
2012	H31T109	ARGILA	CL02	7.321,55	1,65	6,40	17,60	27,39	290,41	507,97	103,56
2012	H40T173	ARGILA	CL01	9.096,47	2,05	6,90	17,57	28,36	336,40	495,93	1257,78
2012	H44T90	ARGILA	CL04	18.370,42	4,14	6,20	17,46	26,82	298,22	505,64	1049,97
2012	H44T76	ARGILA	CL02	18.902,90	4,26	6,20	18,53	27,82	324,61	495,61	1502,90
2012	H44T63	ARGILA	CL02	26.401,94	5,95	6,10	15,62	24,19	211,08	494,76	1523,43
2012	H40T174	ARGILA	CL01	28.975,57	6,53	6,90	18,76	29,76	384,39	495,86	2796,48
2012	H12T34	ARGILA	CL01	30.084,89	6,78	6,80	16,55	26,01	253,57	495,04	2257,84
2012	H44T74	ARGILA	CL02	30.084,89	6,78	6,10	16,63	25,72	250,31	494,63	1973,20
2012	H40T176	ARGILA	CL01	30.573,00	6,89	6,60	16,96	28,36	306,04	493,07	3742,29
2012	H12T32	ARGILA	CL01	32.347,92	7,29	6,80	14,96	24,04	193,18	490,00	2018,97
2012	H31T147	ARGILA	CL05	32.392,29	7,30	6,10	13,99	24,06	155,69	491,55	2141,36
2012	H12T30	ARGILA	CL01	33.457,24	7,54	6,80	15,71	25,58	227,04	490,00	2791,12
2012	H44T56	ARGILA	CL02	36.297,11	8,18	6,10	15,88	24,97	223,72	494,66	1907,02
2012	H44T89	ARGILA	CL03	36.652,10	8,26	6,00	16,16	23,79	208,35	477,99	1852,38
2012	H44T93	ARGILA	CL04	38.782,00	8,74	6,20	16,14	25,48	271,83	505,52	2268,93
2012	H44T64	ARGILA	CL02	43.751,78	9,86	6,10	13,75	21,42	145,94	491,29	1758,84
2012	H31T116	ARGILA	CL02	45.393,58	10,23	6,30	15,27	25,50	212,25	490,00	2446,56
2012	H31T108	ARGILA	CL02	50.407,73	11,36	6,40	17,27	27,50	281,77	506,96	3720,01
2012	H31T25	ARGILA	CL02	53.114,48	11,97	6,20	16,86	26,58	262,99	502,74	3783,34
2012	H07T11	ARGILA	CL01	53.913,20	12,15	7,00	17,67	28,95	324,13	497,83	4656,97
2012	H28T18	ARGILA	CL02	55.909,98	12,60	6,20	16,50	27,06	247,21	499,57	2949,56
2012	H44T101	ARGILA	CL03	64.651,46	14,57	6,10	16,62	25,25	235,14	478,64	4180,91
2012	H40T171	ARGILA	CL01	74.236,03	16,73	7,00	18,04	30,18	355,82	497,22	7257,33
2012	H07T07	ARGILA	CL01	88.612,88	19,97	7,00	18,62	30,33	363,56	497,74	7323,42
2012	H28T22	ARGILA	CL02	89.234,10	20,11	6,20	15,91	26,76	220,40	506,54	4878,96
2012	H40T175	ARGILA	CL03	96.466,90	21,74	6,70	17,39	26,19	279,61	491,13	5675,17
2012	H07T13	ARGILA	CL01	97.620,60	22,00	7,00	18,24	29,93	344,29	498,91	6822,23
2012	H07T09	ARGILA	CL01	111.198,74	25,06	7,00	18,28	29,90	346,65	497,87	7128,93
2012	H44T92	ARGILA	CL02	121.404,53	27,36	6,20	16,86	26,70	267,05	495,74	8383,43
2012	H44T82	ARGILA	CL01	123.578,81	27,85	6,10	15,82	24,89	223,13	479,88	5945,70
2012	H28T26	ARGILA	CL02	133.473,98	30,08	6,20	16,50	26,83	240,03	499,44	7823,96
2012	H48T85	ARGILA	CL04	134.893,92	30,40	6,80	15,42	21,95	178,37	490,00	10900,68
2012	H25T42	ARGILA	CL03	144.345,37	32,53	6,30	17,28	25,59	255,69	487,22	9888,15
2012	H02T17	ARGILA	CL04	147.273,99	33,19	6,40	16,62	26,39	277,88	507,63	9661,70
2012	H01T58	ARGILA	CL09	148.693,92	33,51	6,00	15,12	23,86	196,32	508,14	6659,32
2012	H31T97	ARGILA	CL03	156.636,69	35,30	6,10	15,73	24,66	202,88	484,56	11065,97
2012	H44T88	ARGILA	CL01	168.528,65	37,98	6,10	16,72	26,39	258,90	480,47	8868,09
2012	H31T112	ARGILA	CL02	182.728,01	41,18	6,40	15,92	25,81	227,44	508,00	10108,93
2012	H31T31	ARGILA	CL04	190.493,29	42,93	6,20	15,86	26,02	248,00	513,40	11026,04
2012	H01T48	ARGILA	CL09	200.654,71	45,22	6,20	14,34	23,65	178,71	510,94	8832,76
2012	H31T153	ARGILA	CL03	202.252,13	45,58	6,20	14,20	21,24	152,56	486,54	12609,48
2012	H01T50	ARGILA	CL09	206.423,20	46,52	6,00	14,59	22,81	175,21	509,92	9153,93
2012	H44T87	ARGILA	CL01	216.318,38	48,75	6,10	15,91	25,52	231,48	476,99	11520,94
2012	H44T77	ARGILA	CL02	219.735,10	49,52	6,30	15,86	25,15	225,34	495,58	11041,98
2012	H01T46	ARGILA	CL09	222.663,71	50,18	6,70	15,22	24,53	202,44	516,50	11313,26
2012	H44T66	ARGILA	CL02	228.831,56	51,57	6,20	15,20	23,50	192,38	492,37	9588,14
2012	H31T114	ARGILA	CL05	235.088,15	52,98	6,30	13,95	22,73	166,69	499,26	10231,07

Tabela 34 – Levantamento da base de dados do estudo utilizado na pesquisa (Cont.).

Ano	Local	Solo	Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
2012	H01T34	ARGILA	CL08	236.508,09	53,30	6,40	14,39	24,18	193,44	487,19	11931,18
2012	H27T151	ARGILA	CL05	240.368,54	54,17	6,40	15,08	26,01	229,63	491,50	15677,49
2012	H25T59	ARGILA	CL02	255.677,23	57,62	6,30	16,84	27,01	263,82	505,27	17027,72
2012	H01T43	ARGILA	CL08	283.365,98	63,86	6,40	14,37	24,44	192,90	490,00	11753,52
2012	H31T84	ARGILA	CL03	309.723,54	69,80	6,00	15,48	23,85	191,01	490,00	14239,37
2012	H31T145	ARGILA	CL03	324.810,36	73,20	6,10	15,14	22,25	178,49	482,84	15809,15
2012	H31T71	ARGILA	CL05	339.409,08	76,49	6,00	13,67	22,21	140,61	495,08	23718,82
2012	H31T33	ARGILA	CL02	364.657,31	82,18	6,20	15,93	25,70	230,14	503,30	19548,55
2012	H31T06	ARGILA	CL03	395.008,45	89,02	6,30	15,49	23,73	202,69	488,73	24054,87
2012	H01T44	ARGILA	CL10	465.694,64	104,95	6,20	14,44	23,12	175,24	495,74	21658,68
2012	H31T45	ARGILA	CL01	468.578,88	105,60	6,00	14,22	22,21	160,53	487,75	25288,95
2012	H31T67	ARGILA	CL03	476.921,00	107,48	6,20	14,39	22,18	152,65	485,41	10488,02
2012	H31T146	ARGILA	CL03	533.540,95	120,24	6,00	14,66	21,75	166,56	476,82	28522,48
2012	H31T150	ARGILA	CL05	537.756,39	121,19	6,20	15,42	24,59	220,26	497,97	29347,06
2013	H37T228	AREIA	CL01	12.246,95	2,76	6,90	16,91	27,35	276,72	498,96	922,66
2013	H36T11	AREIA	CL11	13.533,77	3,05	6,30	14,39	23,79	175,37	497,76	3463,33
2013	H36T09	AREIA	CL11	18.237,30	4,11	6,30	14,73	24,72	184,43	497,43	5628,42
2013	H36T05	AREIA	CL11	37.717,05	8,50	6,30	14,04	23,26	157,08	497,82	8761,79
2013	H13T43	AREIA	CL08	45.216,09	10,19	6,50	14,85	24,29	193,52	502,67	2733,59
2013	H29T32	AREIA	CL09	56.176,22	12,66	6,40	15,15	24,42	190,54	524,00	2927,23
2013	H16T34	AREIA	CL08	66.071,40	14,89	6,10	13,66	20,87	132,91	489,99	2498,60
2013	H06T03	AREIA	CL08	66.648,25	15,02	6,40	14,60	24,22	180,52	498,68	3350,07
2013	H18T08	AREIA	CL10	70.375,58	15,86	6,10	13,46	20,75	122,80	501,30	3189,41
2013	H29T11	AREIA	CL11	75.567,22	17,03	6,50	14,44	24,41	176,49	507,12	3718,27
2013	H15T18	AREIA	CL08	76.499,05	17,24	6,00	14,00	22,30	151,31	492,68	4078,93
2013	H46T05	AREIA	CL09	81.735,07	18,42	6,80	15,39	24,70	195,48	528,47	2966,34
2013	H13T41	AREIA	CL08	82.933,14	18,69	6,60	14,70	23,58	181,31	500,89	3661,47
2013	H46T11	AREIA	CL12	83.199,38	18,75	6,70	15,06	24,91	193,60	512,92	4361,76
2013	H16T23	AREIA	CL08	84.885,55	19,13	6,10	14,74	22,82	166,99	488,43	4043,05
2013	H09T46	AREIA	CL11	85.151,79	19,19	6,50	14,31	22,24	154,65	507,32	3494,46
2013	H06T05	AREIA	CL08	85.551,14	19,28	6,40	14,26	23,77	170,72	498,19	4265,49
2013	H36T07	AREIA	CL08	88.746,00	20,00	6,30	14,83	23,89	185,59	495,12	11483,18
2013	H46T01	AREIA	CL09	91.674,62	20,66	6,80	14,73	23,59	168,94	528,71	4086,54
2013	H06T09	AREIA	CL08	96.821,89	21,82	6,40	14,16	23,16	169,69	496,97	4370,13
2013	H09T87	AREIA	CL12	96.821,89	21,82	6,60	14,49	18,00	125,89	503,85	2208,82
2013	H29T07	AREIA	CL08	98.951,79	22,30	6,40	14,43	23,61	173,42	499,54	4328,61
2013	H29T41	AREIA	CL08	101.702,92	22,92	6,50	15,10	23,04	186,21	496,97	6379,46
2013	H08T09	AREIA	CL09	102.191,02	23,03	6,80	15,20	24,40	189,40	521,94	5991,71
2013	H29T05	AREIA	CL11	102.235,39	23,04	6,50	14,60	24,29	182,08	507,35	5002,92
2013	H08T13	AREIA	CL09	103.034,11	23,22	6,80	15,16	24,36	192,71	522,13	6728,43
2013	H29T34	AREIA	CL11	107.471,41	24,22	6,40	14,63	23,51	179,32	507,19	5817,15
2013	H46T21	AREIA	CL12	111.553,72	25,14	6,70	14,35	23,96	173,40	512,62	6240,38
2013	H29T15	AREIA	CL12	113.417,39	25,56	6,60	14,21	24,13	181,12	510,65	5014,75
2013	H46T13	AREIA	CL12	116.834,11	26,33	6,80	14,38	24,22	173,01	513,90	5341,64
2013	H46T19	AREIA	CL12	120.517,07	27,16	6,70	13,71	23,79	164,71	512,88	4185,56
2013	H46T15	AREIA	CL12	122.780,09	27,67	6,70	14,51	23,98	182,15	512,75	4561,47
2013	H29T19	AREIA	CL09	129.036,68	29,08	6,40	14,74	23,96	172,70	523,64	5894,51
2013	H46T03	AREIA	CL09	129.169,80	29,11	6,80	14,46	23,97	169,60	528,61	5744,77
2013	H09T91	AREIA	CL12	129.436,04	29,17	6,50	14,07	24,75	175,00	509,89	5085,26
2013	H13T46	AREIA	CL08	130.678,49	29,45	6,50	14,73	24,67	187,45	502,10	6046,36
2013	H29T43	AREIA	CL08	134.450,19	30,30	6,50	15,42	23,13	192,98	496,69	6837,69
2013	H08T15	AREIA	CL11	135.648,26	30,57	7,00	15,27	24,98	199,09	495,01	8084,22
2013	H09T92	AREIA	CL12	135.870,13	30,62	6,50	13,72	23,64	156,44	510,78	2985,88
2013	H29T23	AREIA	CL09	143.812,89	32,41	6,40	14,61	22,55	163,98	523,58	5963,92
2013	H09T90	AREIA	CL12	150.158,23	33,84	6,60	13,64	22,03	143,64	510,75	3046,55
2013	H29T13	AREIA	CL12	153.530,58	34,60	6,50	15,15	26,07	216,99	510,25	7803,25
2013	H46T07	AREIA	CL09	154.551,16	34,83	6,80	14,40	23,59	162,09	528,28	6147,77
2013	H29T27	AREIA	CL09	157.479,78	35,49	6,40	14,43	23,71	164,43	523,51	6810,13
2013	H29T03	AREIA	CL11	158.056,63	35,62	6,50	14,38	23,65	168,28	507,29	7411,17
2013	H29T38	AREIA	CL11	158.234,12	35,66	6,40	14,74	24,34	187,38	506,00	6546,49
2013	H09T79	AREIA	CL11	159.121,58	35,86	6,50	15,03	24,04	184,41	507,29	7378,97
2013	H46T17	AREIA	CL12	164.135,73	36,99	6,80	14,42	24,18	180,57	513,05	7660,92
2013	H29T17	AREIA	CL12	166.132,51	37,44	6,50	15,51	26,30	227,00	509,50	8451,36
2013	H06T07	AREIA	CL08	168.262,42	37,92	6,40	14,78	23,89	190,00	497,97	7683,87
2013	H37T181	AREIA	CL02	183.437,98	41,34	7,00	13,68	20,20	123,85	516,80	10616,91
2013	H15T02	AREIA	CL09	184.458,56	41,57	6,30	14,91	21,65	165,66	514,80	6560,22
2013	H15T04	AREIA	CL09	187.609,04	42,28	6,30	15,15	22,27	176,51	515,59	9862,37
2013	H37T178	AREIA	CL02	189.783,32	42,77	6,80	13,69	20,10	119,60	513,54	10510,08
2013	H16T28	AREIA	CL08	191.025,77	43,05	6,10	15,02	23,09	175,30	487,93	8284,19
2013	H08T11	AREIA	CL09	194.087,50	43,74	6,90	14,74	23,58	176,38	522,63	9802,24
2013	H13T48	AREIA	CL08	195.285,57	44,01	6,50	14,58	23,99	183,39	502,60	8509,58
2013	H37T167	AREIA	CL01	200.965,32	45,29	7,00	15,05	24,30	179,44	490,12	9712,23
2013	H29T09	AREIA	CL08	202.074,64	45,54	6,40	14,70	23,98	180,90	499,18	9091,24
2013	H15T10	AREIA	CL09	205.668,86	46,35	6,10	14,65	20,71	156,81	522,46	4380,25
2013	H09T89	AREIA	CL12	212.679,79	47,93	6,50	13,79	22,94	154,54	510,55	8877,60
2013	H29T36	AREIA	CL11	213.522,88	48,12	6,50	13,82	23,34	156,47	507,02	9981,60

Tabela 34 – Levantamento da base de dados do estudo utilizado na pesquisa (Cont.).

Ano	Local	Solo	Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
2013	H15T06	AREIA	CL09	220.134,45	49,61	6,20	14,52	22,24	157,26	520,72	7955,44
2013	H13T44	AREIA	CL08	233.579,47	52,64	6,50	14,17	23,24	164,25	502,60	10898,58
2013	H29T40	AREIA	CL11	241.832,85	54,50	6,40	14,76	24,70	188,37	507,32	12093,03
2013	H06T01	AREIA	CL08	248.444,43	55,99	6,40	14,42	23,56	176,16	496,19	11040,30
2013	H29T25	AREIA	CL09	254.301,66	57,31	6,40	14,92	22,09	171,91	524,20	5322,76
2013	H37T170	AREIA	CL02	259.182,69	58,41	6,80	14,30	22,02	146,89	513,30	13750,55
2013	H46T09	AREIA	CL09	268.811,63	60,58	6,70	15,15	24,33	184,36	527,75	11347,77
2013	H29T01	AREIA	CL08	293.349,90	66,11	6,40	15,29	23,85	191,08	496,69	14030,53
2013	H29T28	AREIA	CL11	296.589,13	66,84	6,40	14,34	23,59	165,52	506,17	14298,95
2013	H29T30	AREIA	CL09	323.922,90	73,00	6,50	14,92	24,36	185,53	523,74	14333,92
2013	H15T14	AREIA	CL08	325.165,34	73,28	6,00	14,10	22,35	153,81	491,27	13063,63
2013	H15T12	AREIA	CL12	376.149,92	84,77	6,10	14,72	23,73	172,64	500,23	15556,85
2013	H15T16	AREIA	CL09	384.492,05	86,65	6,10	14,25	21,86	151,96	513,32	490,87
2013	H37T172	AREIA	CL01	410.317,13	92,47	7,00	15,83	25,46	212,17	500,61	25847,38
2013	H37T227	ARGILA	CL02	4.570,42	1,03	6,90	12,95	19,86	110,18	507,26	270,12
2013	H05T01	ARGILA	CL02	4.747,91	1,07	6,90	18,49	24,66	267,15	490,00	326,20
2013	H18T29	ARGILA	CL08	7.854,02	1,77	6,00	13,64	21,07	135,97	479,14	6810,73
2013	H05T19	ARGILA	CL04	10.161,42	2,29	7,00	15,62	24,23	209,55	490,00	449,27
2013	H05T11	ARGILA	CL02	10.960,13	2,47	6,90	14,79	22,37	158,02	490,00	464,62
2013	H05T17	ARGILA	CL04	18.947,27	4,27	6,90	16,75	23,51	222,83	490,00	126,29
2013	H05T03	ARGILA	CL04	40.556,92	9,14	6,90	15,99	23,86	210,17	490,00	1545,02
2013	H18T54	ARGILA	CL08	44.594,87	10,05	6,00	13,90	21,42	139,53	485,51	3618,75
2013	H05T13	ARGILA	CL04	49.830,88	11,23	6,90	16,30	24,24	225,21	490,00	1357,19
2013	H05T05	ARGILA	CL04	59.903,55	13,50	6,90	14,84	22,31	166,86	490,00	2395,75
2013	H05T09	ARGILA	CL02	68.245,67	15,38	6,90	16,12	24,57	213,64	490,00	3885,56
2013	H05T07	ARGILA	CL02	68.689,40	15,48	6,90	16,35	24,06	211,76	490,00	3542,13
2013	H18T03	ARGILA	CL12	85.151,79	19,19	6,10	12,99	20,84	122,89	502,18	3626,54
2013	H31T100	ARGILA	CL04	97.576,23	21,99	6,20	15,70	25,68	231,17	490,00	5342,82
2013	H18T46	ARGILA	CL08	112.574,30	25,37	6,00	14,10	21,16	140,43	491,12	4743,75
2013	H18T18	ARGILA	CL11	132.409,03	29,84	6,00	13,03	20,62	121,06	491,82	5411,87
2013	H42T15	ARGILA	CL03	132.897,14	29,95	6,00	13,37	20,08	121,66	482,72	529,55
2013	H42T02	ARGILA	CL02	136.313,86	30,72	6,10	15,30	24,03	187,31	490,00	6270,94
2013	H08T01	ARGILA	CL12	153.086,85	34,50	7,00	14,39	24,25	178,27	505,57	9171,84
2013	H18T39	ARGILA	CL11	156.459,20	35,26	6,00	13,76	21,54	136,52	485,57	7867,07
2013	H18T44	ARGILA	CL08	159.964,67	36,05	6,00	13,96	21,24	140,62	491,51	7126,30
2013	H18T48	ARGILA	CL12	161.118,36	36,31	6,00	13,07	21,22	130,08	496,71	7254,42
2013	H18T11	ARGILA	CL12	162.493,93	36,62	6,00	13,49	21,47	136,52	497,53	5770,07
2013	H37T179	ARGILA	CL04	180.553,74	40,69	7,00	15,14	24,11	191,39	524,98	7753,88
2013	H08T05	ARGILA	CL12	182.506,15	41,13	6,90	14,58	23,45	172,64	504,82	4989,88
2013	H18T14	ARGILA	CL10	189.650,20	42,74	6,00	13,67	21,26	133,82	497,53	6135,14
2013	H08T03	ARGILA	CL12	193.555,03	43,62	7,00	15,00	24,89	197,02	505,38	9380,89
2013	H31T35	ARGILA	CL03	196.661,14	44,32	6,60	14,58	22,58	157,75	490,35	9732,79
2013	H37T163	ARGILA	CL04	198.879,79	44,82	6,90	15,22	24,37	201,65	524,92	10864,69
2013	H18T35	ARGILA	CL10	200.255,35	45,13	6,00	13,41	20,94	124,89	493,93	9441,34
2013	H14T01	ARGILA	CL04	201.453,42	45,40	7,00	15,20	22,21	184,49	490,00	11217,14
2013	H40T72	ARGILA	CL03	215.741,53	48,62	6,00	15,82	24,21	206,86	476,24	10881,16
2013	H18T24	ARGILA	CL10	229.275,29	51,67	6,10	13,12	20,66	120,13	489,43	10964,42
2013	H40T04	ARGILA	CL05	231.493,94	52,17	6,00	15,08	24,65	191,13	495,90	13227,92
2013	H18T37	ARGILA	CL08	239.880,44	54,06	6,00	13,50	20,77	128,55	476,80	9384,76
2013	H15T08	ARGILA	CL09	273.382,05	61,61	6,30	14,85	20,06	154,73	515,26	4977,98
2013	H40T62	ARGILA	CL03	280.703,60	63,26	6,00	14,89	22,60	171,91	483,44	14726,36
2013	H40T31	ARGILA	CL02	449.232,25	101,24	6,00	14,93	21,59	155,78	497,00	38631,74
2013	H37T180	ARGILA	CL03	497.643,20	112,15	7,00	14,95	22,66	170,35	498,93	24481,04
2013	H31T04	ARGILA	CL03	508.780,82	114,66	6,80	15,83	25,50	209,45	489,99	30578,86
2014	H39T23	AREIA	CL11	2.440,52	0,55	6,70	15,02	24,53	198,36	510,07	14604,06
2014	H45T03	AREIA	CL09	4.969,78	1,12	6,10	10,86	15,53	59,43	513,32	8052,02
2014	H39T19	AREIA	CL09	7.543,41	1,70	6,60	13,83	22,47	149,11	490,00	8930,87
2014	H39T17	AREIA	CL09	8.164,63	1,84	6,40	14,57	23,14	166,87	490,00	9718,22
2014	H39T11	AREIA	CL11	9.096,47	2,05	6,30	14,61	23,65	177,31	494,29	9076,87
2014	H45T05	AREIA	CL09	11.847,59	2,67	6,10	11,03	15,55	62,70	513,39	7819,85
2014	H39T07	AREIA	CL12	12.690,68	2,86	6,60	14,89	23,93	183,51	513,02	9195,60
2014	H39T05	AREIA	CL09	14.421,23	3,25	6,30	15,93	24,66	208,82	522,89	7218,36
2014	H45T01	AREIA	CL09	16.950,49	3,82	6,10	10,87	15,35	59,60	512,50	8052,93
2014	H26T60	AREIA	CL11	18.592,29	4,19	6,90	13,78	22,22	156,61	511,79	798,56
2014	H39T13	AREIA	CL08	18.681,03	4,21	6,60	15,13	24,04	187,00	493,24	10169,25
2014	H03T85	AREIA	CL10	19.036,02	4,29	6,90	14,66	24,43	176,57	507,30	983,28
2014	H39T15	AREIA	CL11	20.722,19	4,67	6,70	14,88	24,23	185,94	498,50	11064,56
2014	H09T115	AREIA	CL11	24.937,63	5,62	6,10	11,67	17,27	78,86	487,15	759,59
2014	H39T21	AREIA	CL08	25.958,21	5,85	6,70	14,91	24,43	200,66	503,74	13530,40
2014	H45T07	AREIA	CL09	26.268,82	5,92	6,10	10,44	14,73	52,82	513,42	4700,89
2014	H26T46	AREIA	CL01	30.617,37	6,90	7,00	15,26	23,52	185,00	502,08	1630,59
2014	H26T72	AREIA	CL11	31.593,58	7,12	6,90	14,36	22,31	169,26	511,36	1149,35
2014	H26T79	AREIA	CL10	32.170,43	7,25	6,80	16,55	25,48	233,34	513,74	1795,00
2014	H35T223	AREIA	CL09	32.481,04	7,32	6,10	15,85	24,94	206,00	512,20	1721,52
2014	H03T27	AREIA	CL12	34.211,58	7,71	7,00	14,76	25,28	200,16	508,51	2023,10
2014	H26T53	AREIA	CL01	34.389,08	7,75	6,90	15,54	23,68	190,22	512,42	2043,73

Tabela 34 – Levantamento da base de dados do estudo utilizado na pesquisa (Cont.).

