

**OSCAR SANTIAGO VALLEJOS BARRA**

**SISTEMA DE SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE  
Populus spp., NO CHILE (SISTEMA SALICA)**

**Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia Florestal, Área de Concentração  
em Manejo Florestal, do Setor de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal do Paraná,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Doutor em Ciências Florestais.**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta**

**CURITIBA**

**2003**

**OSCAR SANTIAGO VALLEJOS BARRA**

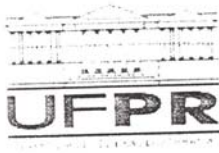
**SISTEMA DE SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE  
Populus spp., NO CHILE (SISTEMA SALICA)**

**Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia Florestal, Área de Concentração  
em Manejo Florestal, do Setor de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal do Paraná,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Doutor em Ciências Florestais.**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta**

**CURITIBA**

**2003**

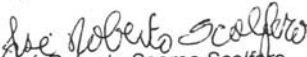



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

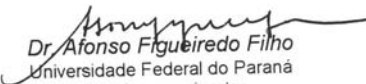
## PARECER

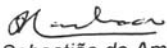
Defesa n.º 535

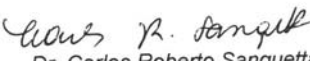
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) **Oscar Santiago Vallejos Barra** em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**Sistema de simulação de crescimento e produção de Populus spp., no Chile (Sistema Salica)**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.

  
Dr. José Roberto Soares Scolforo  
Universidade Federal de Lavras  
Primeiro examinador

  
Dr. Edilson Batista de Oliveira  
EMBRAPA/Florestas  
Segundo examinador

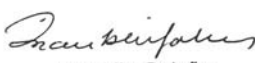
  
Dr. Afonso Figueiredo Filho  
Universidade Federal do Paraná  
Terceiro examinador

  
Dr. Sebastião do Amaral Machado  
Universidade Federal do Paraná  
Quarto examinador

  
Dr. Carlos Roberto Sanquetta  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 12 de dezembro de 2003.

  
Franklin Galvão  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - CAMPUS III - CEP 80210-170 - CURITIBA - Paraná  
Tel. (41) 360-4212 - Fax. (41) 360-4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>

A mis seres queridos.  
DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seu mais profundo agradecimento ao Dr. Álvaro Rojas Marín, excelentíssimo Reitor da Universidade de Talca (Talca, Chile), por seu permanente apoio e pela possibilidade de concretizar meus estudos doutorais.

Aos professores e amigos Carlos Roberto Sanquetta, Sebastião do Amaral Machado e Julio Eduardo Arce, pelo constante estímulo e apoio durante o curso e em especial no desenvolvimento da presente pesquisa.

Aos professores do Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal com os quais tive a oportunidade de intercambiar conhecimentos.

Aos representantes da empresa florestal "CAF El Álamo" por haver facilitado os dados utilizados na presente tese.

Aos secretários do Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Sra. Elinor e Sr. Reinaldo, sempre atenciosos e prontos para colaborar em tudo.

Aos bibliotecários e pessoal da biblioteca do Setor de Ciências Agrárias, Sra. Tania, Sra. Marlene, Sra. Isler e Sr. Agrinaldo, pela dedicação ao seu trabalho e pelo apoio prestado.