Ano	Local	Solo	Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
2014	H03T66	AREIA	CL11	37.761,42	8,51	7,00	15,40	25,63	213,56	505,94	2922,38
2014	H26T77	AREIA	CL10	38.959,49	8,78	6,90	16,31	23,92	206,10	504,29	3070,59
2014	H35T220	AREIA	CL09	39.358,85	8,87	6,00	15,98	24,75	209,06	510,74	2274,56
2014	H03T56	AREIA	CL10	40.423,80	9,11	6,90	15,73	25,30	208,91	507,30	2439,60
2014	H26T83	AREIA	CL02	41.089,40	9,26	6,80	15,66	23,92	201,92	525,90	4047,64
2014	H26T38	AREIA	CL03	41.799,37	9,42	6,80	16,07	23,80	199,53	498,17	2065,97
2014	H35T219	AREIA	CL09	42.464,96	9,57	6,10	15,94	23,44	198,01	511,76	2025,80
2014	H35T212	AREIA	CL09	42.908,69	9,67	6,00	15,15	22,85	174,45	510,18	1947,44
2014	H26T27	AREIA	CL01	46.946,63	10,58	6,90	15,17	23,79	195,34	511,89	2759,53
2014	H26T48	AREIA	CL01	47.479,11	10,70	7,00	15,15	23,84	181,22	512,48	2479,29
2014	H03T68	AREIA	CL11	49.564,64	11,17	6,90	15,69	24,75	209,95	505,25	2020,99
2014	H26T51	AREIA	CL01	50.762,71	11,44	6,90	15,27	23,23	179,15	490,00	2628,68
2014	H26T28	AREIA	CL08	52.626,38	11,86	6,90	15,24	23,41	194,85	508,87	2296,59
2014	H26T56	AREIA	CL01	52.626,38	11,86	6,90	14,95	23,47	172,91	512,38	3634,68
2014	H22T94	AREIA	CL11	53.380,72	12,03	6,00	15,69	26,66	233,15	493,68	3842,73
2014	H26T74	AREIA	CL11	55.066,89	12,41	6,90	12,96	20,04	127,12	512,02	1392,21
2014	H22T95	AREIA	CL11	59.149,21	13,33	6,00	15,93	26,77	241,86	493,68	1450,16
2014	H35T207	AREIA	CL09	60.081,04	13,54	6,90	14,38	22,89	163,70	521,92	3489,19
2014	H22T96	AREIA	CL11	60.214,16	13,57	6,00	15,88	27,34	148,81	486,68	2212,49
2014	H03T88	AREIA	CL08	60.569,15	13,65	6,90	15,16	23,65	189,04	494,29	2263,37
2014	H26T70	AREIA	CL09	65.760,79	14,82	6,90	15,29	23,93	198,97	519,52	3929,84
2014	H26T50	AREIA	CL01	67.846,32	15,29	6,90	15,94	24,94	217,02	511,99	4083,69
2014	H26T69	AREIA	CL09	68.290,05	15,39	6,90	14,85	22,30	168,39	517,88	4197,24
2014	H26T43	AREIA	CL03	68.689,40	15,48	6,80	15,85	23,67	194,06	501,64	3685,34
2014	H03T58	AREIA	CL12	70.863,68	15,97	6,90	15,01	24,51	200,10	508,25	3371,88
2014	H35T222	AREIA	CL09	72.106,13	16,25	6,10	15,63	24,58	196,99	511,76	3807,58
2014	H26T30	AREIA	CL01	73.304,20	16,52	6,90	15,52	24,62	198,79	511,86	4520,68
2014	H03T64	AREIA	CL10	74.191,66	16,72	6,90	17,13	26,06	253,63	508,25	4616,86
2014	H26T87	AREIA	CL02	75.212,24	16,95	6,80	15,34	22,96	186,53	515,47	5224,65
2014	H03T60	AREIA	CL10	79.250,18	17,86	6,90	15,42	24,69	199,89	507,63	4346,56
2014	H03T61	AREIA	CL10	79.427,67	17,90	7,00	14,82	23,61	173,33	508,93	3906,21
2014	H26T40	AREIA	CL12	79.472,04	17,91	6,80	15,25	24,56	195,92	506,64	4211,02
2014	H26T81	AREIA	CL10	79.782,65	17,98	6,80	15,04	22,97	180,15	490,00	5218,93
2014	H26T88	AREIA	CL11	80.714,49	18,19	6,80	14,22	21,65	151,33	490,00	1859,38
2014	H26T34	AREIA	CL03	82.001,30	18,48	6,80	16,03	24,49	205,39	501,85	5032,24
2014	H26T61	AREIA	CL11	82.311,92	18,55	6,90	13,77	21,47	147,62	511,69	2993,04
2014	H26T03	AREIA	CL09	85.728,64	19,32	6,90	15,63	24,86	204,01	519,01	5141,01
2014	H35T214	AREIA	CL12	87.370,44	19,69	6,00	15,13	24,07	182,15	495,90	3376,16
2014	H03T46	AREIA	CL12	90.165,94	20,32	6,90	15,83	26,21	229,08	515,38	4622,71
2014	H26T85	AREIA	CL11	93.493,91	21,07	6,80	14,48	22,99	177,66	490,00	5356,73
2014	H03T81	AREIA	CL08	93.582,66	21,09	6,90	15,32	25,13	205,16	490,00	4498,85
2014	H09T113	AREIA	CL11	94.070,76	21,20	6,10	12,97	20,00	114,44	487,15	3196,59
2014	H37T198	AREIA	CL01	95.668,19	21,56	6,30	15,73	23,86	198,80	493,54	6251,05
2014	H35T221	AREIA	CL09	96.067,55	21,65	6,00	14,68	23,42	164,40	511,23	4169,65
2014	H22T93	AREIA	CL11	97.842,47	22,05	6,00	15,48	25,98	219,38	493,65	4355,82
2014	H03T63	AREIA	CL10	99.262,40	22,37	6,90	15,75	25,18	207,32	508,28	5337,26
2014	H26T64	AREIA	CL03	99.528,64	22,43	6,80	13,96	20,77	136,51	497,91	4018,41
2014	H03T87	AREIA	CL08	100.238,61	22,59	6,90	14,61	23,24	173,15	494,29	5658,18
2014	H38T209	AREIA	CL02	104.143,43	23,47	6,20	15,28	25,02	201,58	501,87	4576,12
2014	H18T69	AREIA	CL11	108.758,22	24,51	6,30	13,24	21,45	133,53	497,66	4395,16
2014	H26T82	AREIA	CL10	110.621,89	24,93	6,80	15,19	23,74	182,10	513,64	5405,56
2014	H03T48	AREIA	CL12	115.502,92	26,03	6,90	15,51	26,00	217,22	515,42	7214,01
2014	H26T36	AREIA	CL03	121.759,51	27,44	6,90	15,40	22,88	178,18	502,72	6369,91
2014	H35T213	AREIA	CL11	130.012,89	29,30	6,10	14,50	23,05	166,38	492,24	6179,32
2014	H19T152	AREIA	CL01	135.825,75	30,61	6,00	14,64	23,01	172,68	496,24	5275,44
2014	H35T211	AREIA	CL11	138.399,39	31,19	6,00	14,59	22,49	159,41	492,31	5790,23
2014	H18T71	AREIA	CL10	139.641,83	31,47	6,30	13,42	19,72	113,20	492,22	4597,50
2014	H18T63	AREIA	CL09	139.686,20	31,48	6,40	13,57	21,24	132,91	516,28	1991,39
2014	H35T215	AREIA	CL12	140.440,55	31,65	6,00	14,85	23,54	175,39	495,87	7043,73
2014	H03T01	AREIA	CL12	148.383,31	33,44	7,00	14,29	24,21	177,89	508,55	8661,88
2014	H35T216	AREIA	CL09	149.137,65	33,61	6,00	15,03	23,05	174,07	511,10	6880,25
2014	H37T201	AREIA	CL02	152.110,64	34,28	6,40	15,31	23,92	189,78	490,00	6305,18
2014	H35T217	AREIA	CL09	160.763,38	36,23	6,10	15,09	24,07	184,70	511,23	7772,91
2014	H26T55	AREIA	CL08	162.893,28	36,71	6,90	14,29	21,85	154,03	500,22	6329,03
2014	H35T218	AREIA	CL11	171.901,00	38,74	6,00	15,40	24,06	198,19	492,74	8915,96
2014	H35T144	AREIA	CL08	200.033,48	45,08	6,90	14,46	22,51	165,13	506,46	10238,62
2014	H39T03	AREIA	CL09	203.494,58	45,86	6,30	14,39	23,81	164,41	523,02	11423,71
2014	H19T148	AREIA	CL02	218.137,67	49,16	6,00	13,88	21,01	141,31	511,27	9339,24
2014	H37T200	AREIA	CL02	224.660,50	50,63	6,40	15,81	24,26	203,87	510,45	12163,11
2014	H37T203	AREIA	CL01	233.091,37	52,53	6,20	15,56	24,13	206,01	490,00	10569,55
2014	H09T111	AREIA	CL11	236.197,48	53,23	6,30	16,20	25,66	237,27	488,53	14143,60
2014	H19T157	AREIA	CL10	262.998,77	59,27	6,00	12,44	18,86	102,92	495,15	7177,20
2014	H37T202	AREIA	CL03	263.930,60	59,48	6,40	15,38	22,79	177,41	492,27	11889,03
2014	H37T196	AREIA	CL01	351.611,65	79,24	6,90	16,47	25,27	228,53	497,39	20046,47
2014	H37T197	AREIA	CL02	400.555,07	90,27	6,70	16,36	24,67	219,16	512,42	19807,85
2014	H32T61	ARGILA	CL01	3.993,57	0,90	7,00	16,92	24,14	234,96	490,80	262,17

Tabela 34 – Levantamento da base de dados do estudo utilizado na pesquisa (Cont.).

Ano	Local	Solo	Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
2014	H32T64	ARGILA	CL01	4.792,28	1,08	7,00	15,41	23,19	189,35	487,27	398,35
2014	H30T01	ARGILA	CL02	5.147,27	1,16	6,10	15,48	20,92	159,82	490,76	257,56
2014	H32T21	ARGILA	CL02	7.720,90	1,74	6,90	13,95	19,60	130,19	500,92	663,72
2014	H30T03	ARGILA	CL06	7.942,77	1,79	6,10	16,42	23,31	216,06	480,76	151,46
2014	H32T20	ARGILA	CL01	13.711,26	3,09	7,00	14,93	24,80	195,05	487,24	4638,64
2014	H32T73	ARGILA	CL07	15.042,45	3,39	6,60	19,24	27,24	356,34	495,11	1066,63
2014	H32T71	ARGILA	CL07	16.684,25	3,76	6,60	18,93	26,75	330,65	497,17	1312,87
2014	H32T24	ARGILA	CL06	17.926,69	4,04	6,30	15,56	23,51	192,97	487,42	2623,37
2014	H32T07	ARGILA	CL05	26.091,32	5,88	7,00	14,91	25,11	194,49	497,50	1287,97
2014	H03T36	ARGILA	CL08	26.579,43	5,99	6,90	15,31	23,75	187,99	500,36	1377,67
2014	H32T50	ARGILA	CL02	26.579,43	5,99	6,20	17,17	27,54	263,32	498,95	1707,27
2014	H32T99	ARGILA	CL02	30.218,01	6,81	6,20	15,07	23,82	173,99	498,91	1471,27
2014	H32T05	ARGILA	CL05	31.726,70	7,15	7,00	12,62	21,83	130,34	496,91	1121,92
2014	H26T66	ARGILA	CL02	37.938,92	8,55	6,80	16,52	23,38	205,89	514,65	1591,34
2014	H22T92	ARGILA	CL11	39.358,85	8,87	6,00	15,51	26,04	218,52	493,61	1633,65
2014	H32T75	ARGILA	CL06	40.113,19	9,04	6,60	18,76	26,35	326,24	491,27	2613,51
2014	H32T140	ARGILA	CL11	40.645,67	9,16	6,10	15,41	25,59	210,86	476,65	2133,99
2014	H32T93	ARGILA	CL06	40.734,41	9,18	6,70	15,98	23,79	211,46	490,03	2151,75
2014	H26T41	ARGILA	CL08	44.062,39	9,93	6,80	15,17	23,18	181,01	493,99	2302,82
2014	H26T07	ARGILA	CL09	44.816,73	10,10	6,90	15,97	25,21	215,55	519,36	3002,23
2014	H32T46	ARGILA	CL06	46.414,16	10,46	7,00	18,31	28,98	354,46	497,81	2664,82
2014	H34T90	ARGILA	CL02	49.564,64	11,17	6,10	17,40	26,64	269,96	500,74	3173,13
2014	H32T04	ARGILA	CL05	50.274,61	11,33	7,00	15,49	26,94	241,64	497,43	2505,02
2014	H26T19	ARGILA	CL01	54.090,69	12,19	7,00	15,89	24,71	206,33	502,11	2140,47
2014	H30T30	ARGILA	CL07	57.196,80	12,89	6,20	14,67	22,14	176,03	490,00	2140,39
2014	H27T157	ARGILA	CL07	59.770,43	13,47	6,80	15,35	25,31	219,85	494,80	2387,47
2014	H32T34	ARGILA	CL02	60.081,04	13,54	6,40	17,48	25,12	247,32	494,02	3787,46
2014	H26T32	ARGILA	CL11	61.900,34	13,95	6,70	13,08	21,46	127,37	509,98	2830,03
2014	H26T17	ARGILA	CL10	65.494,55	14,76	6,90	15,42	24,35	192,99	504,16	4238,63
2014	H26T11	ARGILA	CL09	67.313,84	15,17	6,90	16,05	23,85	208,46	519,16	4766,82
2014	H26T05	ARGILA	CL09	69.443,75	15,65	6,90	16,11	25,20	215,97	519,42	4037,36
2014	H26T01	ARGILA	CL09	70.641,82	15,92	6,90	16,42	24,97	222,50	519,49	4120,30
2014	H03T51	ARGILA	CL12	73.925,42	16,66	6,90	15,61	27,58	234,22	504,85	3752,22
2014	H26T68	ARGILA	CL02	77.120,27	17,38	6,80	15,63	23,09	185,84	515,70	3920,17
2014	H26T15	ARGILA	CL01	77.342,14	17,43	6,90	15,37	24,24	189,13	501,09	5022,97
2014	H32T32	ARGILA	CL02	78.850,82	17,77	6,40	17,78	26,47	274,42	494,25	5218,59
2014	H26T76	ARGILA	CL08	79.028,31	17,81	6,90	14,51	22,01	155,81	499,80	2463,81
2014	H26T25	ARGILA	CL01	79.738,28	17,97	6,80	15,53	23,81	210,35	511,00	4865,42
2014	H26T44	ARGILA	CL01	87.902,91	19,81	7,00	15,69	23,95	194,18	501,95	4552,86
2014	H32T52	ARGILA	CL09	92.162,72	20,77	6,20	18,11	28,02	307,59	502,04	6036,06
2014	H26T13	ARGILA	CL08	93.627,03	21,10	6,90	15,15	23,34	192,79	498,44	5405,09
2014	H26T09	ARGILA	CL09	105.030,89	23,67	6,90	15,45	24,90	198,58	519,32	6359,80
2014	H34T91	ARGILA	CL02	106.095,84	23,91	6,10	15,95	23,89	199,03	490,00	5445,67
2014	H32T141	ARGILA	CL11	109.645,68	24,71	6,10	14,71	24,54	184,41	476,75	4909,79
2014	H32T78	ARGILA	CL06	111.243,11	25,07	6,60	17,86	26,39	285,10	491,22	6343,61
2014	H26T21	ARGILA	CL10	115.369,80	26,00	6,80	15,38	24,33	195,13	502,71	6308,64
2014	H34T94	ARGILA	CL03	124.244,40	28,00	6,70	16,52	24,68	229,90	492,19	6706,18
2014	H18T50	ARGILA	CL09	128.814,82	29,03	6,40	15,44	20,13	164,27	516,74	4047,27
2014	H26T23	ARGILA	CL03	135.781,38	30,60	6,90	16,73	25,10	226,78	509,96	8659,90
2014	H26T58	ARGILA	CL03	157.213,54	35,43	6,80	14,69	21,75	153,80	498,04	6799,46
2014	H18T51	ARGILA	CL09	163.647,62	36,88	6,40	14,84	20,99	156,11	512,78	4785,10
2014	H27T165	ARGILA	CL06	176.160,81	39,70	6,60	16,48	27,22	261,76	491,97	10172,32
2014	H18T62	ARGILA	CL01	205.269,50	46,26	6,40	13,07	19,35	111,80	489,78	5042,54
2014	H18T15	ARGILA	CL09	211.348,60	47,63	6,60	14,34	21,37	148,48	518,68	7423,92
2014	H32T143	ARGILA	CL11	228.920,31	51,59	6,00	15,92	25,90	229,44	476,55	13181,83
2014	H32T57	ARGILA	CL11	284.919,03	64,21	6,20	15,73	26,03	223,06	484,16	14174,69
2014	H38T208	ARGILA	CL07	297.520,97	67,05	6,10	15,45	25,24	199,27	497,54	12589,52
2014	H02T77	ARGILA	CL07	329.780,14	74,32	6,00	14,39	22,64	170,92	493,34	17723,75
2014	H37T199	ARGILA	CL06	443.064,41	99,85	6,40	15,64	23,46	203,71	490,45	22606,07
2015	H16T38	AREIA	CL12	33.412,87	7,53	6,20	14,73	23,18	174,19	499,01	1228,81
2015	H16T25	AREIA	CL11	37.184,57	8,38	6,10	14,43	22,99	164,64	495,59	1358,48
2015	H19T127	AREIA	CL09	40.956,28	9,23	6,30	15,05	24,48	182,70	517,59	1825,54
2015	H16T17	AREIA	CL11	52.360,14	11,80	6,10	14,00	21,77	146,13	495,55	1195,18
2015	H16T44	AREIA	CL12	61.678,47	13,90	6,20	13,83	23,70	165,06	490,35	2438,73
2015	H16T43	AREIA	CL12	63.497,76	14,31	6,20	15,46	23,05	186,25	505,98	2374,19
2015	H16T40	AREIA	CL12	68.290,05	15,39	6,20	14,57	23,50	172,90	490,54	3027,71
2015	H19T128	AREIA	CL09	69.088,76	15,57	6,30	14,83	23,55	169,85	490,00	3296,21
2015	H17T25	AREIA	CL09	72.061,75	16,24	6,10	13,51	21,83	132,34	520,39	2696,68
2015	H16T41	AREIA	CL12	73.792,30	16,63	6,20	13,96	22,88	159,11	506,04	3208,67
2015	H16T01	AREIA	CL11	75.167,86	16,94	6,00	14,35	22,00	153,87	485,61	2693,89
2015	H17T11	AREIA	CL09	75.434,10	17,00	6,10	14,19	22,33	147,91	520,65	2874,33
2015	H16T30	AREIA	CL11	75.877,83	17,10	6,10	13,87	21,88	141,51	502,55	4037,66
2015	H16T50	AREIA	CL12	82.045,68	18,49	6,20	13,13	21,16	132,52	505,88	3156,92
2015	H17T19	AREIA	CL09	83.066,26	18,72	6,10	14,49	21,58	151,71	513,52	3165,16
2015	H17T17	AREIA	CL09	83.155,00	18,74	6,10	14,32	22,46	157,70	520,62	3275,69
2015	H16T09	AREIA	CL11	88.391,02	19,92	6,10	13,89	21,73	146,15	495,39	3107,73

Tabela 34 – Levantamento da base de dados do estudo utilizado na pesquisa (Cont.).

Ano	Local	Solo	Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
2015	H16T36	AREIA	CL12	91.896,48	20,71	6,10	14,03	22,25	154,75	505,65	3705,65
2015	H16T56	AREIA	CL11	93.848,90	21,15	6,30	14,10	22,03	151,02	504,49	3367,05
2015	H16T27	AREIA	CL11	94.603,24	21,32	6,10	14,30	21,81	152,96	502,62	3908,98
2015	H16T60	AREIA	CL11	95.535,07	21,53	6,30	13,78	21,40	140,27	504,23	3428,67
2015	H16T53	AREIA	CL12	97.132,50	21,89	6,10	14,21	23,34	168,94	505,78	3746,53
2015	H17T21	AREIA	CL09	98.153,08	22,12	6,10	13,23	20,88	125,42	520,20	5342,77
2015	H17T32	AREIA	CL09	99.040,54	22,32	6,10	13,61	21,53	139,46	520,42	3265,02
2015	H16T07	AREIA	CL11	99.706,13	22,47	6,10	14,07	21,59	145,55	495,36	3777,28
2015	H16T11	AREIA	CL11	100.859,83	22,73	6,10	14,73	22,45	165,68	502,42	3842,32
2015	H16T58	AREIA	CL11	103.078,48	23,23	6,30	14,58	22,76	163,23	504,36	3664,84
2015	H16T48	AREIA	CL11	108.358,87	24,42	6,20	14,11	22,26	150,80	487,61	4166,94
2015	H17T13	AREIA	CL09	111.598,10	25,15	6,10	14,27	22,38	152,75	520,62	4301,47
2015	H17T09	AREIA	CL09	114.260,48	25,75	6,10	14,21	22,45	152,92	519,66	4632,94
2015	H16T32	AREIA	CL11	118.564,66	26,72	6,10	13,46	20,83	130,22	502,62	3378,10
2015	H19T129	AREIA	CL09	123.978,16	27,94	6,30	13,88	22,15	140,33	517,46	4632,31
2015	H17T07	AREIA	CL09	127.528,00	28,74	6,10	14,69	23,24	167,43	508,42	5392,38
2015	H16T46	AREIA	CL11	133.917,71	30,18	6,30	13,78	21,65	139,15	488,96	4481,90
2015	H16T51	AREIA	CL12	136.580,09	30,78	6,20	13,12	21,81	139,90	505,82	4936,75
2015	H16T21	AREIA	CL11	141.194,89	31,82	6,10	13,82	21,54	148,00	501,96	4762,88
2015	H19T110	AREIA	CL09	141.682,99	31,93	6,50	14,80	24,48	178,02	520,22	6501,19
2015	H17T30	AREIA	CL09	157.568,52	35,51	6,10	14,60	22,03	158,35	520,36	5576,58
2015	H16T55	AREIA	CL12	177.625,12	40,03	6,20	14,31	22,75	157,94	499,51	5171,41
2015	H19T62	AREIA	CL09	178.690,07	40,27	6,30	12,70	21,33	114,03	517,72	6599,92
2015	H17T03	AREIA	CL11	178.911,94	40,32	6,10	13,93	22,19	147,85	495,75	7106,86
2015	H16T19	AREIA	CL11	179.089,43	40,36	6,10	14,00	21,58	145,62	503,07	6765,34
2015	H01T98	AREIA	CL09	184.014,83	41,47	6,30	14,55	23,17	175,62	507,29	3030,37
2015	H17T23	AREIA	CL09	184.014,83	41,47	6,10	14,27	21,86	149,43	520,42	4317,74
2015	H16T05	AREIA	CL11	188.762,74	42,54	6,10	14,04	21,58	147,66	495,29	7698,10
2015	H17T05	AREIA	CL11	191.824,48	43,23	6,10	13,38	21,43	134,20	502,52	7468,32
2015	H19T50	AREIA	CL09	193.643,77	43,64	6,30	15,43	24,57	192,52	517,53	6581,78
2015	H19T119	AREIA	CL10	203.805,19	45,93	6,40	15,17	23,69	180,94	503,45	9735,31
2015	H16T61	AREIA	CL11	204.648,28	46,12	6,30	13,67	21,58	139,39	504,26	7362,22
2015	H16T03	AREIA	CL10	207.488,15	46,76	6,00	14,39	21,85	149,89	497,14	7903,51
2015	H19T44	AREIA	CL09	211.836,70	47,74	6,30	14,64	24,50	171,80	517,20	8587,62
2015	H19T106	AREIA	CL09	214.543,46	48,35	6,40	15,41	24,62	195,20	518,58	10239,12
2015	H19T26	AREIA	CL09	216.362,75	48,76	6,30	14,72	22,81	169,59	517,06	8722,20
2015	H17T01	AREIA	CL11	218.048,92	49,14	6,20	13,89	22,34	147,10	495,88	8392,15
2015	H19T118	AREIA	CL10	218.847,64	49,32	6,40	14,73	23,11	168,31	503,54	8078,18
2015	H19T123	AREIA	CL09	222.264,36	50,09	6,40	14,65	23,13	168,31	518,90	11918,75
2015	H19T117	AREIA	CL09	223.684,29	50,41	6,50	14,61	23,37	165,17	519,63	10899,19
2015	H19T124	AREIA	CL09	229.142,17	51,64	6,40	14,76	23,83	172,12	518,81	9563,59
2015	H19T130	AREIA	CL09	246.048,29	55,45	6,30	13,67	22,05	134,69	517,36	9202,26
2015	H19T126	AREIA	CL11	253.369,83	57,10	6,40	13,98	22,10	146,89	500,61	7678,46
2015	H19T65	AREIA	CL09	263.442,50	59,37	6,40	14,34	23,49	160,33	518,54	9202,36
2015	H19T122	AREIA	CL10	335.770,49	75,67	6,40	14,49	22,38	154,56	503,25	12927,39
2015	H32T48	ARGILA	CL02	19.524,12	4,40	6,20	17,90	28,13	293,29	499,15	1502,69
2015	H30T11	ARGILA	CL07	20.189,72	4,55	6,10	14,82	22,29	202,19	497,13	1259,89
2015	H32T58	ARGILA	CL01	21.210,29	4,78	7,00	18,84	29,39	366,30	487,37	1714,05
2015	H30T17	ARGILA	CL06	30.972,35	6,98	6,00	17,22	23,90	250,32	480,60	1983,82
2015	H30T32	ARGILA	CL06	40.734,41	9,18	6,10	15,29	20,75	175,41	490,00	1027,76
2015	H32T101	ARGILA	CL02	53.425,09	12,04	6,20	15,34	25,61	198,53	498,88	2889,43
2015	H30T07	ARGILA	CL06	54.135,06	12,20	6,10	15,45	22,56	195,68	484,16	2785,21
2015	H32T86	ARGILA	CL07	56.442,46	12,72	6,40	16,58	24,37	218,61	490,86	1450,21
2015	H27T133	ARGILA	CL09	60.169,79	13,56	6,00	15,03	23,99	190,52	499,78	2259,62
2015	H32T45	ARGILA	CL03	74.857,25	16,87	7,00	16,67	25,48	233,43	485,37	4976,93
2015	H32T80	ARGILA	CL07	89.677,83	20,21	6,80	15,97	26,42	250,49	495,08	5414,53
2015	H19T74	ARGILA	CL09	91.319,63	20,58	6,30	15,59	24,33	198,12	514,19	7800,71
2015	H30T23	ARGILA	CL02	92.650,82	20,88	6,10	11,59	16,72	80,21	490,67	483,37
2015	H27T191	ARGILA	CL02	102.812,24	23,17	6,10	16,92	26,98	267,41	491,52	12013,89
2015	H27T140	ARGILA	CL02	107.693,27	24,27	6,00	15,43	24,27	193,23	497,93	5750,84
2015	H27T190	ARGILA	CL02	119.496,49	26,93	6,10	16,99	26,62	264,68	494,13	3090,79
2015	H30T16	ARGILA	CL02	120.472,70	27,15	6,10	15,74	22,75	188,06	494,33	8052,74
2015	H30T09	ARGILA	CL02	124.200,03	27,99	6,10	16,08	23,14	197,23	501,20	6152,59
2015	H27T142	ARGILA	CL09	126.773,66	28,57	6,00	15,45	25,73	213,30	496,05	7706,93
2015	H27T138	ARGILA	CL02	130.101,64	29,32	6,00	15,99	26,25	231,85	492,98	6662,60
2015	H27T141	ARGILA	CL09	139.242,47	31,38	6,00	15,82	26,84	222,88	500,24	8542,20
2015	H27T137	ARGILA	CL07	142.570,45	32,13	6,00	15,52	25,69	221,24	493,45	8111,90
2015	H27T139	ARGILA	CL09	150.246,98	33,86	6,00	15,43	25,20	208,58	499,48	8464,98
2015	H19T120	ARGILA	CL09	162.360,81	36,59	6,50	15,46	23,21	188,37	515,93	9405,01
2015	H27T135	ARGILA	CL02	164.712,58	37,12	6,00	16,15	26,23	226,94	492,92	9911,05
2015	H19T121	ARGILA	CL09	191.602,61	43,18	6,40	15,70	22,10	183,35	515,90	9944,42
2015	H40T76	ARGILA	CL02	205.713,23	46,36	6,30	15,28	24,18	190,05	503,83	12724,13
2015	H19T48	ARGILA	CL09	217.738,31	49,07	6,20	14,76	25,05	181,87	512,97	11302,64
2015	H27T166	ARGILA	CL06	241.344,75	54,39	6,90	17,88	28,09	320,68	491,25	9487,61
2015	H40T126	ARGILA	CL09	247.335,10	55,74	6,30	15,57	26,39	212,42	505,94	16993,46
2015	H19T47	ARGILA	CL09	259.138,32	58,40	6,30	15,42	25,49	199,22	513,76	11556,21

Tabela 34 – Levantamento da base de dados do estudo utilizado na pesquisa (Cont.).

Ano	Local	Solo	Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
2015	H40T67	ARGILA	CL02	265.661,15	59,87	6,30	16,48	25,83	229,29	503,56	12900,01
2015	H40T125	ARGILA	CL09	312.297,17	70,38	6,30	15,54	26,19	212,25	507,19	20698,43
2016	H35T136	AREIA	CL11	21.032,80	4,74	6,10	15,41	24,82	201,85	485,48	859,31
2016	H04T164	AREIA	CL12	34.300,33	7,73	6,10	17,31	25,81	254,21	487,82	1599,49
2016	H35T132	AREIA	CL11	81.069,47	18,27	6,10	15,85	23,85	212,15	484,89	2699,48
2016	H04T163	AREIA	CL11	83.731,85	18,87	6,10	14,59	22,81	176,55	484,82	4550,77
2016	H41T41	AREIA	CL12	84.086,84	18,95	6,20	12,48	18,58	102,51	502,59	2983,62
2016	H04T159	AREIA	CL12	85.018,67	19,16	6,10	13,70	22,30	146,97	488,08	3608,68
2016	H04T162	AREIA	CL11	93.272,05	21,02	6,10	14,66	23,42	177,86	484,95	4550,24
2016	H04T158	AREIA	CL11	94.203,88	21,23	6,00	14,10	22,10	152,92	482,52	4196,34
2016	H35T137	AREIA	CL12	95.579,44	21,54	6,10	15,89	25,21	213,77	488,48	3748,69
2016	H35T134	AREIA	CL11	96.955,01	21,85	6,10	15,05	23,99	191,37	485,68	42,48
2016	H04T161	AREIA	CL11	100.549,22	22,66	6,10	14,34	22,61	163,11	484,99	4520,64
2016	H35T131	AREIA	CL02	110.710,64	24,95	6,10	15,68	24,06	192,25	500,81	496,85
2016	H04T160	AREIA	CL12	114.615,46	25,83	6,10	14,94	23,02	180,09	487,79	5217,64
2016	H41T40	AREIA	CL12	133.030,25	29,98	6,20	13,44	21,98	138,67	501,44	5607,15
2016	H41T50	AREIA	CL11	169.327,37	38,16	6,20	13,96	21,89	147,14	498,21	7791,04
2016	H41T39	AREIA	CL12	195.951,17	44,16	6,20	13,48	21,49	135,71	501,24	7215,85
2016	H37T225	AREIA	CL02	205.580,11	46,33	6,20	14,82	22,62	162,80	507,29	10104,34
2016	H37T204	AREIA	CL11	223.240,56	50,31	6,40	14,82	23,17	175,50	494,11	4892,67
2016	H37T226	AREIA	CL11	241.389,12	54,40	6,20	14,94	24,42	184,95	492,06	12734,17
2016	H37T224	AREIA	CL11	304.043,80	68,52	6,20	15,16	23,32	181,16	493,31	13721,19
2016	H41T49	AREIA	CL11	329.868,88	74,34	6,20	14,25	22,33	160,53	491,27	15521,29
2016	H32T168	ARGILA	CL02	15.530,55	3,50	6,00	15,33	23,06	178,05	494,30	471,44
2016	H32T169	ARGILA	CL07	23.251,45	5,24	6,00	15,03	23,71	180,60	490,26	1165,06
2016	H32T147	ARGILA	CL02	34.610,94	7,80	6,00	15,41	23,72	188,25	494,40	2122,56
2016	H32T177	ARGILA	CL06	61.722,84	13,91	6,00	15,44	23,64	185,96	484,00	3426,85
2016	H32T185	ARGILA	CL02	86.971,08	19,60	6,00	16,15	25,89	219,45	493,80	4318,85
2016	H32T149	ARGILA	CL06	90.165,94	20,32	6,10	15,80	24,24	208,59	481,22	4659,91
2016	H32T150	ARGILA	CL02	115.281,05	25,98	6,00	16,22	24,64	214,93	490,86	6655,99
2016	H21T13	ARGILA	CL12	162.671,42	36,66	6,20	15,44	25,21	206,25	489,53	6011,56
2016	H37T205	ARGILA	CL02	172.477,85	38,87	6,40	14,94	22,60	161,58	509,10	3666,59

Fonte: Base de dados do estudo.

APÊNDICE B: Estatísticas básicas utilizadas na base de dados.

Tabelas contendo as estatísticas básicas realizadas na base de dados utilizados nesse trabalho, separadas por variáveis, clones e tipo de solo.

Tabela 35 – Estatísticas básicas detalhadas por variável - solo arenoso.

Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
Coefficiente de variação								
CL01	83,18	83,18	6,35	4,07	4,87	13,87	1,56	88,23
CL02	57,60	57,60	5,28	6,82	8,57	21,68	1,57	66,72
CL03	76,36	76,36	5,87	7,49	7,95	22,94	0,81	74,59
CL08	69,10	69,10	4,04	3,67	5,28	14,73	1,22	66,79
CL09	62,96	62,96	4,29	7,40	8,93	19,79	1,50	51,92
CL10	65,57	65,57	5,19	7,45	8,68	22,47	1,32	53,12
CL11	64,87	64,87	4,53	5,54	7,32	17,47	1,66	64,91
CL12	51,37	51,37	4,65	6,42	7,67	18,03	1,62	52,33
Desvio padrão								
CL01	117.482,10	26,48	0,42	0,62	1,17	26,82	7,82	6.241,50
CL02	95.156,84	21,44	0,34	1,00	1,93	35,92	8,00	5.122,91
CL03	144.026,24	32,46	0,38	1,12	1,77	38,66	4,01	5.675,09
CL08	74.056,49	16,69	0,26	0,54	1,27	28,49	6,07	3.665,88
CL09	84.214,34	18,98	0,27	1,07	2,03	32,95	7,73	3.140,21
CL10	85.493,25	19,27	0,34	1,12	2,05	41,10	6,65	3.153,16
CL11	75.254,61	16,96	0,29	0,80	1,68	28,92	8,27	3.648,67
CL12	61.204,99	13,79	0,30	0,93	1,81	31,74	8,18	2.736,03
Máximo								
CL01	410.317,13	92,47	7,00	16,91	27,35	276,72	512,48	25.847,38
CL02	400.555,07	90,27	7,00	16,36	25,02	219,16	525,90	19.807,85
CL03	567.264,43	127,84	6,90	16,74	25,26	245,38	502,72	21.789,03
CL08	325.165,34	73,28	6,90	15,98	26,91	257,76	509,30	14.030,53
CL09	384.492,05	86,65	6,90	16,29	24,94	241,84	528,71	15.099,08
CL10	335.770,49	75,67	7,00	17,13	26,78	253,75	513,74	12.927,39
CL11	329.868,88	74,34	7,00	16,20	27,34	241,86	512,02	15.521,29
CL12	376.149,92	84,77	7,00	17,31	26,30	254,21	515,42	15.556,85
Média								
CL01	141.237,41	31,83	6,56	15,31	23,96	193,35	500,68	7.074,22
CL02	165.189,59	37,23	6,42	14,71	22,48	165,71	510,87	7.678,34
CL03	188.626,21	42,51	6,52	14,93	22,31	168,50	496,41	7.608,58
CL08	107.169,21	24,15	6,48	14,82	24,05	193,46	497,37	5.488,93
CL09	133.757,20	30,14	6,33	14,49	22,78	166,49	517,13	6.048,34
CL10	130.381,19	29,38	6,61	15,04	23,58	182,90	504,30	5.935,37
CL11	116.012,91	26,14	6,32	14,37	22,95	165,53	498,01	5.621,20
CL12	119.137,65	26,85	6,43	14,43	23,58	176,08	504,98	5.228,14
Mediana								
CL01	93.915,46	21,17	6,90	15,22	23,85	192,52	498,74	4.404,47
CL02	171.479,46	38,65	6,30	14,81	22,92	165,41	513,27	7.357,28
CL03	155.438,62	35,03	6,80	15,38	22,79	177,41	495,49	5.673,94
CL08	88.191,34	19,88	6,50	14,83	24,02	190,54	497,47	4.365,92
CL09	127.528,00	28,74	6,30	14,65	23,16	168,94	518,71	5.576,58
CL10	104.942,15	23,65	6,80	15,07	23,83	181,52	505,41	5.278,10
CL11	97.842,47	22,05	6,20	14,35	22,76	160,53	497,66	4.550,24
CL12	115.059,19	25,93	6,50	14,41	23,86	175,20	507,45	4.779,73
Mínimo								
CL01	12.246,95	2,76	6,00	14,27	21,59	149,30	490,00	922,66
CL02	36.474,61	8,22	6,00	12,70	18,33	94,67	490,00	496,85
CL03	41.799,37	9,42	6,00	13,05	19,67	109,26	490,00	1.448,91
CL08	13.134,41	2,96	6,00	13,55	20,87	132,91	482,91	38,24
CL09	4.969,78	1,12	6,00	10,44	14,73	52,82	490,00	490,87
CL10	19.036,02	4,29	6,00	12,44	18,86	102,92	490,00	983,28
CL11	2.440,52	0,55	6,00	11,67	17,27	78,86	482,52	42,48
CL12	12.690,68	2,86	6,00	11,90	18,00	102,51	487,79	1.228,81

Fonte: Base de dados do estudo.

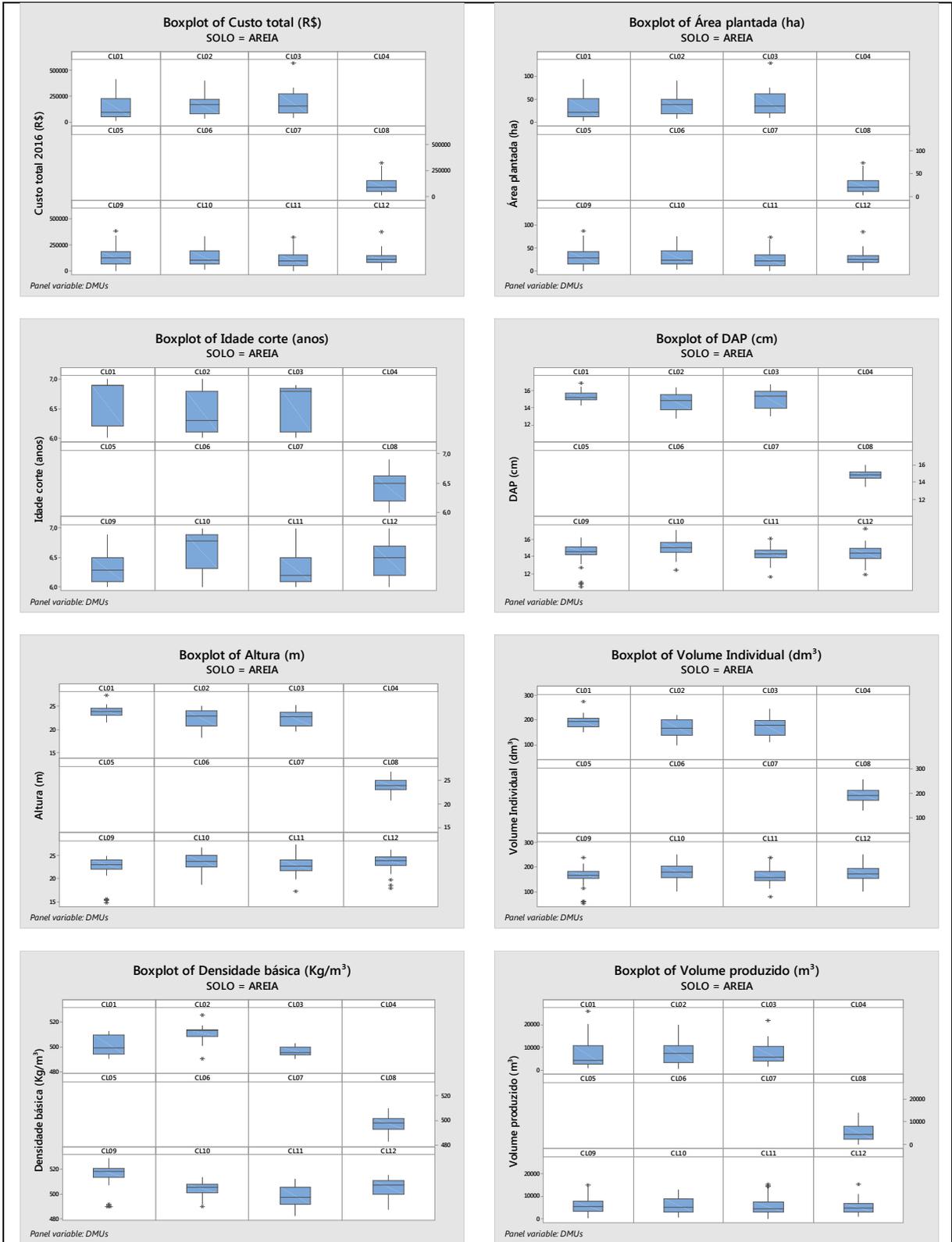
Tabela 36 – Estatísticas básicas detalhadas por variável - solo argiloso.

Clone	Custo total (R\$)	Área plantada (ha)	Idade corte (anos)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume Individual (dm ³)	Densidade básica (Kg/m ³)	Volume produzido (m ³)
Coefficiente de variação								
CL01	94,84	94,84	5,57	8,80	10,43	28,70	1,60	82,26
CL02	100,90	100,90	4,54	7,90	9,56	23,34	1,38	122,17
CL03	65,63	65,63	5,90	6,90	7,17	20,16	1,65	68,78
CL04	74,51	74,51	5,19	4,59	6,40	17,69	2,69	84,09
CL05	91,48	91,48	6,77	6,67	7,10	21,48	0,55	94,47
CL06	117,68	117,68	5,33	7,23	9,36	24,19	1,05	111,90
CL07	111,20	111,20	5,10	10,29	7,35	26,62	0,56	112,97
CL08	62,59	62,59	6,44	5,17	7,62	20,73	1,64	57,18
CL09	45,58	45,58	5,12	4,85	8,29	15,50	1,45	51,52
CL10	51,43	51,43	6,16	6,78	7,75	21,69	1,19	50,95
CL11	65,85	65,85	5,06	7,84	9,42	24,63	2,79	71,58
CL12	31,95	31,95	6,80	6,77	9,82	22,22	1,94	53,82
Desvio padrão								
CL01	94.711,68	21,34	0,37	1,43	2,69	71,00	7,90	4.703,69
CL02	91.292,49	20,57	0,29	1,27	2,38	51,97	6,89	6.250,03
CL03	158.299,76	35,67	0,38	1,07	1,69	39,43	8,04	8.399,08
CL04	73.852,81	16,64	0,35	0,73	1,56	39,40	13,43	4.562,28
CL05	175.287,42	39,50	0,44	0,96	1,72	39,87	2,75	10.418,43
CL06	117.905,24	26,57	0,34	1,20	2,31	58,55	5,13	5.810,73
CL07	112.023,81	25,25	0,32	1,65	1,82	61,14	2,76	5.609,84
CL08	90.578,65	20,41	0,42	0,76	1,78	38,15	8,05	4.434,44
CL09	72.509,42	16,34	0,33	0,75	2,01	30,83	7,43	4.140,03
CL10	106.549,77	24,01	0,40	1,00	1,84	40,38	5,93	5.390,84
CL11	84.248,12	18,99	0,31	1,16	2,27	45,99	13,64	4.565,49
CL12	49.991,32	11,27	0,44	0,97	2,35	39,15	9,66	3.967,87
Máximo								
CL01	468.578,88	105,60	7,00	18,84	30,33	384,39	511,00	25.288,95
CL02	449.232,25	101,24	7,00	18,53	30,59	364,54	515,70	38.631,74
CL03	533.540,95	120,24	7,00	17,39	26,19	279,61	509,96	30.578,86
CL04	201.453,42	45,40	7,00	17,46	26,82	298,22	524,98	11.217,14
CL05	537.756,39	121,19	7,00	15,49	26,94	241,64	499,26	29.347,06
CL06	443.064,41	99,85	7,00	18,76	28,98	354,46	497,81	22.606,07
CL07	329.780,14	74,32	6,80	19,24	27,24	356,34	497,54	17.723,75
CL08	291.397,49	65,67	7,00	16,08	26,42	254,79	503,00	17.425,71
CL09	312.297,17	70,38	6,90	18,11	28,02	307,59	521,69	20.698,43
CL10	465.694,64	104,95	6,90	16,26	25,77	239,57	507,50	21.658,68
CL11	284.919,03	64,21	6,80	15,92	26,04	229,44	512,04	14.174,69
CL12	233.490,73	52,62	7,00	15,61	27,58	234,22	505,57	16.396,44
Média								
CL01	99.866,45	22,51	6,65	16,24	25,81	247,35	494,65	5.718,26
CL02	90.481,90	20,39	6,29	16,11	24,93	222,70	497,53	5.115,70
CL03	241.215,85	54,36	6,37	15,55	23,58	195,60	487,48	12.212,29
CL04	99.119,77	22,34	6,68	15,88	24,37	222,69	500,15	5.425,67
CL05	191.622,34	43,18	6,44	14,47	24,24	185,61	495,90	11.028,74
CL06	100.191,06	22,58	6,39	16,58	24,73	242,03	488,01	5.192,72
CL07	100.738,81	22,70	6,33	16,00	24,71	229,65	494,07	4.965,66
CL08	144.707,75	32,61	6,48	14,68	23,39	184,03	491,99	7.755,89
CL09	159.065,26	35,85	6,40	15,46	24,21	198,89	511,96	8.035,68
CL10	207.166,44	46,69	6,43	14,82	23,80	186,20	499,63	10.581,54
CL11	127.937,22	28,83	6,21	14,74	24,16	186,73	489,68	6.377,88
CL12	156.444,41	35,26	6,51	14,36	23,90	176,19	498,15	7.372,65
Mediana								
CL01	79.738,28	17,97	6,80	15,74	24,89	214,81	495,93	5.022,97
CL02	64.163,36	14,46	6,20	16,10	25,33	222,06	495,63	3.604,36
CL03	196.661,14	44,32	6,20	15,49	23,79	202,69	486,54	10.488,02
CL04	78.739,89	17,75	6,90	15,78	24,24	216,50	490,00	3.869,29
CL05	231.493,94	52,17	6,30	14,91	24,59	191,13	496,91	10.231,07
CL06	50.274,61	11,33	6,35	16,20	23,85	213,76	490,02	2.725,02
CL07	57.196,80	12,89	6,20	15,45	25,24	218,61	494,80	2.140,39
CL08	140.928,65	31,76	6,40	14,66	23,55	190,39	492,48	7.391,99
CL09	156.303,90	35,23	6,30	15,45	24,72	198,90	513,98	7.753,82
CL10	207.288,47	46,72	6,25	15,04	24,52	194,09	501,28	9.376,75
CL11	109.645,68	24,71	6,10	15,41	25,59	210,86	485,57	5.257,96
CL12	162.493,93	36,62	6,50	14,58	24,25	178,27	502,18	6.011,56
Mínimo								
CL01	3.993,57	0,90	6,00	13,07	19,35	111,80	476,99	262,17
CL02	2.218,65	0,50	6,00	11,59	16,72	80,21	482,64	103,56
CL03	36.652,10	8,26	6,00	13,37	20,08	121,66	476,24	529,55
CL04	10.161,42	2,29	6,20	14,84	21,95	166,86	490,00	126,29
CL05	26.091,32	5,88	6,00	12,62	21,83	130,34	491,50	1.121,92
CL06	7.942,77	1,79	6,00	15,29	20,75	175,41	480,60	151,46
CL07	15.042,45	3,39	6,00	14,39	22,14	170,92	490,00	1.066,63
CL08	7.854,02	1,77	6,00	13,50	20,77	128,55	476,80	1.377,67
CL09	44.816,73	10,10	6,00	14,34	20,06	148,48	496,05	2.259,62
CL10	65.494,55	14,76	6,00	13,12	20,66	120,13	489,43	4.238,63
CL11	39.358,85	8,87	6,00	13,03	20,62	121,06	476,55	1.633,65
CL12	73.925,42	16,66	6,00	12,99	20,84	122,89	476,78	3.626,54

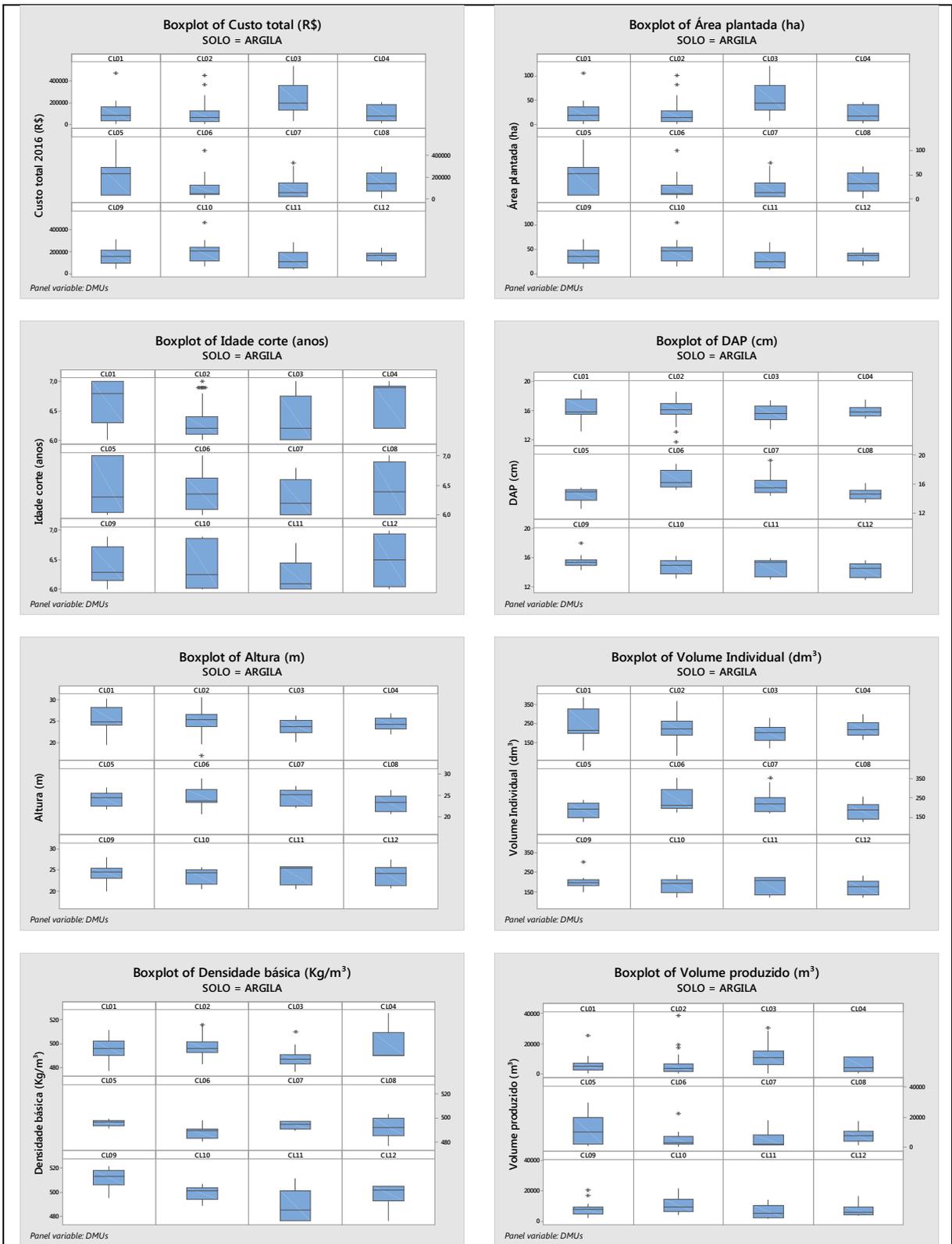
Fonte: Base de dados do estudo.