À minha família, pelo apoio incondicional e abnegação expressos durante a realização deste curso e no decorrer de minha vida.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram para tornar sumamente grata e confortável a estada de minha família no Brasil.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Oscar Santiago Vallejos Barra, filho de Oscar Vallejos Díaz e de Adriana Barra Salazar, nasceu em Rancagua, Chile a 21 de abril de 1965. Em 1984 iniciou seus estudos de graduação na Universidade de Concepción, Chillán. Chile, onde graduou-se em dezembro de 1990 como Engenheiro Florestal. ingressou como docente na Universidade de Talca em abril de 1991, atuando desde então como professor de Mensuração Florestal. Entre 1995 e 1996 realizou seus estudos de Pós-graduação ao nível de Mestrado no "Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza" (CATIE. Costa Rica) em Ciências Florestais na área de concentração em Manejo Florestal. Entre 1997 e 1999 foi Diretor da Escola de Engenharia Florestal da Universidade de Talca. Em março de 2001 iniciou seus estudos de doutorado no Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná na área de concentração em Manejo Florestal, os quais são concluídos com a defesa desta tese.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1 GERAL.....	2
2.2 ESPECÍFICOS .....	2
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
3.1 MÓDULO DE BANCO DE DADOS .....	4
3.2 MÓDULO DE MENSURAÇÃO .....	5
3.2.1 <i>Funções de afilamento</i> .....	5
3.2.2 <i>Funções de crescimento</i> .....	7
3.2.3 <i>Funções de distribuição diamétrica</i> .....	8
3.2.4 <i>Funções de índice de sítio</i> .....	10
3.2.5 <i>Funções de volume</i> .....	11
3.3 MÓDULO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA.....	11
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
4.1 MÓDULO DE BANCO DE DADOS .....	15
4.2 MÓDULO DE MENSURAÇÃO .....	15
4.2.1 <i>Módulo de ajuste de funções</i> .....	16
4.2.2 <i>Estimações pontuais</i> .....	18
4.2.3 <i>Simulação</i> .....	19
4.3 MÓDULO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA.....	20
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
5.1 BANCO DE DADOS RELACIONAIS .....	23
5.2 FUNÇÕES DE AFILAMENTO .....	26
5.3 FUNÇÕES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO .....	28
5.4 DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA .....	30
5.5 FUNÇÃO HIPSOMÉTRICA .....	33
5.6 FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO .....	35
5.7 FUNÇÕES DE VOLUME.....	36
5.8 AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA.....	38
5.9 MÓDULO DE SIMULAÇÃO .....	39
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>42</b>
<b>7 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>
<b>8 APÊNDICES.....</b>	<b>49</b>
8.1 DESCRIÇÃO DO SIMULADOR SALICA .....	50
8.1.1 <i>Módulo de Ajuste de funções</i> .....	52
8.1.1.1 <i>Funções de distribuição diamétrica</i> .....	55

8.1.1.2	Outras funções.....	57
8.1.2	<i>Módulo de avaliação econômica – financeira</i> .....	61
8.1.3	<i>Módulo de banco de dados</i> .....	67
8.1.3.1	Banco de dados de análise de tronco.....	67
8.1.3.2	Banco de dados das parcelas .....	73
8.1.4	<i>Módulo de estimações pontuais</i> .....	77
8.1.4.1	Cálculo do sortimento do povoamento.....	79
8.1.4.2	Prognose de crescimento e produção .....	81
8.1.4.3	Cálculo da tabela de povoamento.....	84
8.1.4.4	Classificação dos sítios.....	85
8.1.4.5	Cálculo de volume total do povoamento .....	88
8.1.5	<i>Módulo de Simulação</i> .....	89
8.2	AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES.....	92
<b>9</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>97</b>