APÊNDICE C: Análise das variáveis da base de dados utilizando *Boxplot*.

Gráficos da ferramenta *Boxplot* referente as análises das variáveis por tipo de clone e solo.



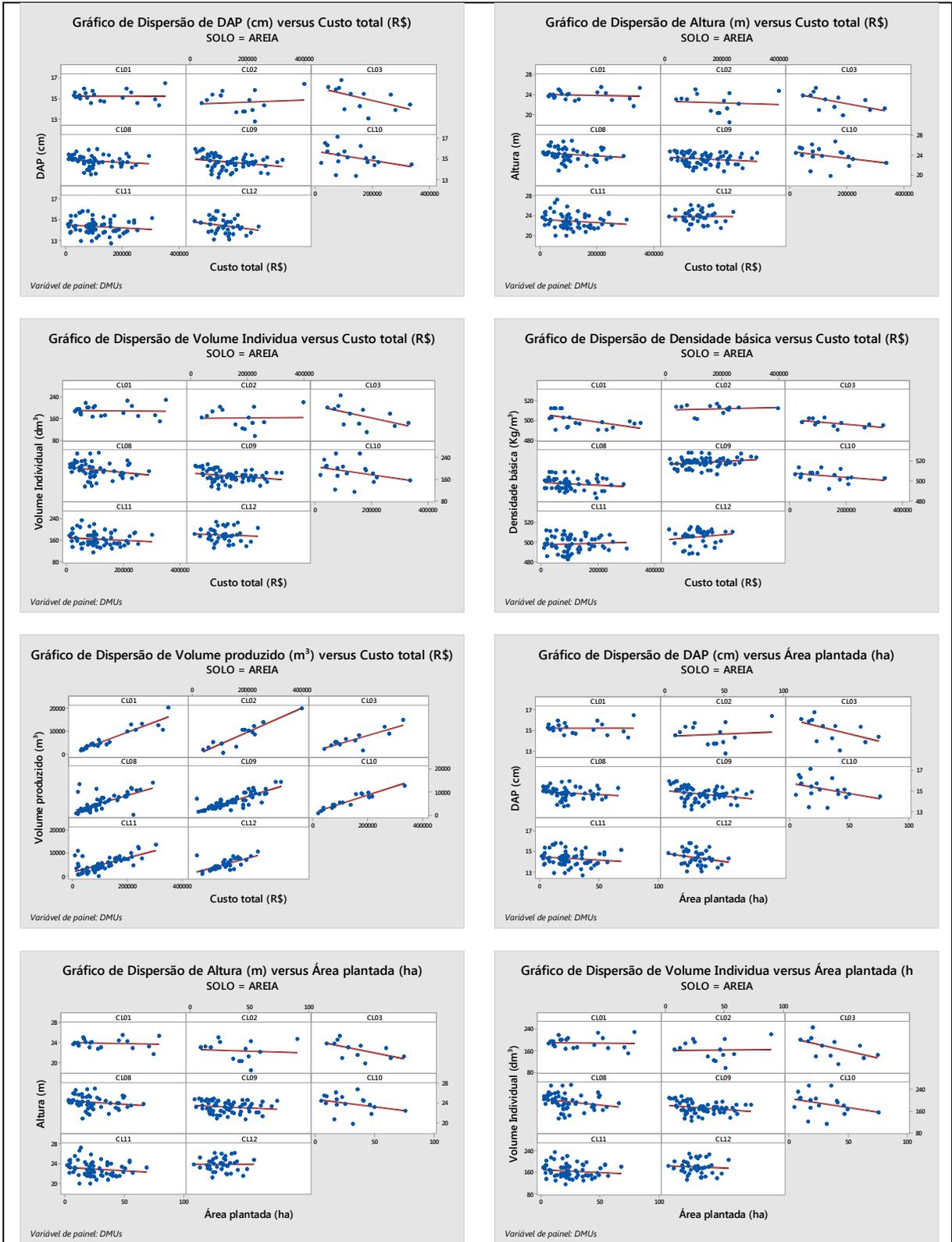
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 18 - Análise *boxplot* das variáveis em solo arenoso.



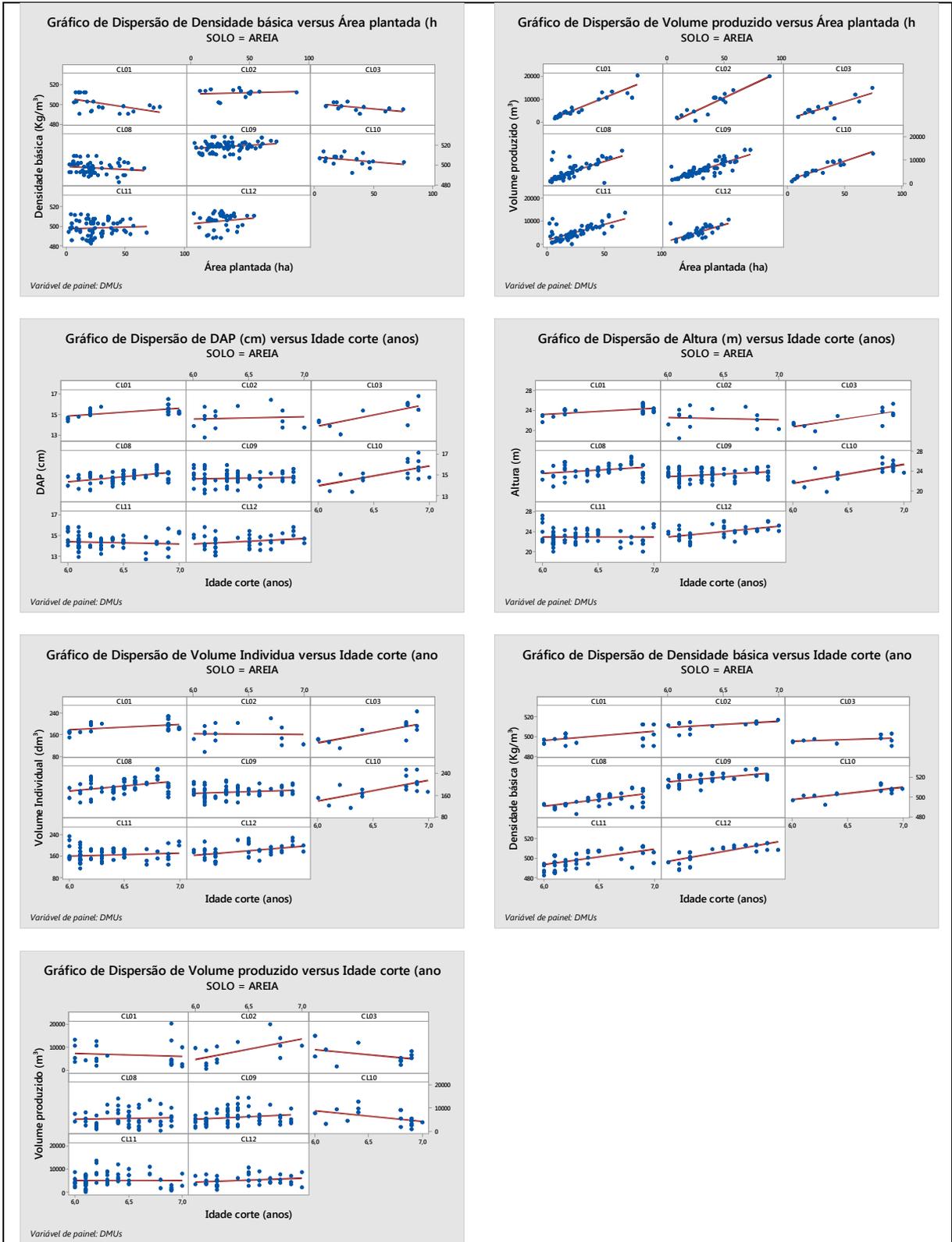
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 19 - Análise *boxplot* das variáveis em solo argiloso.

APÊNDICE D: Estatísticas básicas e Gráficos de dispersão para construção do modelo DEA

Gráficos de dispersão comparando-se as entradas e saídas individualmente para cada par *input-output*, de forma a verificar a proporcionalidade entre as variáveis estudadas.

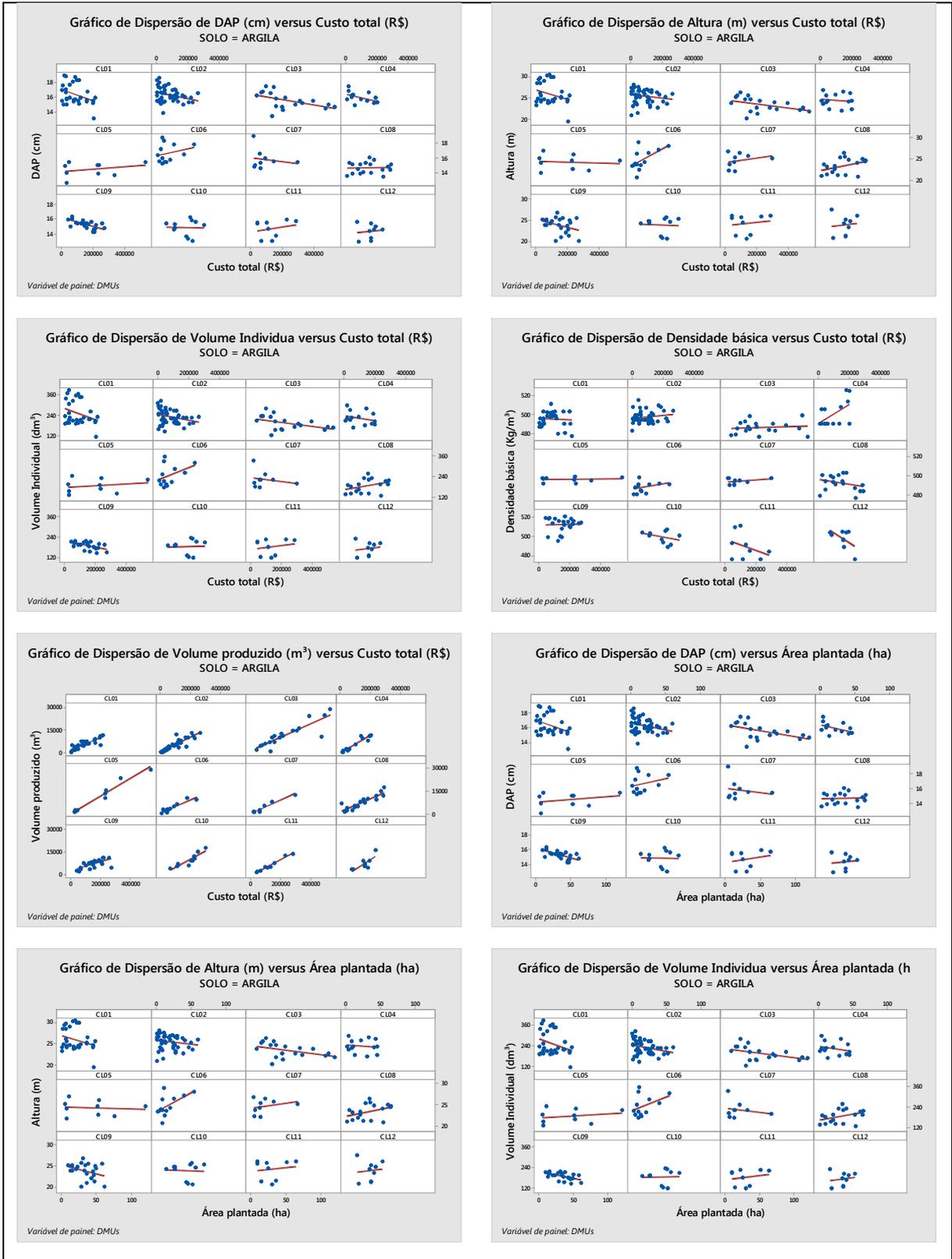


Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 20 - Gráficos de dispersão referente aos pares *input-output* para solo arenoso.

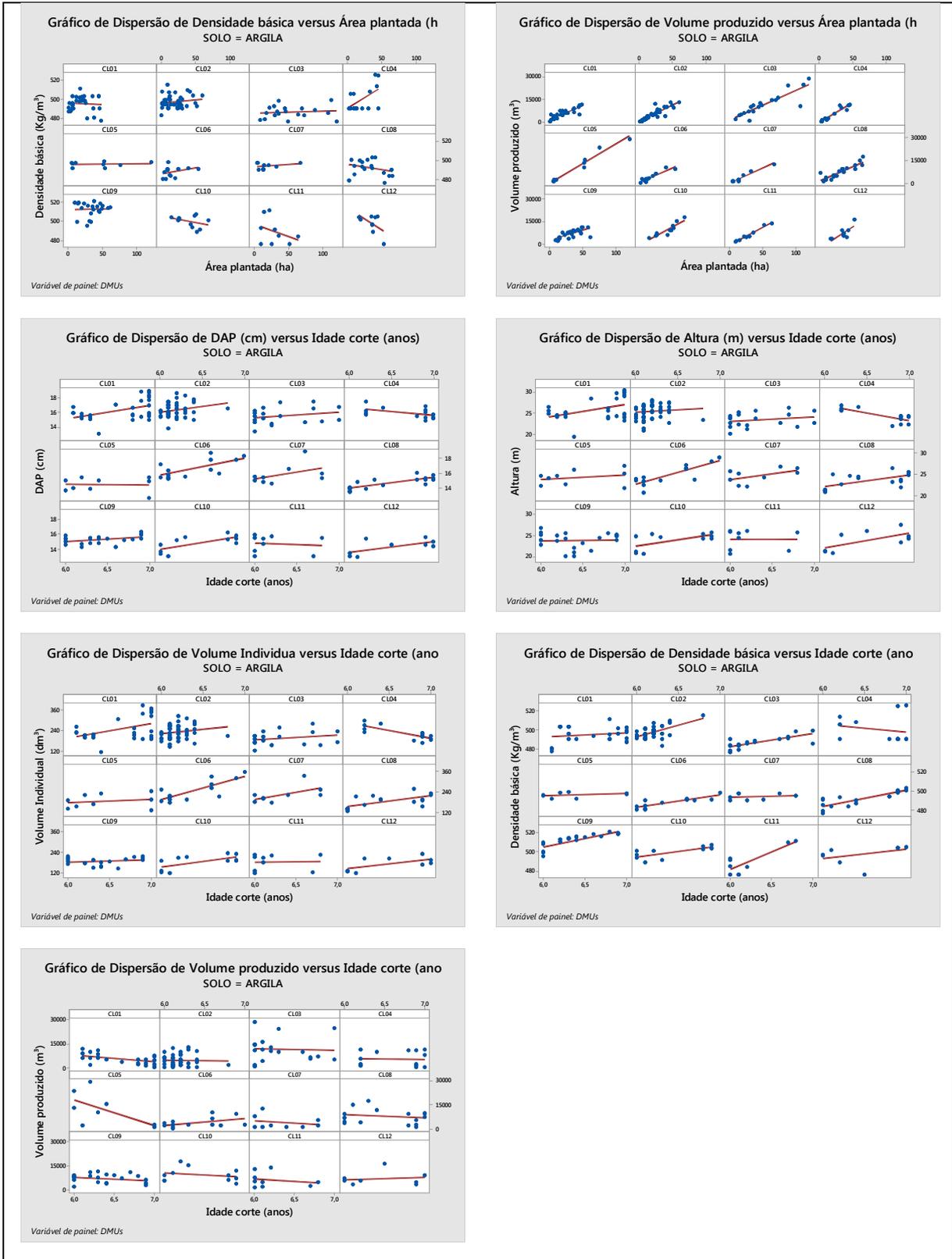


Fonte: Base de dados do estudo.

Figura 20 - Gráficos de dispersão referente aos pares input-output para solo arenoso (Cont.).



Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 21 - Gráficos de dispersão referente aos pares *input-output* para solo argiloso.

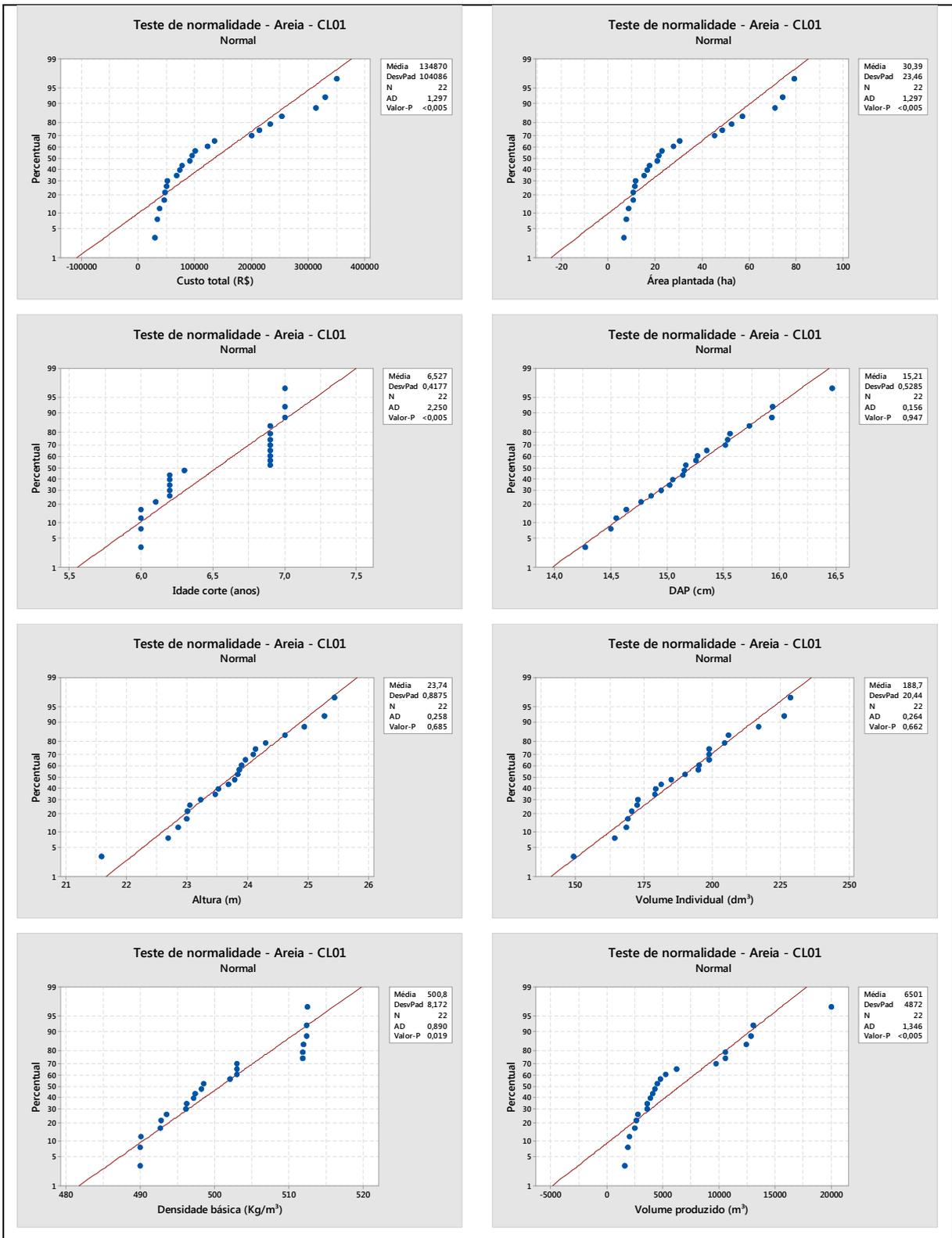


Fonte: Base de dados do estudo.

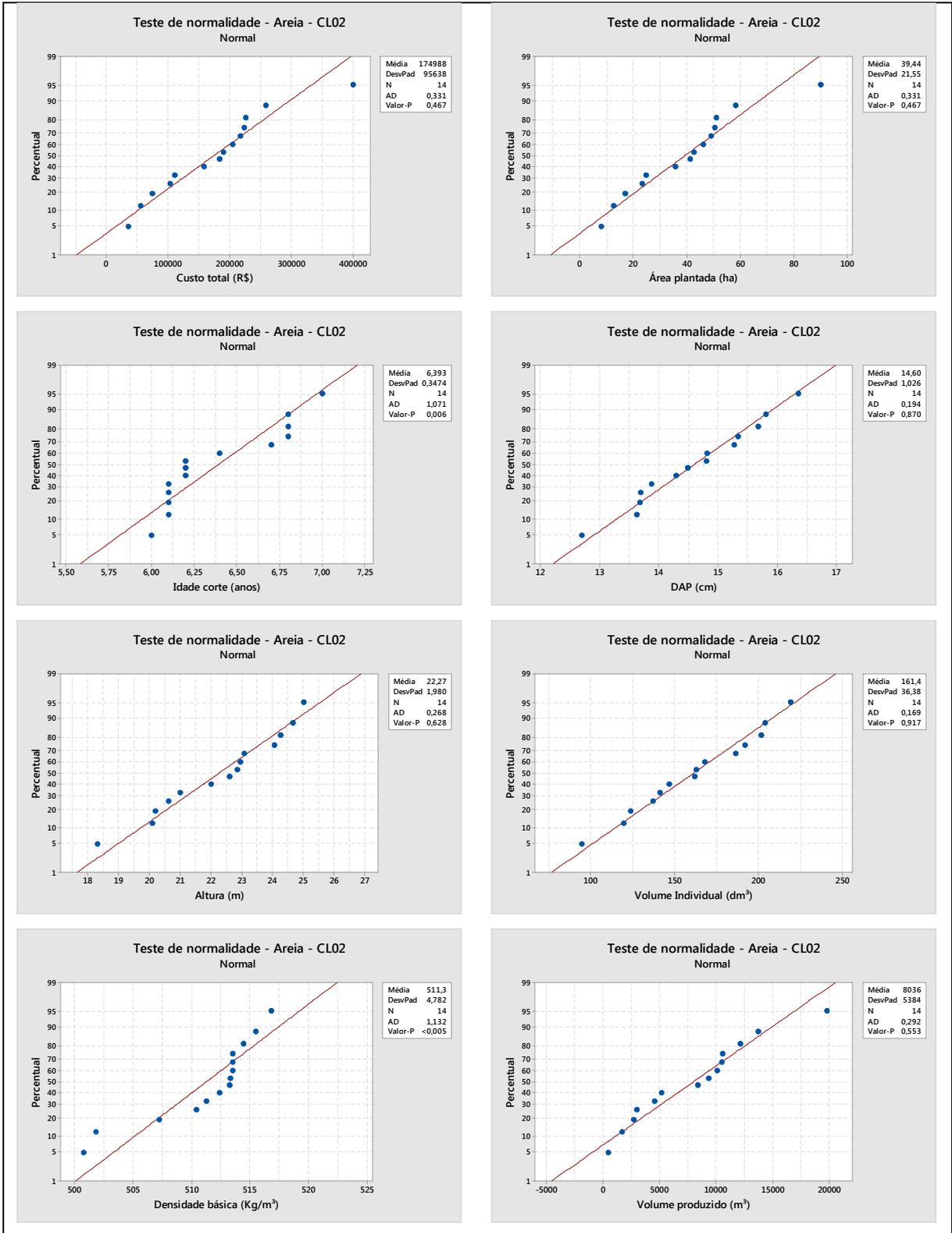
Figura 21 - Gráficos de dispersão referente aos pares input-output para solo argiloso (Cont.).

APÊNDICE E: Seleção das variáveis utilizadas no modelo DEA.

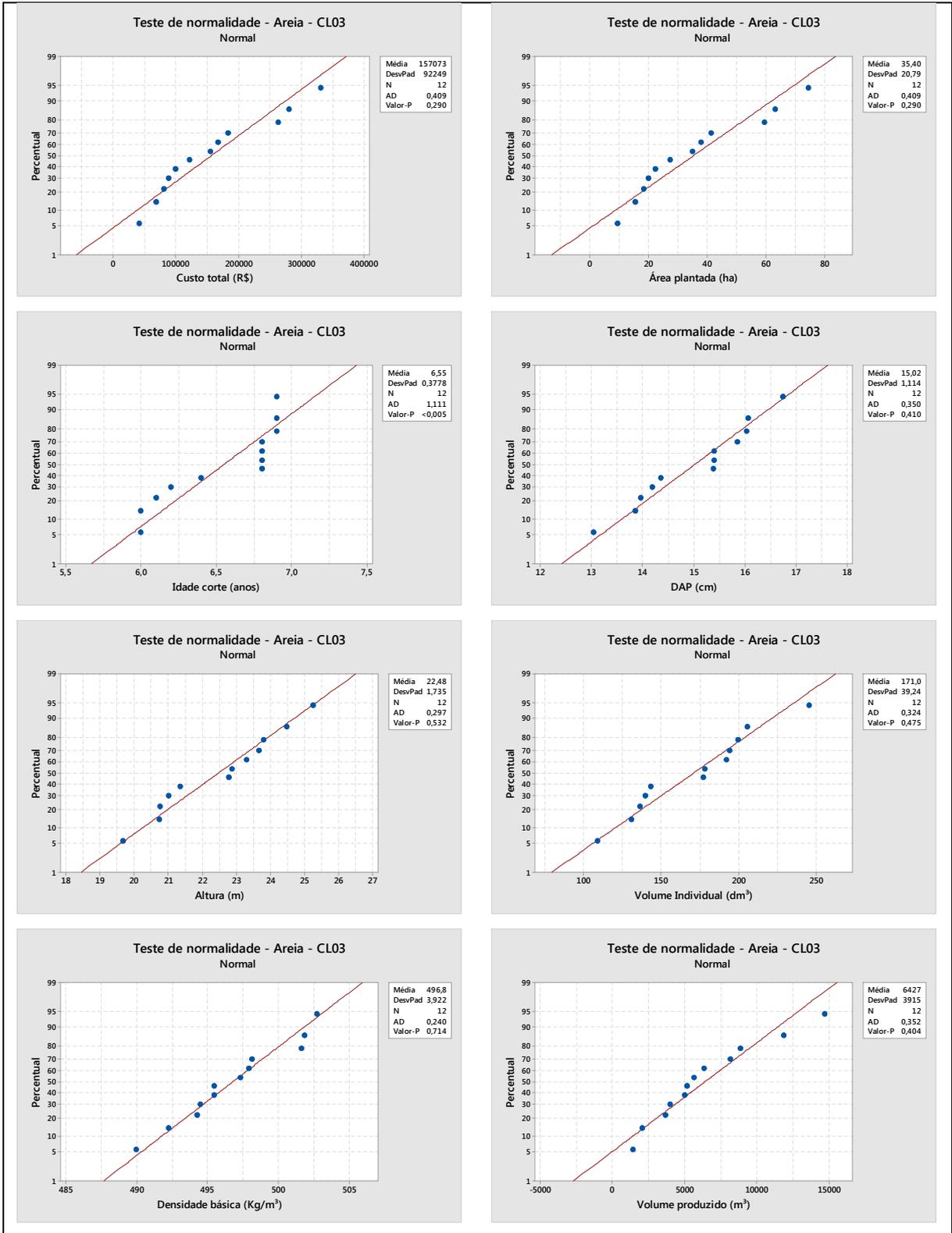
Teste de normalidade dos dados para as variáveis estudadas separadas por tipo de clone e solo.



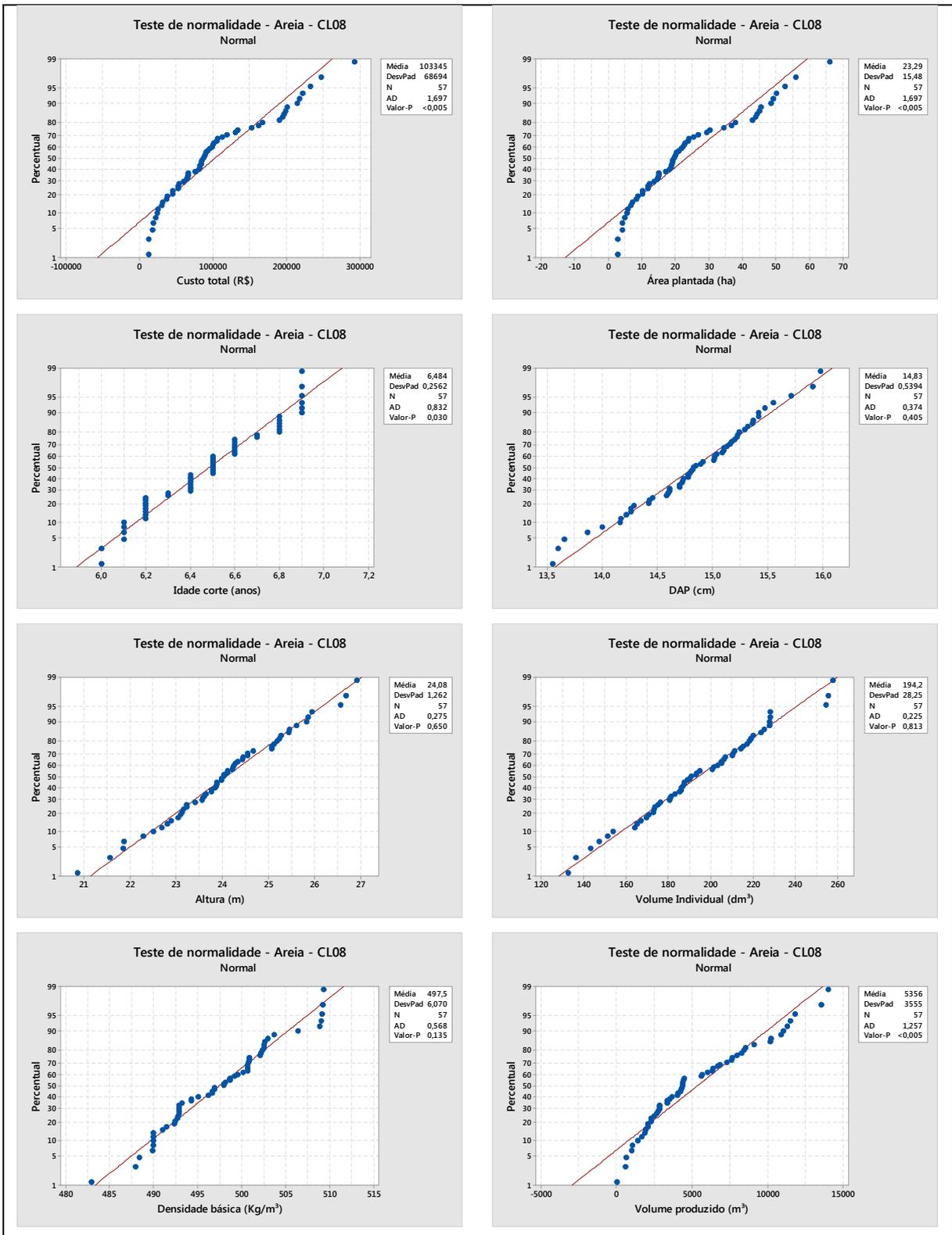
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 22 – Teste de normalidade para solo arenoso.



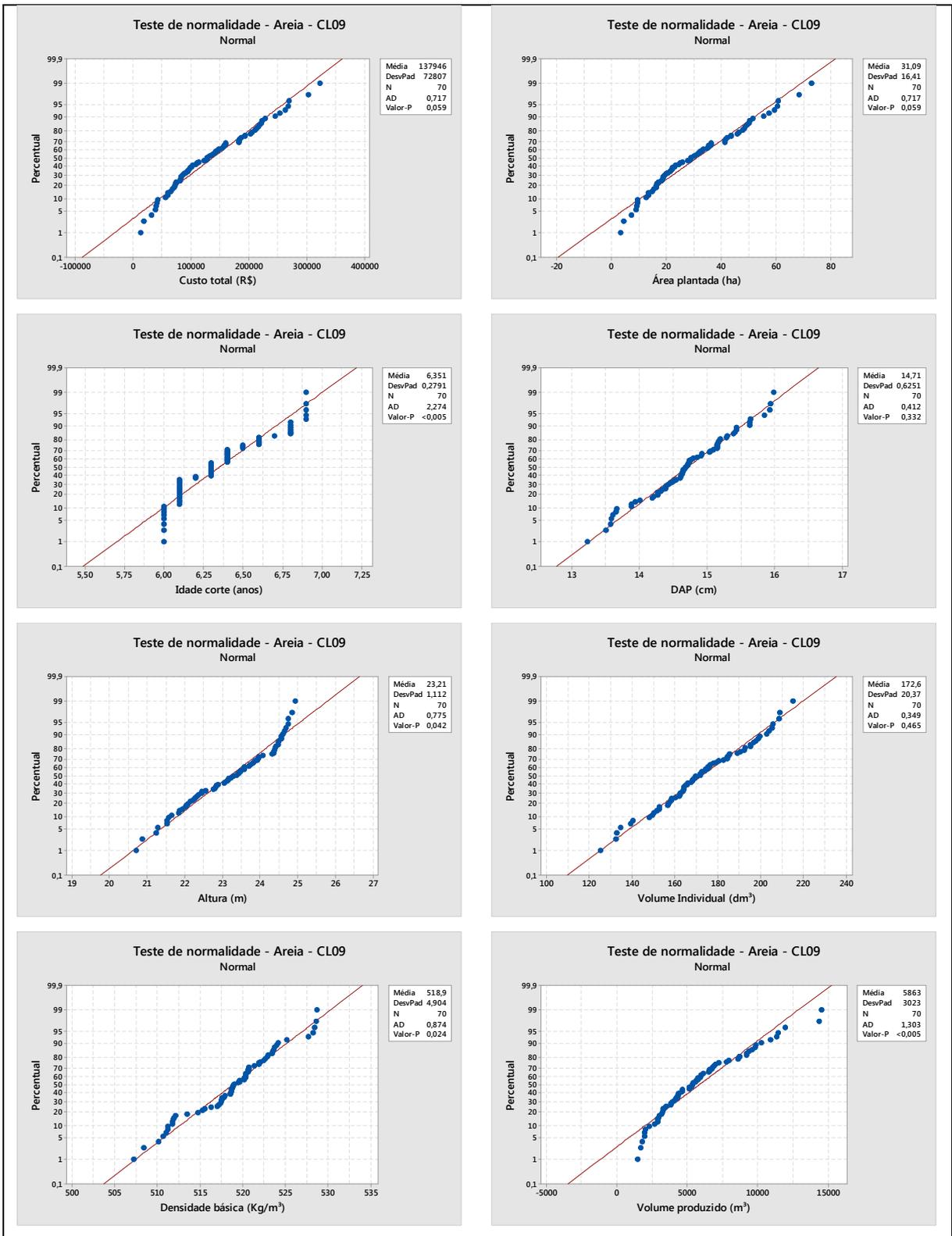
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 22 – Teste de normalidade para solo arenoso (Cont.).



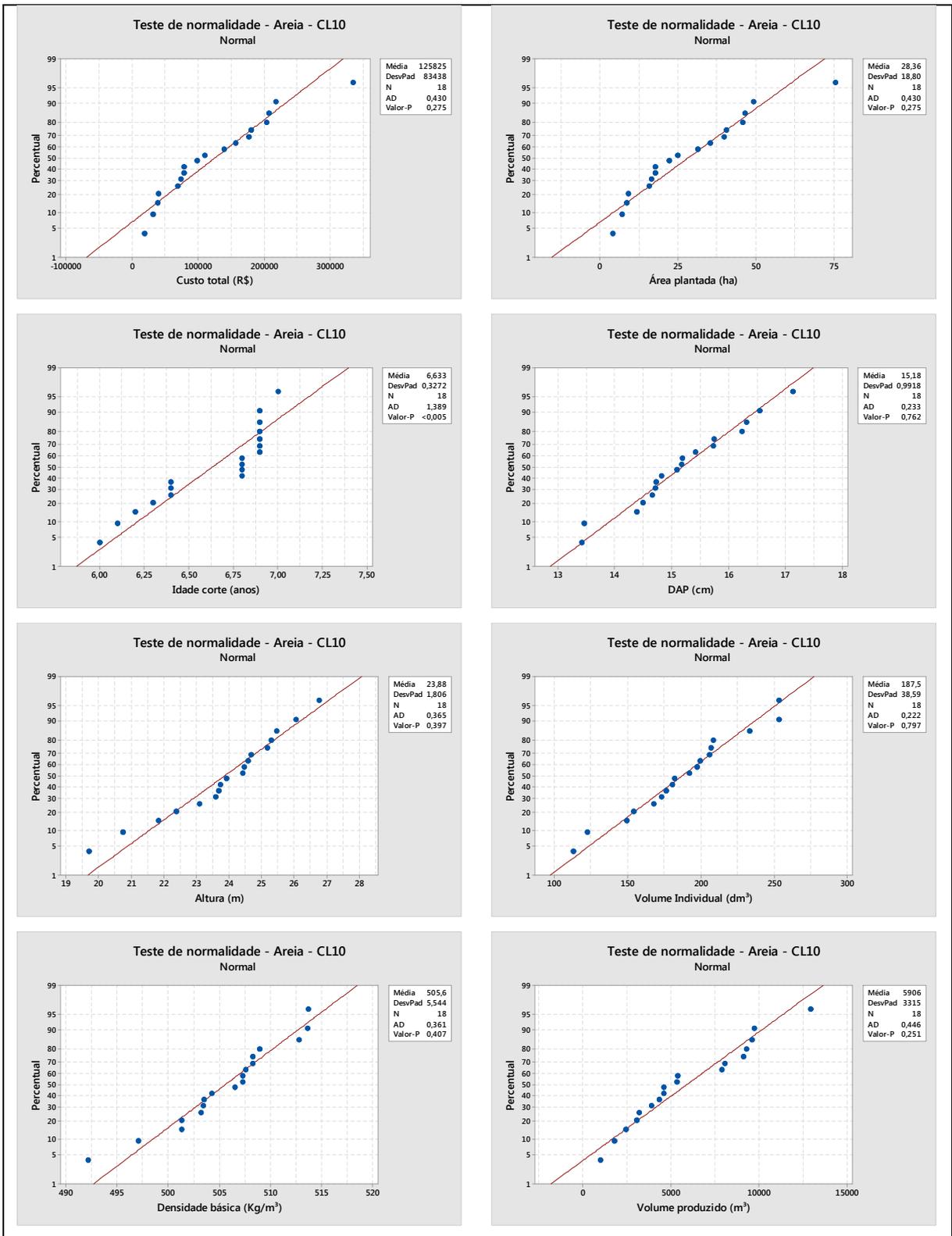
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 22 – Teste de normalidade para solo arenoso (Cont.).



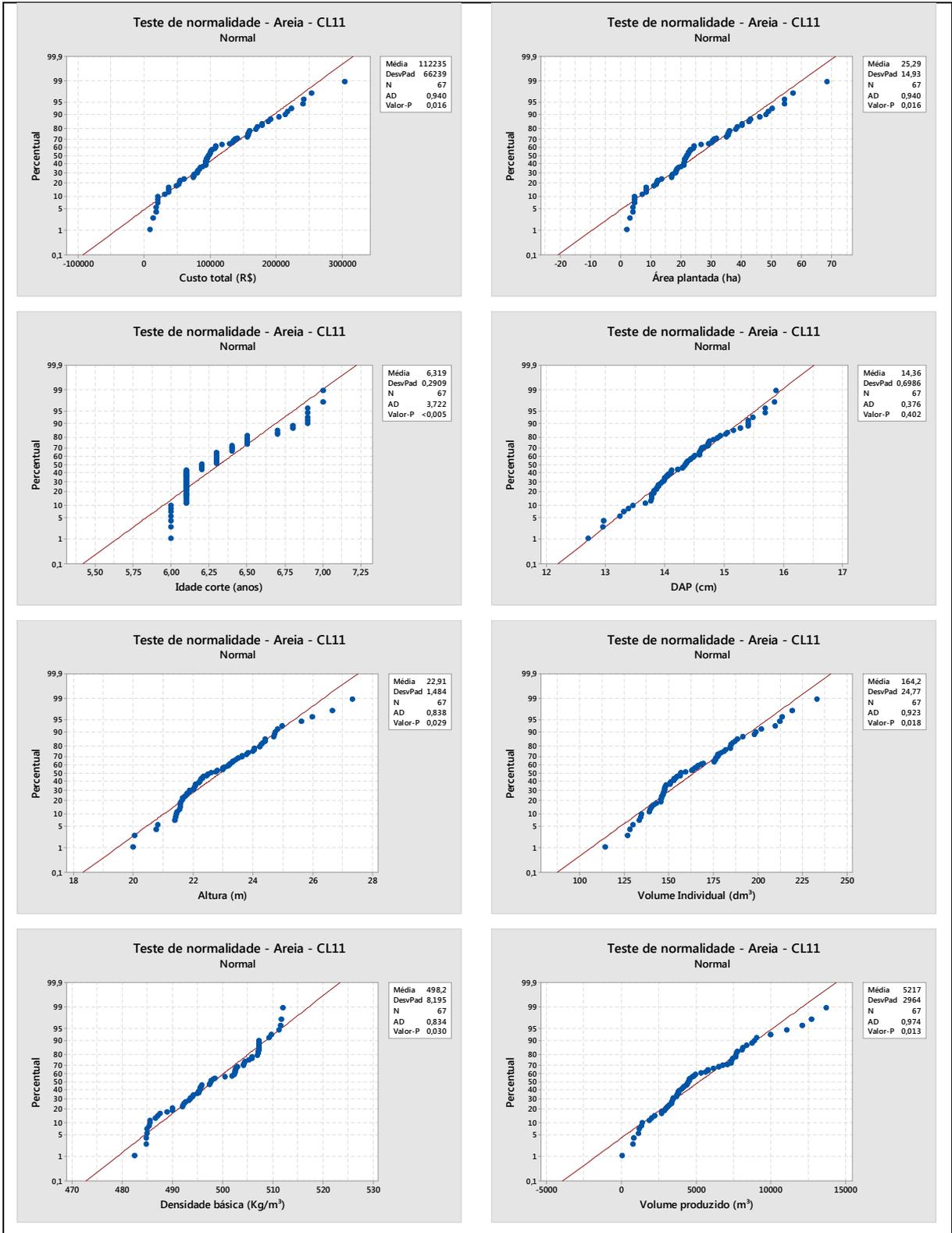
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 22 – Teste de normalidade para solo arenoso (Cont.).



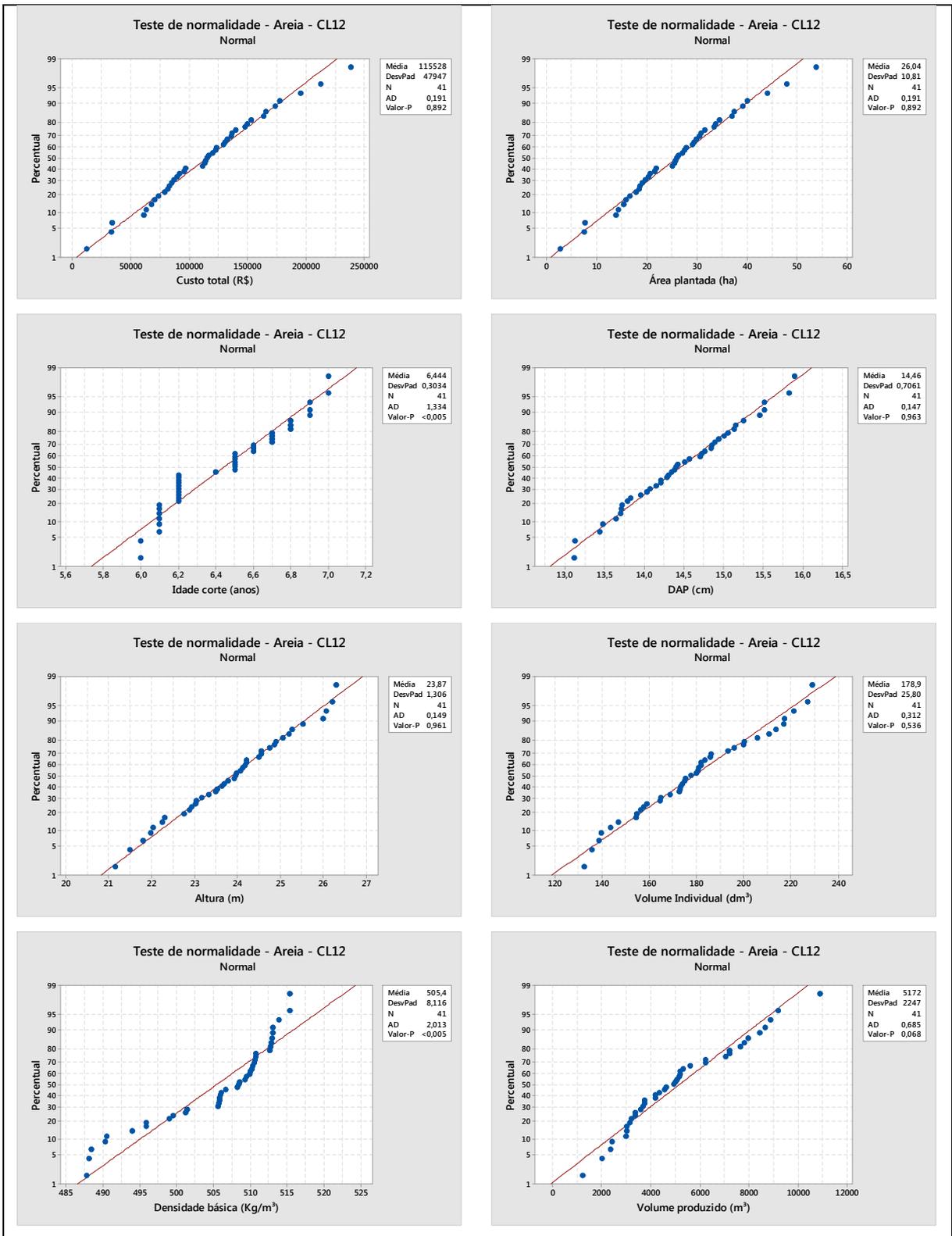
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 22 – Teste de normalidade para solo arenoso (Cont.).