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	DESCRIÇÃO DOS TALHÕES UTILIZADOS NA PESQUISA.....	14
TABELA 2 -	DESCRIÇÃO BREVE DOS ESQUEMAS DE MANEJO DESCRITOS POR LOEWE <i>ET AL.</i> (1997).....	20
TABELA 3 -	DESCRIÇÃO DOS INCREMENTOS MÉDIOS ANUAIS DOS TALHÕES AVALIADOS NA PRESENTE PESQUISA.....	22
TABELA 4-	DESCRIÇÃO DOS CAMPOS UTILIZADOS NO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS .....	23
TABELA 5-	DESCRIÇÃO DOS CAMPOS UTILIZADOS NO BANCO DE DADOS DE ANÁLISE DE TRONCO.....	25
TABELA 6 -	AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO.....	26
TABELA 7 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV .....	28
TABELA 8 -	CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS DO POVOAMENTO SEGUNDO CLASSE DE SÍTIO E HÍBRIDO .....	29
TABELA 9 -	FUNÇÕES DO POVOAMENTO AJUSTADAS .....	30
TABELA 10 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO POVOAMENTO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV .....	30
TABELA 11 -	TESTE DE LEVENE E ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL “DN” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES .....	31
TABELA 12 -	TESTE SNK DA VARIÁVEL “DN” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES.....	31
TABELA 13 -	TESTE DE LEVENE E ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL “DN” SEGUNDO HÍBRIDO NA AMOSTRA DE VALIDAÇÃO .....	33
TABELA 14 -	TESTE SNK DA VARIÁVEL “DN” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES.....	33
TABELA 15 -	AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS .....	34
TABELA 16 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS ,TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV .....	35
TABELA 17 -	AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO.....	35
TABELA 18 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES E ÍNDICE DE SÍTIO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV .....	36
TABELA 19 -	AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE VOLUME.....	37
TABELA 20 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES VOLUMÉTRICAS , TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV .....	38
TABELA 21 -	AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA DOS REGIMES DE MANEJO EXPOSTOS POR LOEWE <i>ET AL.</i> (1997).....	38
TABELA 22 -	CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE DIÂMETROS SEGUNDO CLASSE DE SÍTIO E HÍBRIDO .....	39
TABELA 23 -	FUNÇÕES AJUSTADAS PARA PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	40
TABELA 24 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV .....	40
TABELA 25 -	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS REQUERIDAS PELO SISTEMA SALICA .....	51
TABELA 26 -	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DA INFORMAÇÃO BÁSICA DO REGIME.....	62
TABELA 27 -	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE INGRESSOS E CUSTOS .....	63
TABELA 28 -	INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA O DIÂMETRO DE CADA TORA.....	92
TABELA 29 -	INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA O VOLUME DE CADA TORA.....	93
TABELA 30 -	INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS .....	94
TABELA 31 -	INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO .....	95
TABELA 32 -	INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE VOLUME DA ÁRVORE COMPLETA.....	96

TABELA 33 - FUNÇÕES DE AFILAMENTO AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA.....	98
TABELA 34 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA.....	99
TABELA 35 – MÉTODOS DE AJUSTE UTILIZADOS EM CADA DISTRIBUIÇÃO .....	100
TABELA 36 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ACUMULADA .....	103
TABELA 37 - FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA .....	104
TABELA 38 - FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA.....	105
TABELA 39 - FUNÇÕES DE VOLUME AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA.....	106
TABELA 40 – INDICADORES ECONÔMICOS - FINANCEIROS.....	107
TABELA 41 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO10 VI R.....	108
TABELA 42 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII R.....	108
TABELA 43 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII RCU .....	109
TABELA 44 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII RGA.....	110
TABELA 45 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII RCUGA .....	111
TABELA 46 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO14 VIII R .....	112
TABELA 47 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO16 IX SR.....	113
TABELA 48 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO16 X SR.....	113