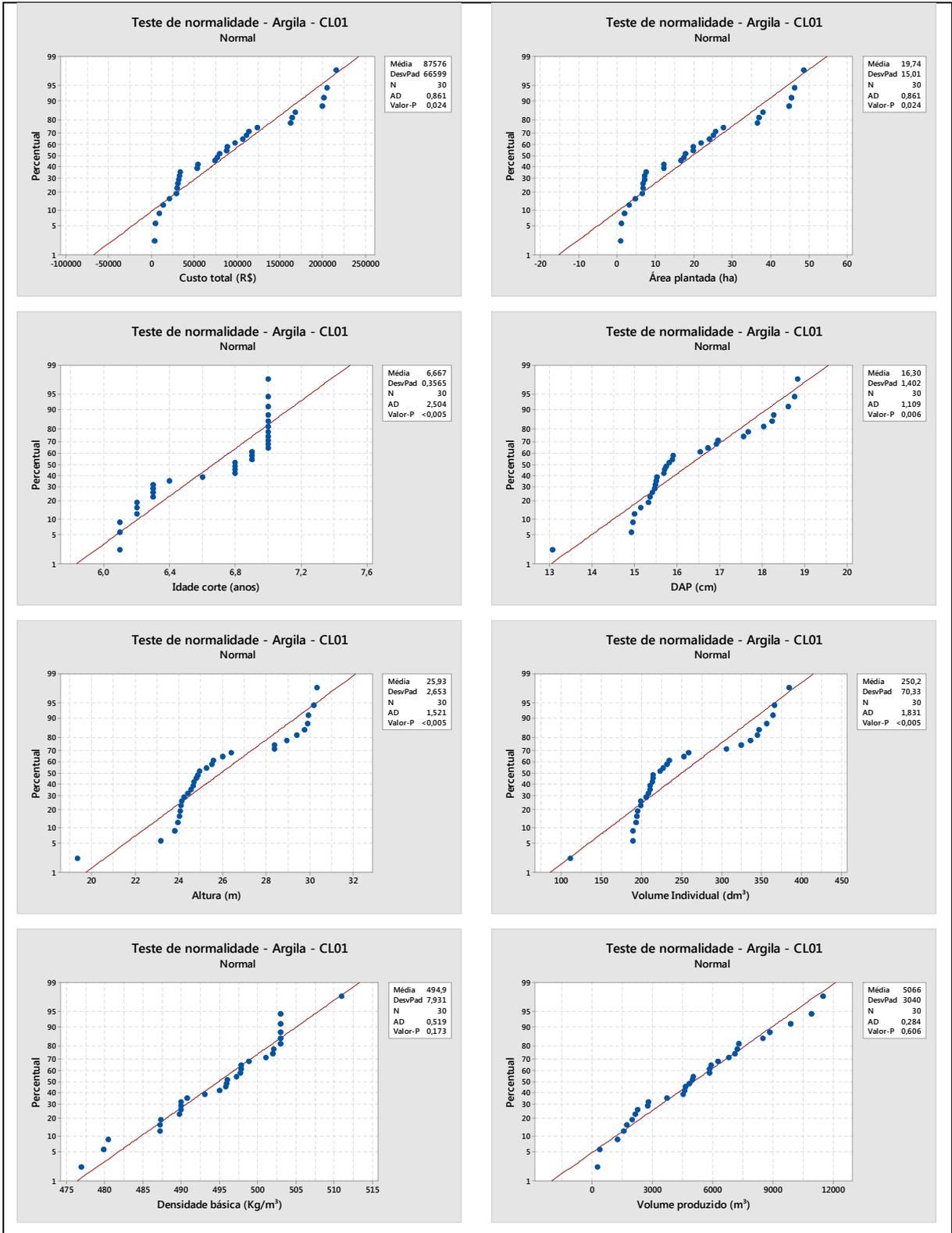
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 22 – Teste de normalidade para solo arenoso (Cont.).



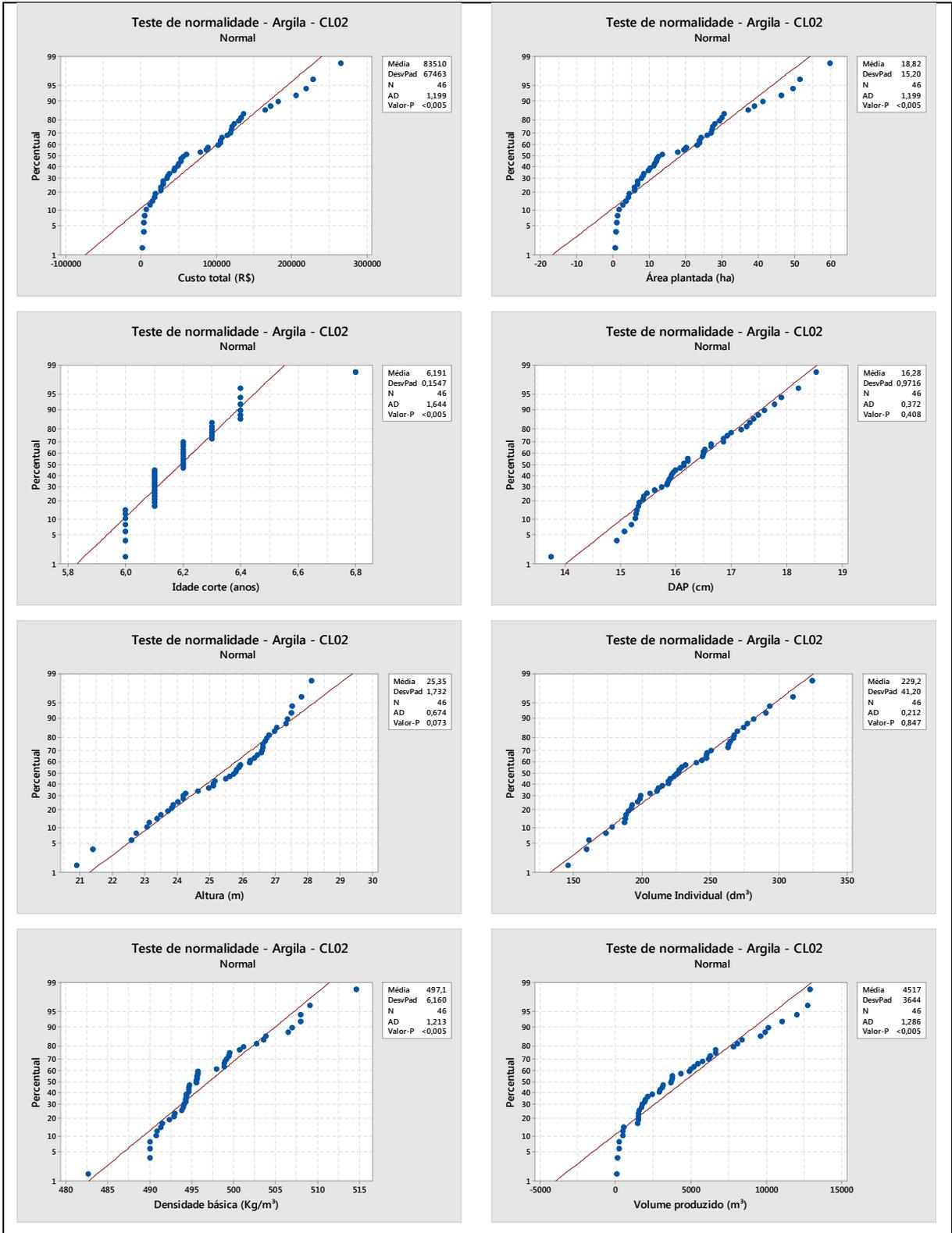
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 22 – Teste de normalidade para solo arenoso (Cont.).



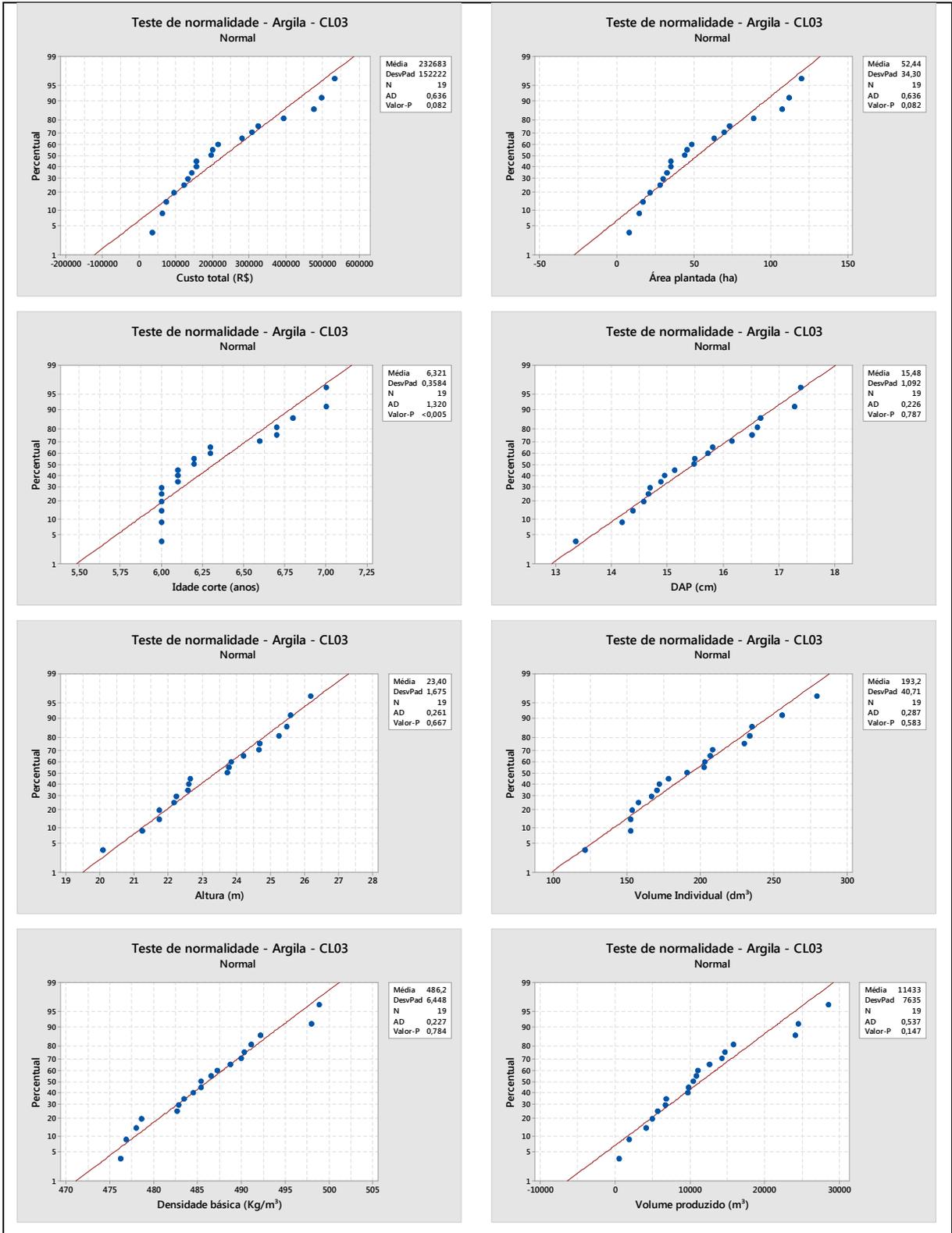
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 22 – Teste de normalidade para solo arenoso (Cont.).



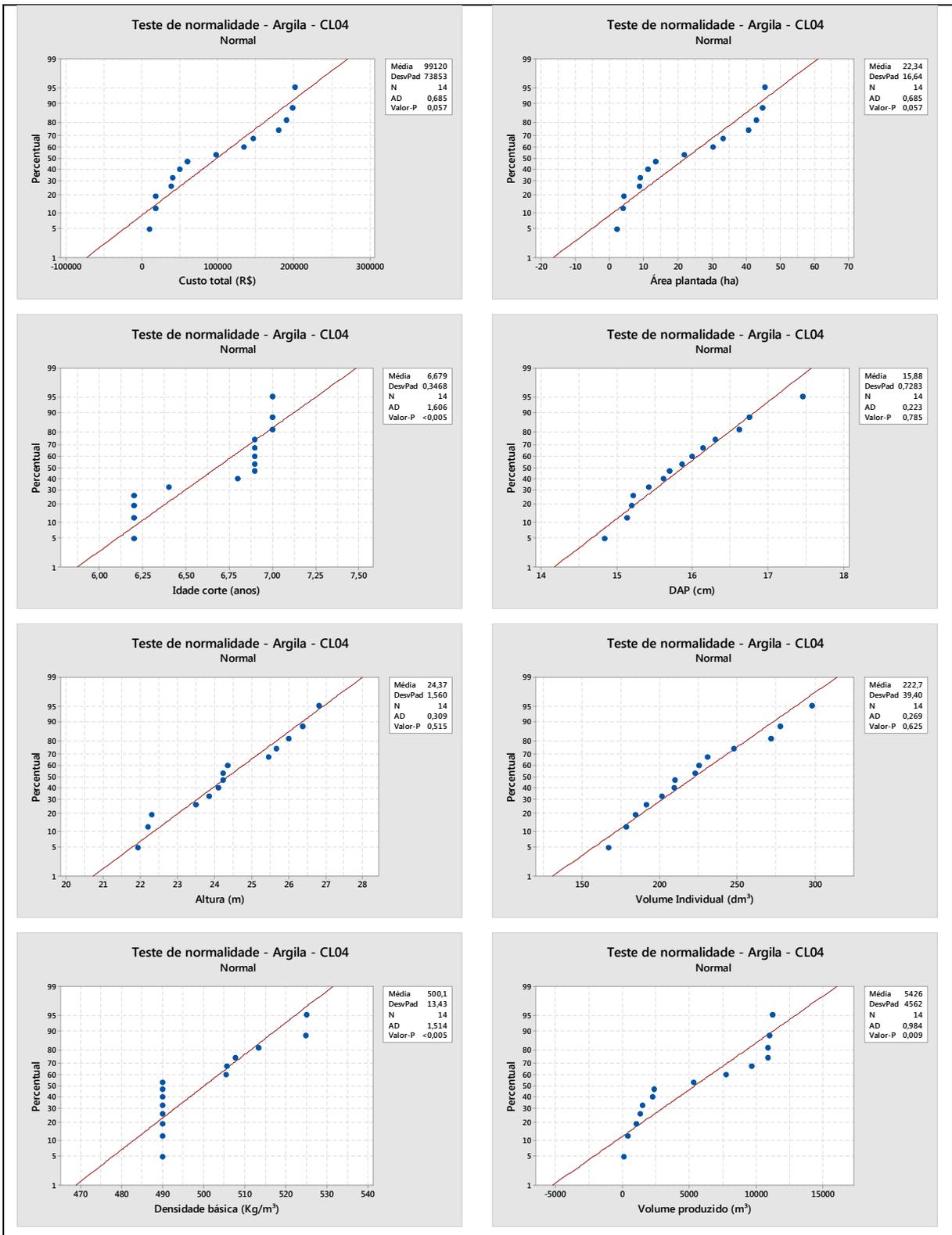
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso.



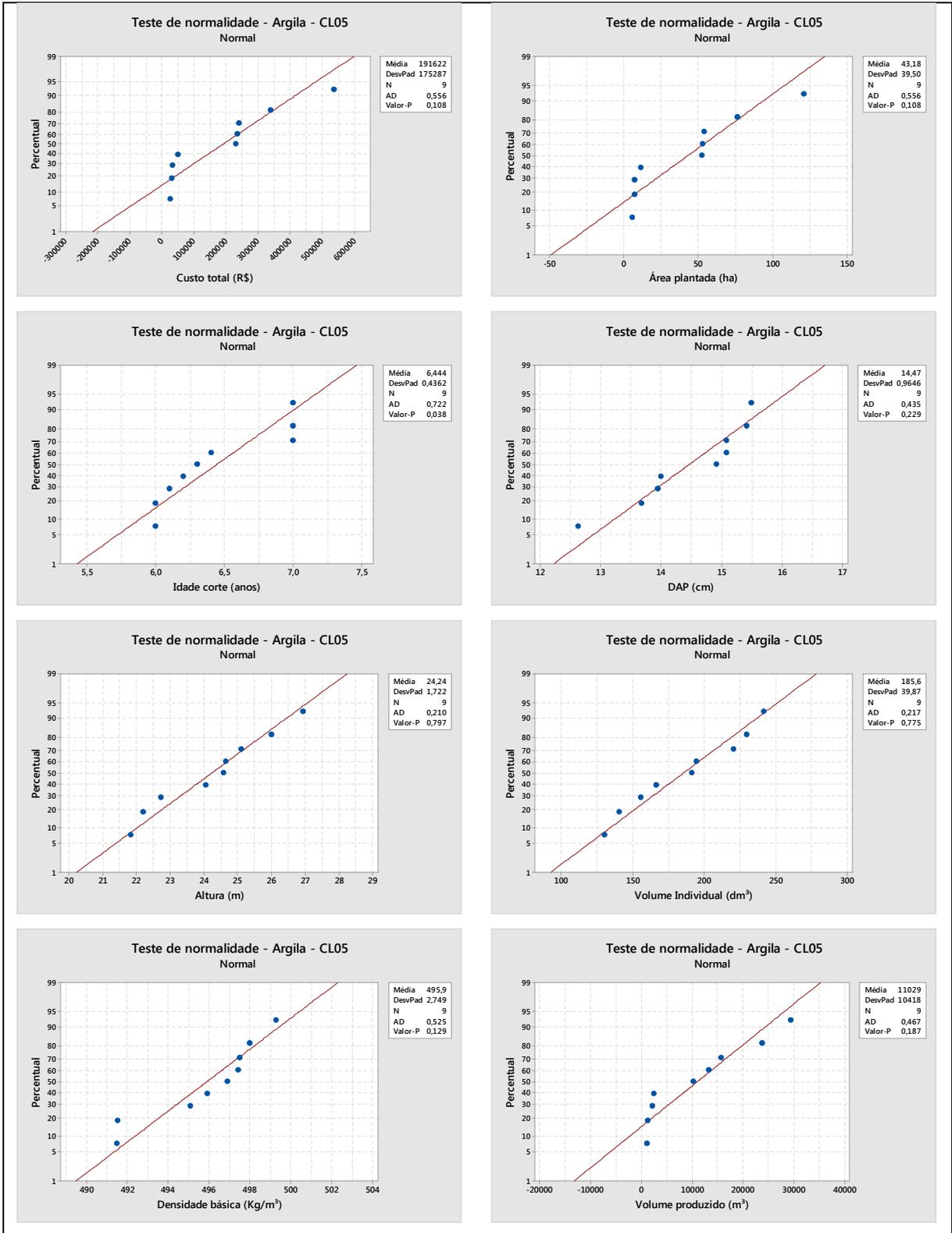
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).



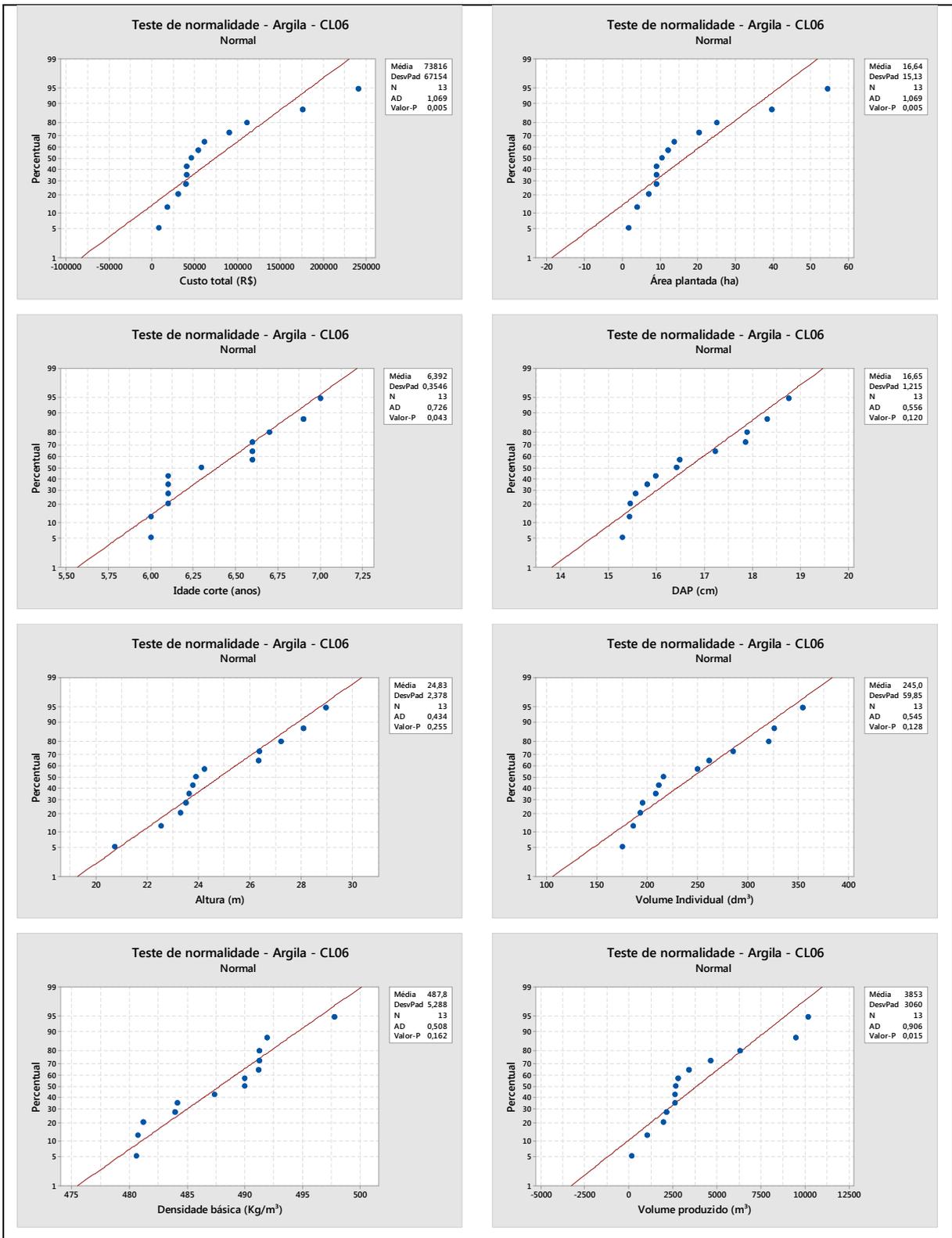
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).



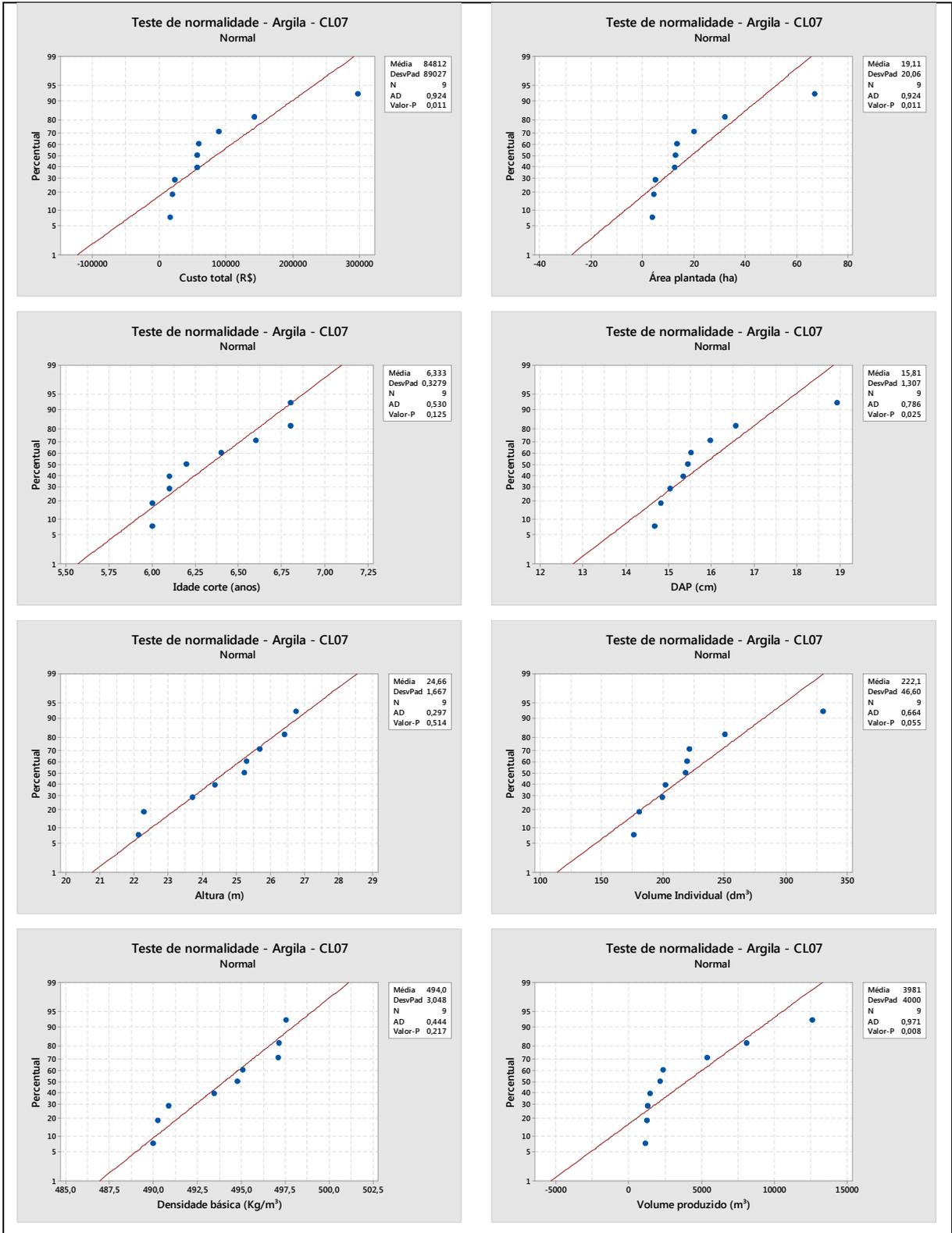
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).