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-	ARQUITETURA DO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS (TABELAS DESENVOLVIDAS E SUAS RELAÇÕES).....	23
FIGURA 2-	ARQUITETURA DO BANCO DE DADOS DE ANÁLISE DE TRONCO (TABELAS DESENVOLVIDAS E SUAS RELAÇÕES).....	25
FIGURA 3 -	MÓDULOS DO SIMULADOR SALICA .....	50
FIGURA 4 –	ORDEM DA INFORMAÇÃO NAS PASTAS DE TRABALHO A) INFORMAÇÃO DA PARCELA B) INFORMAÇÃO DAS ÁRVORES CUBADAS .....	51
FIGURA 5 -	EXEMPLOS DA INTERAÇÃO DO USUÁRIO COM O SISTEMA SALICA A) INGRESSO DE INFORMAÇÃO ALFANUMÉRICA B) SELEÇÃO ENTRE UM LISTADO C) SELEÇÃO ENTRE OPÇÕES D) SELEÇÃO DE UM BOTÃO DE AÇÃO.....	52
FIGURA 6 –	FLUXOGRAMA DO MÓDULO DE AJUSTE DE FUNÇÕES .....	53
FIGURA 7 –	TELA DAS POSSÍVEIS FUNÇÕES A AJUSTAR .....	54
FIGURA 8 -	MENSAGEM DE ERRO RESULTADO DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO E ALTERNATIVAS DE AÇÃO.....	54
FIGURA 9 –	FUNÇÕES DISPONÍVEIS SEGUNDO ELEIÇÃO DO USUÁRIO A) FUNÇÕES DE AFILAMENTO B) FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA C) FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS D) FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO E) FUNÇÕES DE VOLUME.....	55
FIGURA 10 -	EXEMPLO DO RESULTADO DO AJUSTE DA FUNÇÃO GAMMA.....	56
FIGURA 11 -	EXEMPLO DO RESULTADO GRÁFICO DO AJUSTE DA FUNÇÃO GAMMA.....	56
FIGURA 12 -	TELA FINAL QUE APRESENTA AS OPÇÕES QUE O USUÁRIO PODE ESCOLHER.....	56
FIGURA 13 –	TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DO ANÁLISE DE REGRESSÃO A) FUNÇÕES LINEARES E B) FUNÇÕES NÃO LINEARES.....	57
FIGURA 14 -	TELA QUE APRESENTA A OTIMIZAÇÃO DAS FUNÇÕES NÃO LINEARES .....	58
FIGURA 15 -	TELA QUE APRESENTA O ANÁLISE DE VARIÂNCIA E O ANÁLISE DOS RESÍDUOS .....	59
FIGURA 16 -	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO AJUSTE A) ESTIMATIVA E B) RESÍDUOS PADRÃO.....	60
FIGURA 17 -	TELA INICIAL DA AVALIAÇÃO ECONÔMICA - FINANCEIRA .....	61
FIGURA 18 -	OPÇÕES QUE O USUÁRIO DISPÕE PARA TRABALHAR EM UM ARQUIVO PREVIAMENTE ARQUIVADO .....	62
FIGURA 19 -	INGRESSO DE INFORMAÇÃO BÁSICA QUE DESCREVE O REGIME DE MANEJO .....	63
FIGURA 20 -	INGRESSO DE DESPESAS E RECEITAS DO REGIME DE MANEJO EM ANÁLISE .....	64
FIGURA 21 -	DETALHES DO REGIME DE MANEJO EM ANÁLISE.....	65
FIGURA 22 -	RESULTADO DOS INDICADORES FINANCEIROS DO REGIME DE MANEJO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	66
FIGURA 23 -	TELA DE INICIO DO MÓDULO DE BANCO DE DADOS .....	67
FIGURA 24 -	TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES DE PROCESSAMENTO DO ANÁLISE DE TRONCO.....	68
FIGURA 25 -	TELA QUE APRESENTA OS CAMPOS QUE DEVEM SER PREENCHIDOS PELO USUÁRIO PARA DESCREVER CADA ÁRVORE.....	69
FIGURA 26 -	TELA QUE APRESENTA OS CAMPOS QUE DEVEM SER PREENCHIDOS PELO USUÁRIO PARA INGRESSAR CADA MEDIÇÃO.....	70