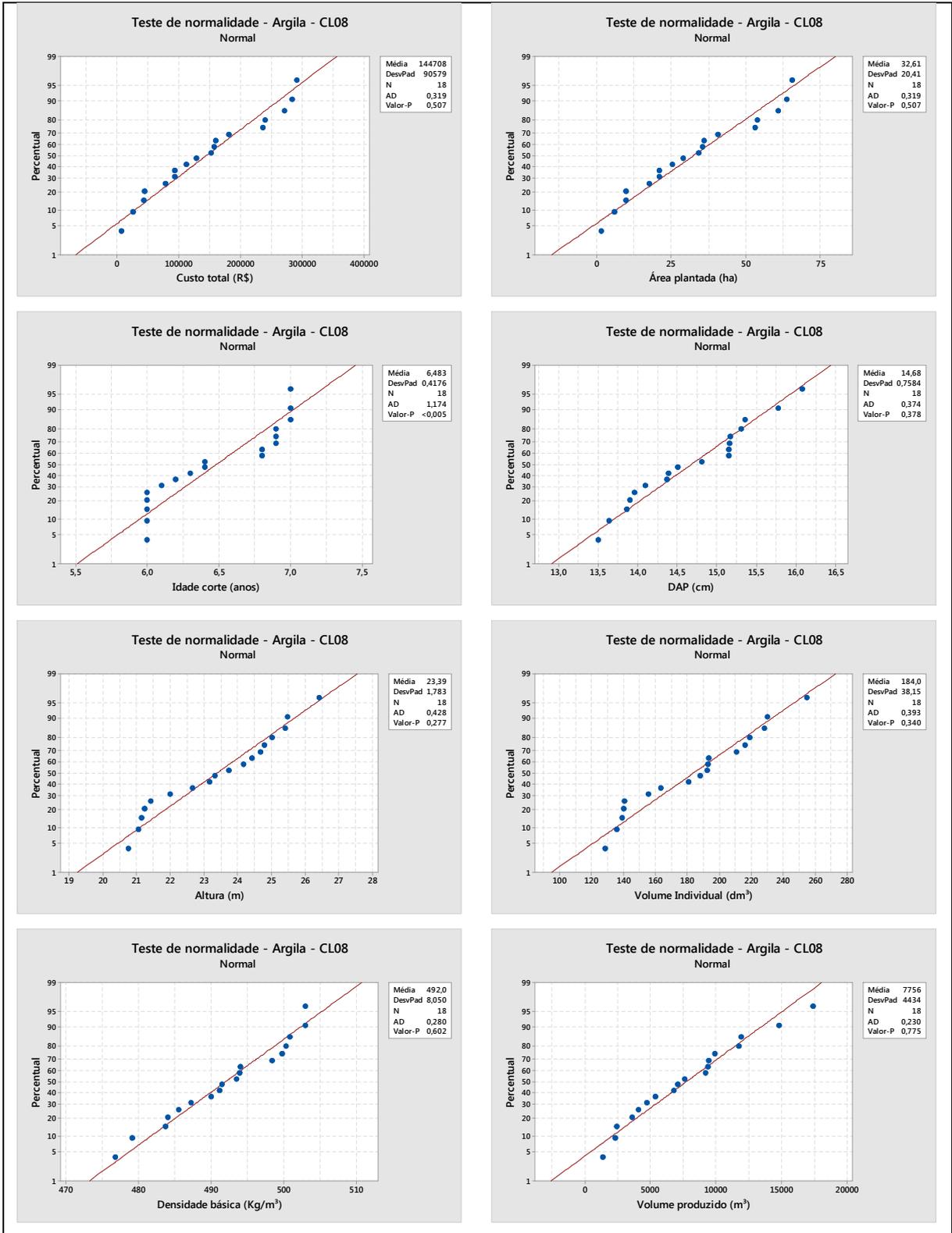
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).



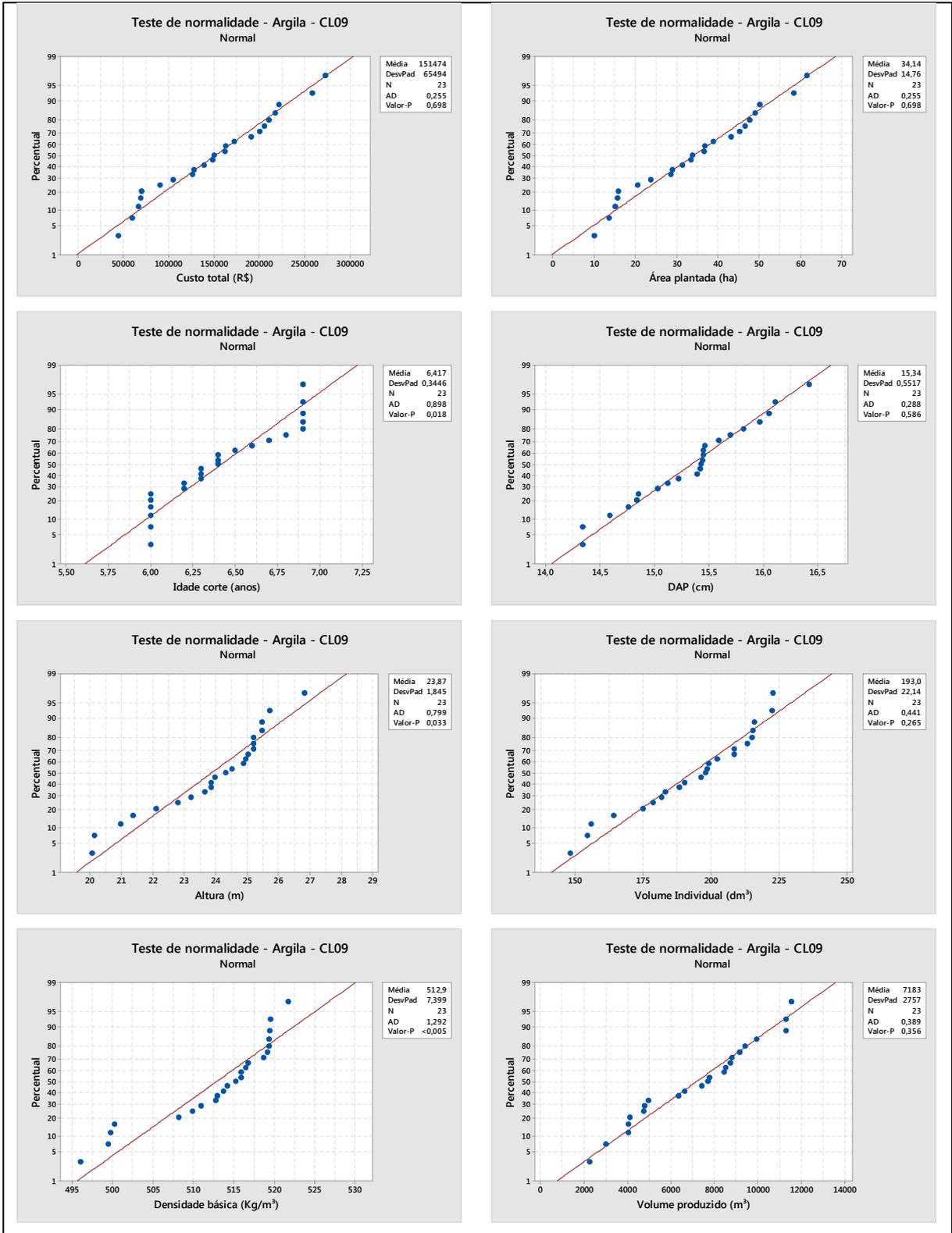
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).



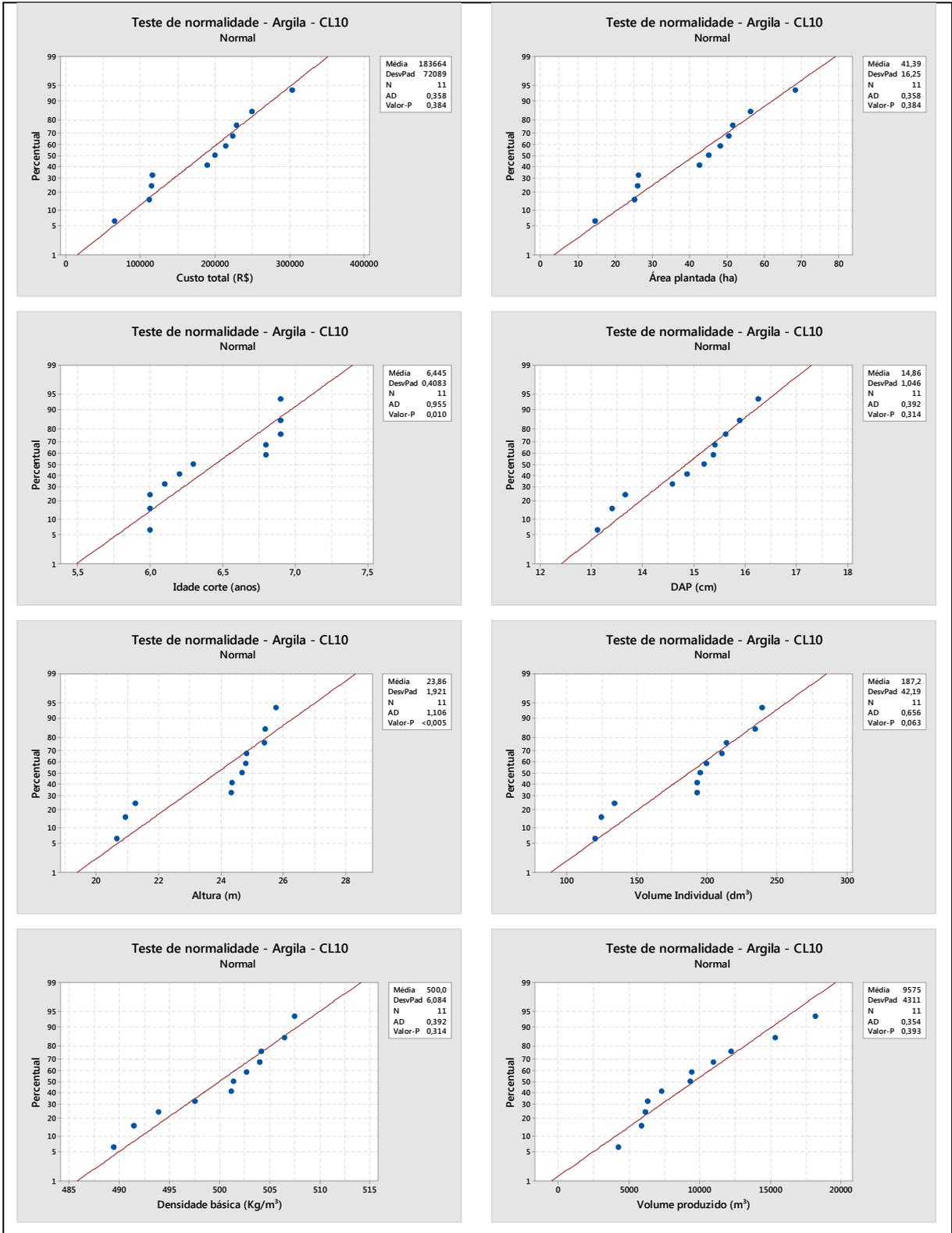
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).



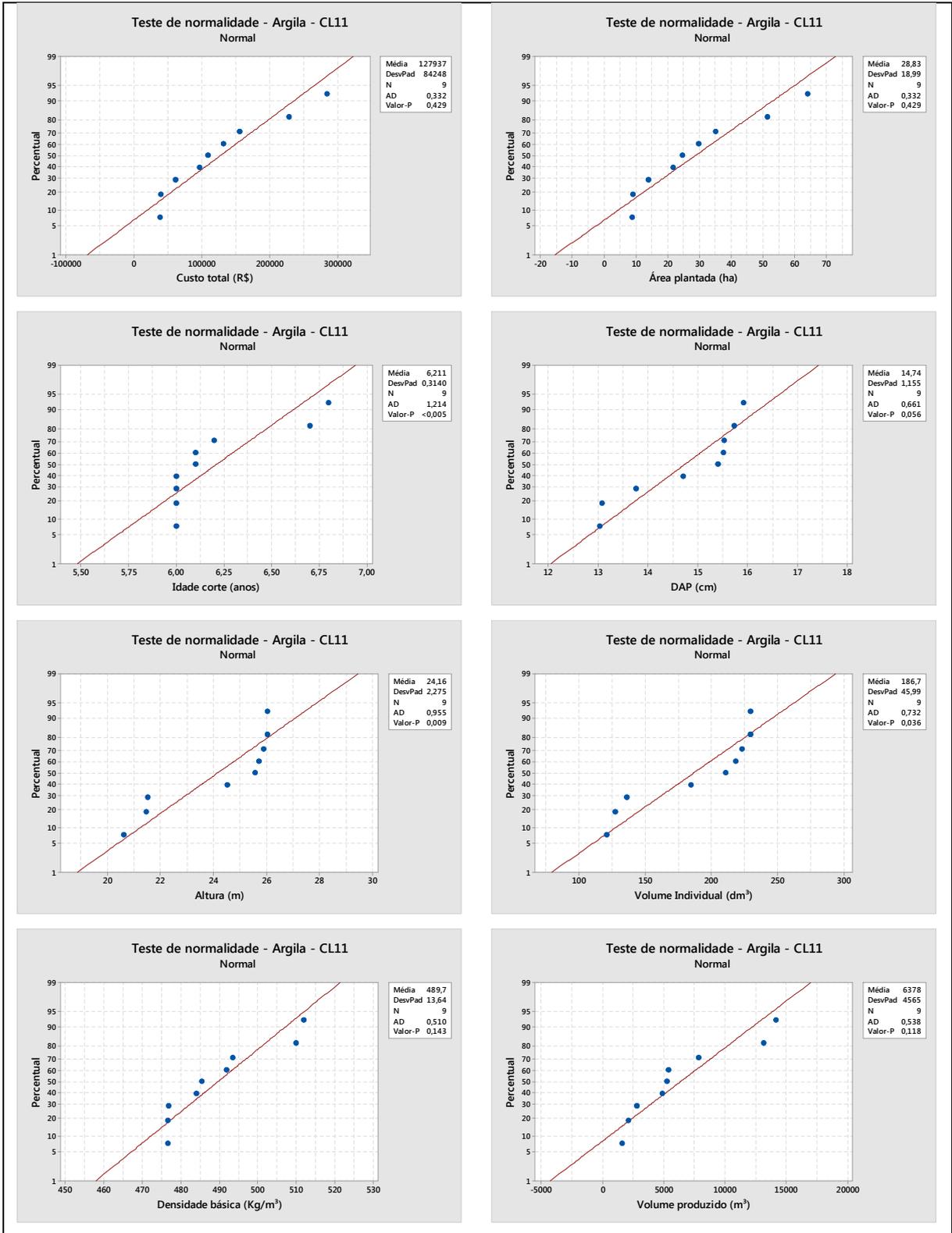
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).



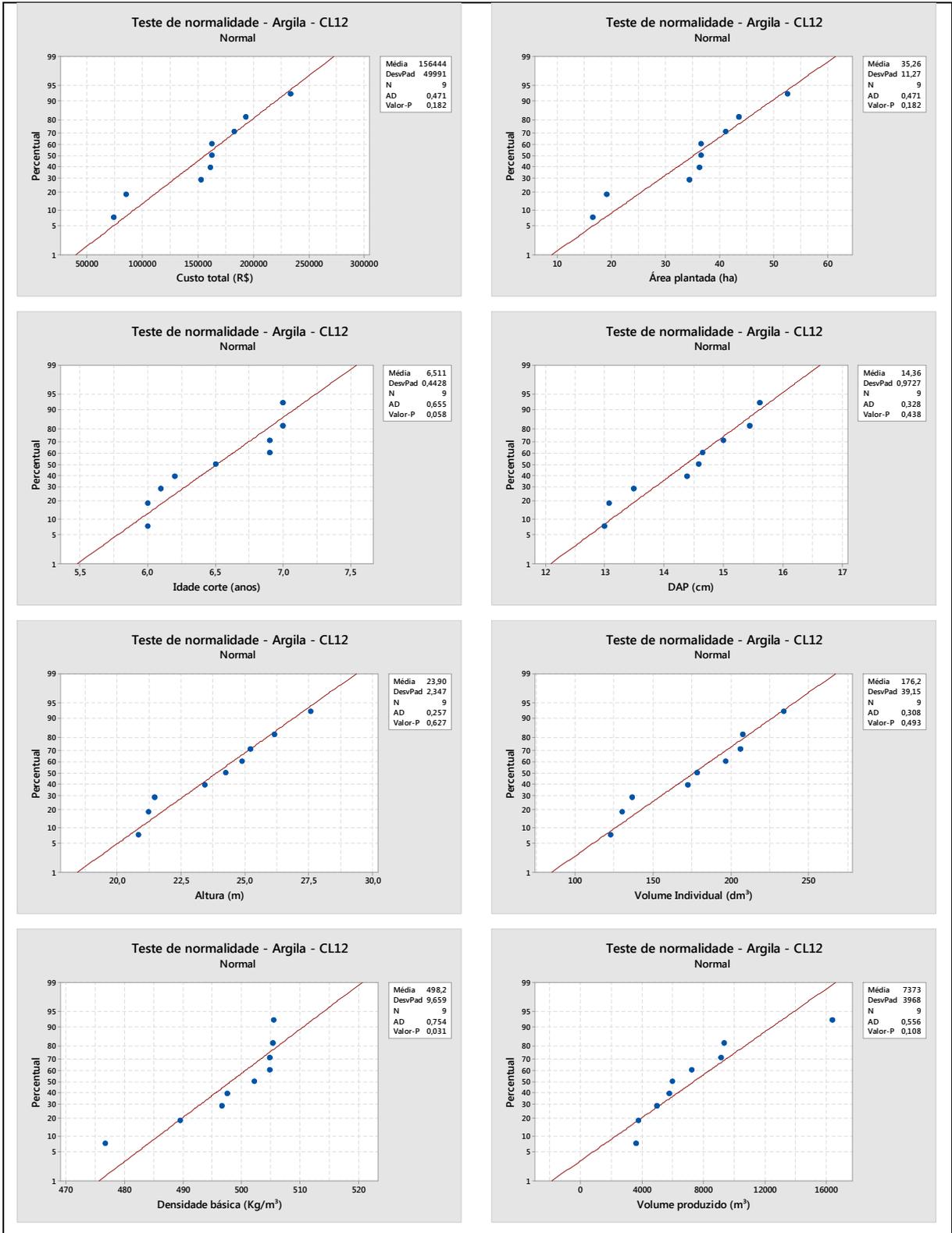
Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).



Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).



Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).



Fonte: Base de dados do estudo.
Figura 23 – Teste de normalidade para solo argiloso (Cont.).

APÊNDICE F: Modelos de Programação linear - PL.

É apresentado a programação elaborada dos modelos de Programação linear - PL para utilização no software CPLEX.

Programação Linear (PL) utilizada para a avaliação dos Custos (R\$) – Ano 2016 – Solo arenoso.

Modelo:

```

/*****
* OPL 12.6.2.0 Model
* Author: PauloHenrique
* Creation Date: 22/10/2017 at 00:31:46
*****/
int n=...; // numero de clones
int m=...; // numero de locais para plantio
int Mosaico=333300; // quantidade de clones que podem ser alocados em sequencia (300 ha contínuos)

range clones=1..n;
range locais=1..m;

float Cap_Clones[clones]=...;

int Alocacao[locais]=...;
float Horto01[clones][locais]=...;
float Horto02[clones][locais]=...;
float Horto03[clones][locais]=...;
float Horto04[clones][locais]=...;

float Custo[clones][locais]=...;
float Qtd_locais[clones][locais]=...;

// variaveis
dvar boolean x[clones][locais];

minimize sum(i in clones, j in locais)Custo[i][j]*Qtd_locais[i][j]*x[i][j];

subject to {
    forall (i in clones)
        available_Cap_Clones:
            sum(j in locais) Qtd_locais[i][j]*x[i][j] <= Cap_Clones[i];

    forall (j in locais)
        available_Alocacao:
            sum(i in clones) x[i][j] == Alocacao[j];

    forall (i in clones)
        available_Alocacao_min:
            sum(j in locais) x[i][j] >=1;

    forall (i in clones)
        available_Horto01:
            sum(j in locais) Horto01[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;

    forall (i in clones)
        available_Horto02:
            sum(j in locais) Horto02[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;

    forall (i in clones)
        available_Horto03:
            sum(j in locais) Horto03[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;

    forall (i in clones)
        available_Horto04:
            sum(j in locais) Horto04[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;
}

```

Dados:

```

/*****
* OPL 12.6.2.0 Data
*****/
n=5;
m=18;

SheetConnection my_sheet("49 - CUSTO AREIA 2016 RESULTADO.xlsx");

Cap_Clones from SheetRead(my_sheet,"Cap_Clones");
Alocacao from SheetRead(my_sheet,"Alocacao");
Custo from SheetRead(my_sheet,"Custo");
Qtd_locais from SheetRead(my_sheet,"Qtd_locais");
Horto01 from SheetRead(my_sheet,"Horto01");
Horto02 from SheetRead(my_sheet,"Horto02");
Horto03 from SheetRead(my_sheet,"Horto03");
Horto04 from SheetRead(my_sheet,"Horto04");

//escreve no excel
x to SheetWrite(my_sheet,"RESULTADOS");

```

Programação Linear (PL) utilizada para a avaliação do Volume (m³) – Ano 2016 – Solo arenoso.

Modelo:

```

/*****
* OPL 12.6.2.0 Model
* Author: PauloHenrique
* Creation Date: 22/10/2017 at 00:31:46
*****/
int n=...; // numero de clones
int m=...; // numero de locais para plantio
int Mosaico=333300; // quantidade de clones que podem ser alocados em sequencia (300 ha contínuos)

range clones=1..n;
range locais=1..m;

float Cap_Clones[clones]=...;

int Alocacao[locais]=...;
float Horto01[clones][locais]=...;
float Horto02[clones][locais]=...;
float Horto03[clones][locais]=...;
float Horto04[clones][locais]=...;

float Vol[clones][locais]=...;
float Qtd_locais[clones][locais]=...;

// variaveis
dvar boolean x[clones][locais];

maximize sum(i in clones, j in locais)Vol[i][j]*Qtd_locais[i][j]*x[i][j];

subject to {
    forall (i in clones)
        available_Cap_Clones:
            sum(j in locais) Qtd_locais[i][j]*x[i][j] <= Cap_Clones[i];

    forall (j in locais)
        available_Alocacao:
            sum(i in clones) x[i][j] == Alocacao[j];

    forall (i in clones)
        available_Alocacao_min:
            sum(j in locais) x[i][j] >=1;

    forall (i in clones)
        available_Horto01:
            sum(j in locais) Horto01[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;

    forall (i in clones)
        available_Horto02:
            sum(j in locais) Horto02[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;

    forall (i in clones)
        available_Horto03:
            sum(j in locais) Horto03[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;

    forall (i in clones)
        available_Horto04:
            sum(j in locais) Horto04[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;
}

```

Dados:

```

/*****
* OPL 12.6.2.0 Data
*****/
n=5;
m=18;

SheetConnection my_sheet("49 - VOLUME AREIA 2016 RESULTADO.xlsx");

Cap_Clones from SheetRead(my_sheet,"Cap_Clones");
Alocacao from SheetRead(my_sheet,"Alocacao");
Vol from SheetRead(my_sheet,"Vol");
Qtd_locais from SheetRead(my_sheet,"Qtd_locais");
Horto01 from SheetRead(my_sheet,"Horto01");
Horto02 from SheetRead(my_sheet,"Horto02");
Horto03 from SheetRead(my_sheet,"Horto03");
Horto04 from SheetRead(my_sheet,"Horto04");

//escreve no excel
x to SheetWrite(my_sheet,"RESULTADOS");

```

Programação Linear (PL) utilizada para a avaliação dos Custos (R\$) – Ano 2016 – Solo argiloso.

Modelo:

```

/*****
* OPL 12.6.2.0 Model
* Author: PauloHenrique
* Creation Date: 22/10/2017 at 03:01:04
*****/
int n=...; // numero de clones
int m=...; // numero de locais para plantio
int Mosaico=399900; // quantidade de clones que podem ser alocados em sequencia (300 ha contínuos)

range clones=1..n;
range locais=1..m;

float Cap_Clones[clones]=...;

int Alocacao[locais]=...;
float Horto01[clones][locais]=...;
float Horto02[clones][locais]=...;
float Horto03[clones][locais]=...;

float Custo[clones][locais]=...;
float Qtd_locais[clones][locais]=...;

// variaveis
dvar boolean x[clones][locais];

minimize sum(i in clones, j in locais)Custo[i][j]*Qtd_locais[i][j]*x[i][j];

subject to {
    forall (i in clones)
        available_Cap_Clones:
            sum(j in locais) Qtd_locais[i][j]*x[i][j] <= Cap_Clones[i];

    forall (j in locais)
        available_Alocacao:
            sum(i in clones) x[i][j] == Alocacao[j];

    forall (i in clones)
        available_Alocacao_min:
            sum(j in locais) x[i][j] >=1;

    forall (i in clones)
        available_Horto01:
            sum(j in locais) Horto01[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;

    forall (i in clones)
        available_Horto02:
            sum(j in locais) Horto02[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;

    forall (i in clones)
        available_Horto03:
            sum(j in locais) Horto03[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;
}

Dados:
/*****
* OPL 12.6.2.0 Data
*****/
n=8;
m=9;

SheetConnection my_sheet("49 - CUSTO ARGILA 2016 RESULTADO.xlsx");

Cap_Clones from SheetRead(my_sheet,"Cap_Clones");
Alocacao from SheetRead(my_sheet,"Alocacao");
Custo from SheetRead(my_sheet,"Custo");
Qtd_locais from SheetRead(my_sheet,"Qtd_locais");
Horto01 from SheetRead(my_sheet,"Horto01");
Horto02 from SheetRead(my_sheet,"Horto02");
Horto03 from SheetRead(my_sheet,"Horto03");

//escreve no excel
x to SheetWrite(my_sheet,"RESULTADOS");

```

Programação Linear (PL) utilizada para a avaliação do Volume (m³) – Ano 2016 – Solo argiloso.