FIGURA 27 - TELA ONDE O USUÁRIO SELECIONA A ÁRVORE QUE SERÁ PROCESSADA.....	71
FIGURA 28 - TELA COM A INFORMAÇÃO DE CADA FATIA.....	71
FIGURA 29 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA INFORMAÇÃO DE CADA FATIA.....	71
FIGURA 30 - TELA QUE APRESENTA O LISTADO GERADO PARA A ÁRVORE EM ANÁLISE .....	72
FIGURA 31 - TELA ONDE O USUÁRIO SELECIONA A ELIMINAÇÃO DE UM ANEL.....	73
FIGURA 32 - TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES DE PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO DAS PARCELAS.....	74
FIGURA 33 - TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE OS PROJETOS .....	74
FIGURA 34- TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE OS HÍBRIDOS.....	75
FIGURA 35- TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE OS TALHÕES .....	75
FIGURA 36 - TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE A PARCELA .....	76
FIGURA 37 - TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE AS MEDIÇÕES .....	77
FIGURA 38 - TELA DE INGRESSO DAS RESPECTIVAS MEDIÇÕES .....	77
FIGURA 39 - FLUXOGRAMA DO MÓDULO DE ESTIMAÇÕES PONTUAIS.....	78
FIGURA 40 - TELA QUE APRESENTA AS ESPECIFICAÇÕES DOS PRODUTOS REQUERIDOS PELOS USUÁRIOS .....	80
FIGURA 41 - TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DO SORTIMENTO DO POVOAMENTO A) CANTO SUPERIOR DIREITO B) CANTO SUPERIOR ESQUERDO .....	81
FIGURA 42 - INFORMAÇÃO REQUERIDA PARA AJUSTAR AS FUNÇÕES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO .....	82
FIGURA 43 - INFORMAÇÃO REQUERIDA PARA A PROGNOSE DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO A) MEDIÇÃO DE PARCELA B) ÍNDICE DE SÍTIO.....	83
FIGURA 44 - RESULTADO DA PROGNOSE DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO.....	84
FIGURA 45 - TELA QUE APRESENTA A TABELA DE POVOAMENTO.....	85
FIGURA 46 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA TABELA DE POVOAMENTO .....	85
FIGURA 47 - TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES QUE O USUÁRIO PODE ESCOLHER PARA DEFINIR AS CLASSES DE SÍTIO. ....	86
FIGURA 48 - TELA ONDE O USUÁRIO INTRODUZ OS LIMITES INFERIORES DE CADA CLASSE A) PERCENTIS E B) DESVIOS .....	87
FIGURA 49 - TELA QUE APRESENTA OS RESULTADOS DAS RESPECTIVAS CLASSES DE SÍTIO .....	87
FIGURA 50 - TELA QUE REPRESENTA GRAFICAMENTE AS CLASSES DE SÍTIO .....	88
FIGURA 51 - TELA QUE REPRESENTA AS OPÇÕES QUE O USUÁRIO TEM AO FINALIZAR O PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS.....	88
FIGURA 52 - TELA QUE APRESENTA O CUBAGEM DO POVOAMENTO .....	89
FIGURA 53 - TELA QUE APRESENTA A INFORMAÇÃO BÁSICA REQUERIDA PARA A SIMULAÇÃO .....	89
FIGURA 54 - TELA QUE APRESENTA A INFORMAÇÃO ADICIONAL PARA A PROGNOSE .....	90
FIGURA 55 - TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DA PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA, SEM OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO.....	91
FIGURA 56 - TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DA PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA, COM OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO.....	91

## RESUMO

Foi desenvolvido um simulador de crescimento denominado SALICA, que permitira armazenar, depurar e processar a informação proveniente tanto dos povoamentos já existentes, como de novos florestamentos com híbridos do gênero *Populus* no Chile. Utilizou-se o software Microsoft EXCEL 2000 para a programação do aplicativo SALICA.

SALICA é muito flexível para poder analisar os povoamentos já existentes como os novos reflorestamentos, de modo que em função da informação que disponha o usuário terá múltiplas opções para fazer suas análises, podendo-se destacar a determinação de índice de sítio, distribuição diamétrica, funções de afilamento e sortimento, modelos de crescimento e produção e análise econômica - financeira de regimes de manejo. Espera-se que o simulador seja uma ferramenta eficaz para a planificação da produção presente e futura.

Palavras-chaves: *Populus*, modelo de crescimento biométrico, sistema computacional.

## **ABSTRACT**

SALICA simulator of growth was developed, that had allowed to store, to debug and to already process the coming information so much of the stand existent, as of new plantations with hybrid of the gender Populus in Chile. The software was used Microsoft EXCEL 2000 for the programming of the application SALICA.

SALICA is very flexible to already analyze the stands existent as the new plantation, so that in function of the information that disposes the user will have multiple options to do your analyses, could stand out the determination of site index, distribution diamétrica, taper functions, growth models and production and economical analysis - financial of handling regimes. It is waited that the simulator is an effective tool for the planning of the present and future production.

**Key Words:** Populus, biometrics growth models, software.

## 1 INTRODUÇÃO

O sucesso do setor florestal Chileno esteve por muito tempo associado ao desenvolvimento da espécie *Pinus radiata* (D. Don), posteriormente espécies do gênero *Eucalyptus* fortaleceram dito sucesso. Este modelo de desenvolvimento florestal, orientado à monocultura tem comprovadas limitações em termos ambientais, sociais e econômicas. Por isto que em 1994 o Governo do Chile encargou à “Corporación Nacional Forestal” (CONAF) o desenvolvimento de um Programa Nacional de Diversificação Florestal.

Este Programa identificou que os *Populus* sp., entre outras espécies, seriam de muito interesse para diversificar a produção florestal nacional (PADRÓ, 1999; SANHUEZA, 2001), criando-se a “Comisión Nacional del Álamo” (CNA), segundo a qual o Chile apresenta aproximadamente 8 milhões de hectare potenciais para o desenvolvimento desta espécie (CNA, 2002).

Entre outros pertencem à CNA a Universidade de Talca, a qual criou o “Programa de Desarrollo e Fomento del género *Populus* en Chile” (PDFP), o qual fornecerá um conjunto seletivo de híbridos com as melhores características de crescimento e qualidade da madeira (PDFP, 2002). Estimaciones indicam que plantar um híbrido errado pode trazer um prejuízo sobre os nove mil dólares por hectare (HERRERA *et al.*, 2000).

Deste modo a informação de crescimento dos florestamentos utilizando os novos híbridos como a informação proveniente dos povoamentos já existentes, retroalimentarão o PDFP, fortalecendo sua ação a nível nacional. Mediante o simulador SALICA esta informação será armazenada, processada e analisada, de modo que esta ferramenta torna-se vital tanto para o PDFP como para os proprietários que iniciaram ou já iniciarão plantações com espécies de *Populus*.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Desenvolver um simulador denominado SALICA que armazene e análise informação proveniente de povoamentos de *Populus* sp., podendo simular o crescimento e produção anual do povoamento, obtendo tabelas de sortimento de madeira por classe diamétrica e avaliando regimes de manejo em termos econômicos - financeiros.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Determinar entre quinze funções de afilamento a mais propicia para os diversos povoamentos de *Populus* sp.
- Propor funções de crescimento e produção para os diversos povoamentos de *Populus* sp.
- Determinar entre a distribuição Beta, Gamma, Log-Normal, Normal,  $S_B$  de Johnson e Weibull de dois ou três parâmetros, qual representa de melhor maneira os diversos povoamentos de *Populus* sp.
- Determinar entre quinze funções de índice de sítio a mais propicia para os diversos povoamentos de *Populus* sp.
- Determinar entre quinze funções de volume a mais propicia para os diversos povoamentos de *Populus* sp.
- Avaliar diversos regimes de manejo mediante análise econômico – financeiro



### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Encontro-se na literatura diversas definições de modelo, que em termos gerais indicam que corresponde a uma representação simplificada da realidade, já que somente alguns dos fatores que condicionam certas respostas são considerados (VANCLAY, 1994; SANQUETTA, 1996; ROGERS e JHONSON, 1998).

Os modelos de crescimento podem ser i) empíricos - descritivos, quando são orientados ao manejo florestal (MAESTRI, 2003) enfatizando a qualidade do ajuste dos dados e das predições (SANQUETTA, 1996) ou ii) processuais – mecânicos, quando procuram explicar como funciona um sistema, enfatizando na explicação dos fatos mais que no ajuste e nas predições (SANQUETTA, 1996).

Por enquanto o interesse do PDFP radica na quantificação física dos povoamentos de *Populus*, de modo que o modelo proposto nesta pesquisa é um modelo empírico – descritivo. Procuro-se sem sucesso na literatura científica modelos empíricos – descritivos para o gênero *Populus*, e assim estabelecer um análise comparativo. De modo que a comparação será feita com modelos desenvolvidos para outras espécies florestais<sup>1</sup>.

MAESTRI (2003) analisa com rigorosidade o passado, presente e futuro dos modelos processuais, de modo que o leitor interessado em estes modelos, deveria procurar essa fonte de informação.