Modelo:

```

/*****
* OPL 12.6.2.0 Model
* Author: PauloHenrique
* Creation Date: 22/10/2017 at 03:01:04
*****/
int n=...; // numero de clones
int m=...; // numero de locais para plantio
int Mosaico=399900; // quantidade de clones que podem ser alocados em sequencia (300 ha contínuos)

range clones=1..n;
range locais=1..m;

float Cap_Clones[clones]=...;

int Alocacao[locais]=...;
float Horto01[clones][locais]=...;
float Horto02[clones][locais]=...;
float Horto03[clones][locais]=...;

float Vol[clones][locais]=...;
float Qtd_locais[clones][locais]=...;

// variaveis
dvar boolean x[clones][locais];

maximize sum(i in clones, j in locais)Vol[i][j]*Qtd_locais[i][j]*x[i][j];

subject to {
    forall (i in clones)
        available_Cap_Clones:
            sum(j in locais) Qtd_locais[i][j]*x[i][j] <= Cap_Clones[i];

    forall (j in locais)
        available_Alocacao:
            sum(i in clones) x[i][j] == Alocacao[j];

    forall (i in clones)
        available_Alocacao_min:
            sum(j in locais) x[i][j] >=1;

    //forall (i in clones)
    //available_Alocacao_min:
    //sum(j in locais) x[i][j] >= 1;

    forall (i in clones)
        available_Horto01:
            sum(j in locais) Horto01[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;

    forall (i in clones)
        available_Horto02:
            sum(j in locais) Horto02[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;

    forall (i in clones)
        available_Horto03:
            sum(j in locais) Horto03[i][j]*x[i][j] <= Mosaico;
}

```

Dados:

```

/*****
* OPL 12.6.2.0 Data
*****/
n=8;
m=9;

SheetConnection my_sheet("49 - VOLUME ARGILA 2016 RESULTADO.xlsx");

Cap_Clones from SheetRead(my_sheet,"Cap_Clones");
Alocacao from SheetRead(my_sheet,"Alocacao");
Vol from SheetRead(my_sheet,"Vol");
Qtd_locais from SheetRead(my_sheet,"Qtd_locais");
Horto01 from SheetRead(my_sheet,"Horto01");
Horto02 from SheetRead(my_sheet,"Horto02");
Horto03 from SheetRead(my_sheet,"Horto03");

//escreve no excel
x to SheetWrite(my_sheet,"RESULTADOS");

```

Programação Linear (PL) utilizada para a avaliação dos Custos (R\$) – Ano 2016 – Ambos os solos.

```

Modelo:
/*****
* OPL 12.6.2.0 Model
* Author: PauloHenrique
* Creation Date: 14/11/2017 at 11:59:08
*****/
int n=...; // numero de clones
int m=...; // numero de locais para plantio
int MosaicoAreia=333300; // quantidade de clones que podem ser alocados em sequencia em solo arenoso (300 ha contínuos)
int MosaicoArgila=399900; // quantidade de clones que podem ser alocados em sequencia em solo argiloso (300 ha contínuos)

range clones=1..n;
range locais=1..m;

float Cap_Clones[clones]=...;

int Alocacao[locais]=...;
float Horto01[clones][locais]=...;
float Horto02[clones][locais]=...;
float Horto03[clones][locais]=...;
float Horto04[clones][locais]=...;
float Horto05[clones][locais]=...;
float Horto06[clones][locais]=...;
float Horto07[clones][locais]=...;
float Horto08[clones][locais]=...;

float Custo[clones][locais]=...;
float Qtd_locais[clones][locais]=...;

// variaveis
dvar boolean x[clones][locais];

minimize sum(i in clones, j in locais)Custo[i][j]*Qtd_locais[i][j]*x[i][j];

subject to {
    forall (i in clones)
        available_Cap_Clones:
            sum(j in locais) Qtd_locais[i][j]*x[i][j] <= Cap_Clones[i];

    forall (j in locais)
        available_Alocacao:
            sum(i in clones) x[i][j] == Alocacao[j];

    forall (i in clones)
        available_Alocacao_min:
            sum(j in locais) x[i][j] >=1;

    forall (i in clones)
        available_Horto01:
            sum(j in locais) Horto01[i][j]*x[i][j] <= MosaicoAreia;

    forall (i in clones)
        available_Horto02:
            sum(j in locais) Horto02[i][j]*x[i][j] <= MosaicoArgila;

    forall (i in clones)
        available_Horto03:
            sum(j in locais) Horto03[i][j]*x[i][j] <= MosaicoArgila;

    forall (i in clones)
        available_Horto04:
            sum(j in locais) Horto04[i][j]*x[i][j] <= MosaicoAreia;

    forall (i in clones)
        available_Horto05:
            sum(j in locais) Horto05[i][j]*x[i][j] <= MosaicoAreia;

    forall (i in clones)
        available_Horto06:
            sum(j in locais) Horto06[i][j]*x[i][j] <= MosaicoArgila;

    forall (i in clones)
        available_Horto07:
            sum(j in locais) Horto07[i][j]*x[i][j] <= MosaicoAreia;

    forall (i in clones)
        available_Horto08:
            sum(j in locais) Horto08[i][j]*x[i][j] <= MosaicoAreia;
}

Dados:
/*****
* OPL 12.6.2.0 Data
*****/
n=10;
m=27;

SheetConnection my_sheet("49 - CUSTO GERAL 2016 RESULTADO.xlsx");

Cap_Clones from SheetRead(my_sheet,"Cap_Clones");
Alocacao from SheetRead(my_sheet,"Alocacao");
Custo from SheetRead(my_sheet,"Custo");
Qtd_locais from SheetRead(my_sheet,"Qtd_locais");
Horto01 from SheetRead(my_sheet,"Horto01");
Horto02 from SheetRead(my_sheet,"Horto02");
Horto03 from SheetRead(my_sheet,"Horto03");
Horto04 from SheetRead(my_sheet,"Horto04");
Horto05 from SheetRead(my_sheet,"Horto05");
Horto06 from SheetRead(my_sheet,"Horto06");
Horto07 from SheetRead(my_sheet,"Horto07");
Horto08 from SheetRead(my_sheet,"Horto08");

//escreve no excel
x to SheetWrite(my_sheet,"RESULTADOS");

```

Programação Linear (PL) utilizada para a avaliação dos Volumes (m³) – Ano 2016 –

Ambos os solos.

```

Modelo:
/*****
* OPL 12.6.2.0 Model
* Author: PauloHenrique
*****/
int n=...; // numero de clones
int m=...; // numero de locais para plantio
int MosaicoAreia=333300; // quantidade de clones que podem ser alocados em sequencia em solo arenoso (300 ha contínuos)
int MosaicoArgila=399900; // quantidade de clones que podem ser alocados em sequencia em solo argiloso (300 ha contínuos)

range clones=1..n;
range locais=1..m;

float Cap_Clones[clones]=...;

int Alocacao[locais]=...;
float Horto01[clones][locais]=...;
float Horto02[clones][locais]=...;
float Horto03[clones][locais]=...;
float Horto04[clones][locais]=...;
float Horto05[clones][locais]=...;
float Horto06[clones][locais]=...;
float Horto07[clones][locais]=...;
float Horto08[clones][locais]=...;

float Vol[clones][locais]=...;
float Qtd_locais[clones][locais]=...;

// variaveis
dvar boolean x[clones][locais];

maximize sum(i in clones, j in locais)Vol[i][j]*Qtd_locais[i][j]*x[i][j];

subject to {
    forall (i in clones)
        available_Cap_Clones:
            sum(j in locais) Qtd_locais[i][j]*x[i][j] <= Cap_Clones[i];

    forall (j in locais)
        available_Alocacao:
            sum(i in clones) x[i][j] == Alocacao[j];

    forall (i in clones)
        available_Alocacao_min:
            sum(j in locais) x[i][j] >=1;

    forall (i in clones)
        available_Horto01:
            sum(j in locais) Horto01[i][j]*x[i][j] <= MosaicoAreia;

    forall (i in clones)
        available_Horto02:
            sum(j in locais) Horto02[i][j]*x[i][j] <= MosaicoArgila;

    forall (i in clones)
        available_Horto03:
            sum(j in locais) Horto03[i][j]*x[i][j] <= MosaicoArgila;

    forall (i in clones)
        available_Horto04:
            sum(j in locais) Horto04[i][j]*x[i][j] <= MosaicoAreia;

    forall (i in clones)
        available_Horto05:
            sum(j in locais) Horto05[i][j]*x[i][j] <= MosaicoAreia;

    forall (i in clones)
        available_Horto06:
            sum(j in locais) Horto06[i][j]*x[i][j] <= MosaicoArgila;

    forall (i in clones)
        available_Horto07:
            sum(j in locais) Horto07[i][j]*x[i][j] <= MosaicoAreia;

    forall (i in clones)
        available_Horto08:
            sum(j in locais) Horto08[i][j]*x[i][j] <= MosaicoArgila;
}

Dados:
/*****
* OPL 12.6.2.0 Data
*****/
n=10;
m=27;

SheetConnection my_sheet("49 - VOLUME GERAL 2016 RESULTADO.xlsx");

Cap_Clones from SheetRead(my_sheet,"Cap_Clones");
Alocacao from SheetRead(my_sheet,"Alocacao");
Vol from SheetRead(my_sheet,"Vol");
Qtd_locais from SheetRead(my_sheet,"Qtd_locais");
Horto01 from SheetRead(my_sheet,"Horto01");
Horto02 from SheetRead(my_sheet,"Horto02");
Horto03 from SheetRead(my_sheet,"Horto03");
Horto04 from SheetRead(my_sheet,"Horto04");
Horto05 from SheetRead(my_sheet,"Horto05");
Horto06 from SheetRead(my_sheet,"Horto06");
Horto07 from SheetRead(my_sheet,"Horto07");
Horto08 from SheetRead(my_sheet,"Horto08");

//escreve no excel
x to SheetWrite(my_sheet,"RESULTADOS");

```

APÊNDICE G: Resultados dos modelos PL.

É apresentado de maneira detalhada os resultados obtidos pelos modelos de Programação linear – PL em função do tipo de clone e solo.

Tabela 37 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Minimização de custos (R\$) - Solo arenoso.

Alocação dos clones por horto																			
Clones	H04T158	H04T159	H04T160	H04T161	H04T162	H04T163	H35T131	H35T132	H35T134	H35T136	H35T137	H37T204	H37T224	H37T225	H37T226	H41T39	H41T40	H41T50	Total
CL02	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	8
CL03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CL08	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	7
CL09	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CL10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Quantidade de mudas alocadas (Qtd.)																			
CL02	-	-	-	-	23.353	20.964	27.719	-	24.275	-	-	55.894	-	51.472	60.438	-	-	42.395	306.510
CL03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.266	-	-	-	-	-	-	-	-	5.266
CL08	23.586	-	28.697	25.175	-	-	-	20.297	-	-	23.930	-	-	-	-	49.061	33.307	-	204.053
CL09	-	21.286	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.286
CL10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76.125	-	-	-	-	-	76.125
Total																			613.240
Custo (R\$)																			
CL02	-	-	-	-	82.669,62	74.212,56	98.125,26	-	85.933,50	-	-	197.864,76	-	182.210,88	213.950,52	-	-	150.078,30	1.085.045,40
CL03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.907,10	-	-	-	-	-	-	-	-	22.907,10
CL08	87.032,34	-	105.891,93	92.895,75	-	-	-	74.895,93	-	-	88.301,70	-	-	-	-	181.035,09	122.902,83	-	752.955,57
CL09	-	85.569,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85.569,72
CL10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	303.738,75	-	-	-	-	-	303.738,75
Total																			2.250.216,54
Volume (m³)																			
CL02	-	-	-	-	3.794,86	3.406,65	4.504,34	-	3.944,69	-	-	9.082,78	-	8.364,20	9.821,18	-	-	6.889,19	49.807,88
CL03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	936,29	-	-	-	-	-	-	-	-	936,29
CL08	4.507,28	-	5.484,00	4.810,94	-	-	-	3.878,76	-	-	4.573,02	-	-	-	-	9.375,56	6.364,97	-	38.994,53
CL09	-	3.633,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.633,52
CL10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.258,21	-	-	-	-	-	14.258,21
Total																			107.630,43

Fonte: Base de dados do estudo.

Tabela 38 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Maximização do volume (m³) - Solo arenoso.

Alocação dos clones por horto																			
Clones	H04T158	H04T159	H04T160	H04T161	H04T162	H04T163	H35T131	H35T132	H35T134	H35T136	H35T137	H37T204	H37T224	H37T225	H37T226	H41T39	H41T40	H41T50	Total
CL02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CL03	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
CL08	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	5
CL09	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CL10	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	8
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Quantidade de mudas alocadas (Qtd.)																			
CL02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.266	-	-	-	-	-	-	-	-	5.266
CL03	23.586	-	28.697	25.175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77.458
CL08	-	-	-	-	-	-	27.719	-	24.275	-	-	-	-	-	60.438	49.061	-	42.395	203.888
CL09	-	-	-	-	-	-	-	20.297	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.297
CL10	-	21.286	-	-	23.353	20.964	-	-	-	-	23.930	55.894	76.125	51.472	-	-	33.307	-	306.331
Total																			613.240
Volume (m³)																			
CL02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	855,73	-	-	-	-	-	-	-	-	855,73
CL03	4.193,59	-	5.102,33	4.476,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.772,03
CL08	-	-	-	-	-	-	5.297,10	-	4.638,95	-	-	-	-	-	11.549,70	9.375,56	-	8.101,68	38.963,00
CL09	-	-	-	-	-	-	-	3.464,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.464,70
CL10	-	3.986,87	-	-	4.374,02	3.926,56	-	-	-	-	4.482,09	10.468,95	14.258,21	9.640,71	-	-	6.238,40	-	57.375,80
Total																			114.431,25
Custo (R\$)																			
CL02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.641,64	-	-	-	-	-	-	-	-	18.641,64
CL03	102.599,10	-	124.831,95	109.511,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	336.942,30
CL08	-	-	-	-	-	-	102.283,11	-	89.574,75	-	-	-	-	-	223.016,22	181.035,09	-	156.437,55	752.346,72
CL09	-	-	-	-	-	-	-	81.593,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81.593,94
CL10	-	84.931,14	-	-	93.178,47	83.646,36	-	-	-	-	95.480,70	223.017,06	303.738,75	205.373,28	-	-	132.894,93	-	1.222.260,69
Total																			2.411.785,29

Fonte: Base de dados do estudo.

Tabela 39 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Minimização de custos (R\$) - Solo argiloso.

Clones	Alocação dos clones por horto									Total
	H21T13	H32T147	H32T149	H32T150	H32T168	H32T169	H32T177	H32T185	H37T205	
CL01	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
CL02	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
CL03	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
CL05	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
CL06	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
CL07	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
CL09	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
CL12	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Quantidade de mudas alocadas (Qtd.)										
CL01	-	-	27086	-	-	-	-	-	-	27.086
CL02	-	-	-	-	-	6984	-	-	-	6.984
CL03	-	-	-	-	-	-	-	26126	-	26.126
CL05	48867	-	-	-	-	-	-	-	51813	100.680
CL06	-	-	-	-	-	-	18542	-	-	18.542
CL07	-	-	-	-	4665	-	-	-	-	4.665
CL09	-	10397	-	-	-	-	-	-	-	10.397
CL12	-	-	-	34631	-	-	-	-	-	34.631
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	229.111
Custo (R\$)										
CL01	-	-	102.655,94	-	-	-	-	-	-	102.655,94
CL02	-	-	-	-	-	29.193,12	-	-	-	29.193,12
CL03	-	-	-	-	-	-	-	101.630,14	-	101.630,14
CL05	162.238,44	-	-	-	-	-	-	-	172.019,16	334.257,60
CL06	-	-	-	-	-	-	76.763,88	-	-	76.763,88
CL07	-	-	-	-	21.738,90	-	-	-	-	21.738,90
CL09	-	43.459,46	-	-	-	-	-	-	-	43.459,46
CL12	-	-	-	130.905,18	-	-	-	-	-	130.905,18
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	840.604,22
Volume (m³)										
CL01	-	-	5.931,83	-	-	-	-	-	-	5.931,83
CL02	-	-	-	-	-	1.579,08	-	-	-	1.579,08
CL03	-	-	-	-	-	-	-	4.990,07	-	4.990,07
CL05	9.338,48	-	-	-	-	-	-	-	9.901,46	19.239,95
CL06	-	-	-	-	-	-	4.006,93	-	-	4.006,93
CL07	-	-	-	-	1.019,77	-	-	-	-	1.019,77
CL09	-	2.059,65	-	-	-	-	-	-	-	2.059,65
CL12	-	-	-	6.174,71	-	-	-	-	-	6.174,71
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45.001,98

Fonte: Base de dados do estudo.

Tabela 40 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Maximização do volume (m³) - Solo argiloso.

Clones	Alocação dos clones por horto									Total
	H21T13	H32T147	H32T149	H32T150	H32T168	H32T169	H32T177	H32T185	H37T205	
CL01	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
CL02	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
CL03	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
CL05	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
CL06	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
CL07	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
CL09	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
CL12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Quantidade de mudas alocadas (Qtd.)										
CL01	-	-	-	34.631	-	-	-	-	-	34.631
CL02	48.867	-	-	-	-	-	-	-	51.813	100.680
CL03	-	-	-	-	-	6.984	-	-	-	6.984
CL05	-	10.397	-	-	-	-	-	-	-	10.397
CL06	-	-	-	-	-	-	-	26.126	-	26.126
CL07	-	-	27.086	-	-	-	-	-	-	27.086
CL09	-	-	-	-	-	-	18.542	-	-	18.542
CL12	-	-	-	-	4.665	-	-	-	-	4.665
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	229.111
Volume (m³)										
CL01	-	-	-	7.584,19	-	-	-	-	-	7.584,19
CL02	11.048,83	-	-	-	-	-	-	-	11.714,92	22.763,75
CL03	-	-	-	-	-	1.333,94	-	-	-	1.333,94
CL05	-	1.986,87	-	-	-	-	-	-	-	1.986,87
CL06	-	-	-	-	-	-	-	5.645,83	-	5.645,83
CL07	-	-	5.921,00	-	-	-	-	-	-	5.921,00
CL09	-	-	-	-	-	-	3.673,17	-	-	3.673,17
CL12	-	-	-	-	831,77	-	-	-	-	831,77
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49.740,52
Custo (R\$)										
CL01	-	-	-	131.251,49	-	-	-	-	-	131.251,49
CL02	204.264,06	-	-	-	-	-	-	-	216.578,34	420.842,40
CL03	-	-	-	-	-	27.167,76	-	-	-	27.167,76
CL05	-	34.518,04	-	-	-	-	-	-	-	34.518,04
CL06	-	-	-	-	-	-	-	108.161,64	-	108.161,64
CL07	-	-	126.220,76	-	-	-	-	-	-	126.220,76
CL09	-	-	-	-	-	-	77.505,56	-	-	77.505,56
CL12	-	-	-	-	17.633,70	-	-	-	-	17.633,70
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	943.301,35

Fonte: Base de dados do estudo.

Tabela 41 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Minimização de custos (R\$) – Ambos os solos.

Alocação dos clones por horto																												
Clones	H04T158	H04T159	H04T160	H04T161	H04T162	H04T163	H21T113	H32T147	H32T149	H32T150	H32T168	H32T169	H32T177	H32T185	H35T131	H35T132	H35T134	H35T136	H35T137	H37T204	H37T205	H37T224	H37T225	H37T226	H41T39	H41T40	H41T50	Total
CL01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CL02	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	10	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1
CL03	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
CL05	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
CL06	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CL07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CL08	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
CL09	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
CL10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CL12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Quantidade de mudas alocadas (Qtid.)																												
CL01	-	-	-	-	-	-	-	10.397	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.397
CL02	23.586	-	28.697	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27.719	-	-	-	-	23.930	55.894	-	76.125	-	60.438	49.061	33.307	42.395	421.152
CL03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.266	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.266
CL05	-	-	-	-	-	-	48.867	-	27.086	34.631	-	-	-	26.126	-	-	-	-	-	-	51.813	-	-	-	-	-	-	188.523
CL06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.984
CL07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.665	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.665
CL08	-	21.286	-	25.175	23.353	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.275	-	-	-	-	-	51.472	-	-	-	-	145.561
CL09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.297	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.297
CL10	-	-	-	-	-	20.964	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.964
CL12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.542	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.542
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	842.351
Custo (R\$)																												
CL01	-	-	-	-	-	-	-	39.404,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39.404,63
CL02	83.494,44	-	101.587,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98.125,26	-	-	-	84.712,20	197.864,76	-	269.482,50	-	213.950,52	173.675,94	117.906,78	150.078,30	1.490.878,08	
CL03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.907,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.907,10
CL05	-	-	-	-	-	-	162.238,44	-	89.925,52	114.974,92	-	-	-	86.738,32	-	-	-	-	-	-	172.019,16	-	-	-	-	-	625.896,36	
CL06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.913,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.913,76
CL07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.738,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.738,90
CL08	-	78.545,34	-	92.895,75	86.172,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89.574,75	-	-	-	-	-	189.931,68	-	-	-	-	537.120,09
CL09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81.593,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81.593,94
CL10	-	-	-	-	-	83.646,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83.646,36
CL12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70.088,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70.088,76
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.002.187,98
Volume (m³)																												
CL01	-	-	-	-	-	-	-	2.276,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.276,94
CL02	3.832,73	-	4.663,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.504,34	-	-	-	3.888,63	9.082,78	-	12.370,31	-	9.821,18	7.972,41	5.412,39	6.889,19	68.437,20	
CL03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	936,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	936,29
CL05	-	-	-	-	-	-	9.338,48	-	5.176,13	6.617,98	-	-	-	4.992,68	-	-	-	-	-	-	9.901,46	-	-	-	-	-	-	36.026,75
CL06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.509,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.509,24
CL07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.019,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.019,77
CL08	-	4.067,75	-	4.810,94	4.462,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.638,95	-	-	-	-	-	9.836,30	-	-	-	-	27.816,71
CL09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.464,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.464,70
CL10	-	-	-	-	-	3.926,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.926,56
CL12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.306,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.306,04
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	148.720,20

Fonte: Base de dados do estudo.

Tabela 42 – Resultados dos modelos de Programação linear (PL) Maximização do volume (m³) – Ambos os solos.

Clones	Alocação dos clones por horto																								Total					
	H04T158	H04T159	H04T160	H04T161	H04T162	H04T163	H21T13	H32T147	H32T149	H32T150	H32T168	H32T169	H32T177	H32T185	H35T131	H35T132	H35T134	H35T136	H35T137	H37T204	H37T205	H37T224	H37T225	H37T226		H41T39	H41T40	H41T50		
CL01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
CL02	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	
CL03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
CL05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
CL06	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
CL07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
CL08	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	9	
CL09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
CL10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	7	
CL12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27	
Quantidade de mudas alocadas (Qtd.)																														
CL01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26.126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26.126	
CL02	-	-	-	-	-	-	48.867	-	27.086	34.631	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51.813	-	-	-	-	-	-	-	162.397	
CL03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.297	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.297	
CL05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.984	
CL06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.397	
CL07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.542	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.542	
CL08	23.586	21.286	28.697	25.175	-	20.964	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.930	-	-	-	51.472	-	49.061	33.307	-	-	277.478	
CL09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.266	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.266	
CL10	-	-	-	-	23.353	-	-	-	-	-	-	-	-	27.719	-	24.275	-	-	-	55.894	-	76.125	-	60.438	-	-	42.395	-	310.199	
CL12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.665	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.665	
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	842.351	
Volume (m³)																														
CLONES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.721,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.721,59	
CL01	-	-	-	-	-	-	11.048,83	-	6.124,14	7.830,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36.717,96	
CL02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.608,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.608,81
CL03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.334,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.334,64	
CL05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.246,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.246,79	
CL06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.053,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.053,28	
CL07	4.507,28	4.067,75	5.484,00	4.810,94	-	4.006,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.573,02	-	-	-	9.836,30	-	9.375,56	6.364,97	-	-	53.026,05	
CL08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	898,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	898,91	
CL09	-	-	-	-	4.374,02	-	-	-	-	-	-	-	-	5.191,77	-	4.546,71	-	-	-	10.468,95	-	14.258,21	-	11.320,04	-	-	7.940,58	-	58.100,27	
CL10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	831,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	831,77	
CL12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	166.540,07	
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.721,59	
Custo (R\$)																														
CLONES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.017,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.017,54	
CL01	-	-	-	-	-	-	204.264,06	-	113.219,48	144.757,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	678.819,46	
CL02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88.291,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88.291,95
CL03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.186,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.186,88	
CL05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43.043,58	
CL06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	86.405,72	
CL07	87.032,34	78.545,34	105.891,93	92.895,75	-	77.357,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88.301,70	-	-	-	189.931,68	-	181.035,09	122.902,83	-	-	1.023.893,82	
CL08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.169,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.169,32	
CL09	-	-	-	-	93.178,47	-	-	-	-	-	-	-	-	110.598,81	-	96.857,25	-	-	-	223.017,06	-	303.738,75	-	241.147,62	-	-	169.156,05	-	1.237.694,01	
CL10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.633,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.633,70	
CL12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.319.155,98	
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.017,54	

Fonte: Base de dados do estudo.