Um sistema computacional modular é recomendável para a execução dos modelos de crescimento. Os módulos básicos requeridos para tal efeito podem ser i) módulo de banco de dados, ii) módulo de mensuração e iii ) módulo de avaliação

---

<sup>1</sup> Modelo “SISPINUS” desenvolvido por OLIVEIRA(1995) para *Pinus taeda* L. crescendo em Brasil. Modelo “SCDFN” desenvolvido por KOEHLER (2002) para Florestal Naturais do Brasil. Modelo desenvolvido por MAESTRI (2003) para *Eucalyptus grandis* crescendo em Brasil.

econômica – financeira. O módulo de banco de dados estruturado corretamente permitirá um eficiente manejo dos dados, transformando-lhos em informação requerido pelo módulo de mensuração, o qual processa a informação e predisse o crescimento e produção da floresta. A avaliação econômica – financeira desta produção determina a rentabilidade desta atividade.

### 3.1 MÓDULO DE BANCO DE DADOS

Os dados de uma floresta adquirem uma dimensão de proporções na medida que consecutivas remedições são efetuadas ou que novas áreas são incorporadas nas medições. Estes dados devem ser transformados em informação confiável, ou seja, de qualidade e estruturada de maneira que seja facilmente acessada (WETHERBE, 1987), para que a organização responsável por a floresta tome as decisões apropriadas.

Um banco de dados relacional (conjunto de tabelas bidimensionais relacionadas entre si por meio de campos coincidentes nas respectivas tabelas) permite cumprir com estes requerimentos, desde que este seja estruturado adequadamente. Segundo KROENKE (1999), as vantagens de um modelo relacional são: minimização das duplicações e eliminação de possíveis erros.

Utilizando as potencialidades de um banco de dados relacional UGALDE (2001) desenvolveu o sistema MIRASIL, que tem 23 anos de percurso principalmente na área florestal Centro-americana e pode ser utilizado tanto em plantações como em florestas naturais, com dados provenientes de parcelas permanentes ou temporais. Definindo algumas funções MIRASIL é capaz de estimar a produção e crescimento dos povoamentos armazenados no banco de dados.

O sistema SCDFN incorpora um banco de dados relacional para armazenar o sistema de inventario de florestas naturais, para determinar sua dinâmica em base a

dados de parcelas permanentes. KOEHLER (2002) afirma que este banco de dados favorecerá as pesquisas de métodos e processos de amostragem.

### 3.2 MÓDULO DE MENSURAÇÃO

Este módulo deve gerar informação do recurso florestal em termos físicos na data presente, e fazer prognose sobre o desenvolvimento dos povoamentos em datas futuras. A informação é proporcionada através de funções aplicadas a árvores individuais ou ao agrupamento de árvores contidos numa parcela. A nível de árvore individual utiliza-se funções de afilamento, funções hipsométricas e funções de volume; em tanto para o agrupamento das árvores trabalha-se com funções de crescimento, funções de distribuição diamétrica e funções de índice de sítio, as quais serão descritas a continuação:

#### 3.2.1 Funções de afilamento

Segundo NEWNHAM (1992) e MUHAIRWE, LEMAY e KOZAK (1994), deve-se entender por afilamento “a taxa de diminuição em diâmetro a medida que aumenta a altura do tronco”, por lho tanto uma função de afilamento descreve esta diminuição em termos matemáticos - estatísticos.

Múltiplas funções de afilamento tem sido desenvolvidas, apresentando diversos resultados segundo a espécie (VALLEJOS; ARACENA; FLÁNDEZ, 2000). Este desenvolvimento deve-se a que estas funções por lho geral são muito flexível podendo estimar: diâmetros a qualquer altura da árvore, altura em que encontra-se um diâmetro definido e o volume total do tronco ou de toras mediante a integração da função (TORRUBIANO, 1994; VALLEJOS; MENDOZA, ROJAS, 1998). Estas funções são indispensáveis quando uma empresa abastece um mercado com diversos produtos, com especificações de diâmetros e comprimentos variáveis.

Para selecionar a melhor função usam-se medidas de acuracidade (GORDON, 1983; BYRNE e REED, 1986; NEWNHAM, 1992; TORRUBIANO, 1994; KOZAK, 1997), medidas dos resíduos (CZAPLEWSKI; McCLURE, 1988 e MUHAIRWE; LEMAY; KOZAK, 1994) e também o teste de aderência de Kolmogorov Smirnov (VALLEJOS; MENDOZA; ROJAS, 1998).

A maioria das funções de afilamento não cumprem os supostos do método dos mínimos quadrados, relativo à multicolinealidad e autocorrelação; este fato foi comprovado por KOZAK (1997) para os modelos propostos pelo mesmo autor; no entanto, concluiu que isto não diminui a capacidade de prognose dos modelos.

A informação requerida para ajustar as funções de afilamento pelo geral provém de um análise de tronco, que corresponde a análise de fatias extraídas do tronco de uma árvore. Este tipo de análise é muito trabalhoso, já que deve-se medir o raio de cada anel de crescimento em cada uma das fatias extraídas e estimar a altura da árvore no transcurso de seu crescimento. No entanto, a partir deste análise é obtém-se informação relevante para conhecer o desenvolvimento do árvore através do tempo (BARUSSO, 1977 e DYER; BAILEY, 1987)

Para estimar a altura da árvore em datas anteriores à derrubada da árvore, BARRUSSO (1977) propus que o término do anel estará de acordo com o ângulo do anel imediatamente posterior. Esta proposta foi plasmada como um método de estimação por NEWBERRY<sup>2</sup> citado por DYER e BAILEY (1987). Dito método foi avaliado por estes autores, concluindo que este método proporciona estimações aceitáveis da altura da árvore.

---

<sup>2</sup> NEWBERRY, J. D. **Dominant height growth models and site index curves for site-prepared slash pine plantations in the lower Coastal Plain of Georgia and North Florida.** Georgia, USA. 1978. 47 f. Tese (Mestrado) Universidade de Georgia.

LOEWE *et al.* (1997) indicam que um polinômio de segundo grau foi ajustado na zona central de Chile, obtendo um resultado satisfatório para a descrição do afilamento de híbridos de *Populus* sp.

O modelo SISPINUS utiliza o polinômio de quatro grau de Prodan e o modelo SCDFN com o polinômio de quinto grau do mesmo autor. Ambos polinômios são avaliados na presente pesquisa. O modelo de MAESTRI utiliza o polinômio de potências fracionárias e inteiras, não avaliada na presente pesquisa.

### 3.2.2 Funções de crescimento

O crescimento das árvores refere-se ao alongamento e engrossamento de suas dimensões. Para os pesquisadores o diâmetro, área basal, altura e volume são dimensões de interesse particular, tanto a nível da árvore individual como do povoamento. Em tanto a produção corresponde ao crescimento acumulado num período de tempo definido.

Segundo ZEIDE (1993) o crescimento das árvores pode-se descrever através de uma curva que inicialmente aumenta, numa forma côncava, enquanto torna-se convexa mais tarde. Um modelo de crescimento intenta descrever matematicamente o comportamento deste curva.

Uma detalhada revisão histórica do desenvolvimento do estudo de crescimento e produção encontra-se em SCOLFORO (1998). No entanto informações sobre modelos de crescimento e produção para *Populus* sp. na zona central do Chile, são escassos ou inexistentes.

No processo de simulação que incorpora a estrutura dos povoamentos através de funções de distribuição diamétrica, é de particular interesse predizer a distribuição diamétrica no ano de avaliação da floresta. Segundo KANGAS e MALTAMO (2000)

isto pode efetuar-se com i) método de predição de parâmetros, onde cada um dos parâmetros da distribuição são estimados a partir de uma regressão com características do povoamento e ii) método de recuperação de parâmetros, onde os parâmetros da distribuição são obtidos ao resolver um sistema de equações que consideram atributos do povoamento.

O modelo SISPINUS utilizou o método de predição de parâmetros, em tanto o modelo de MAESTRI (2003) utilizou o método de recuperação de parâmetros, o qual parece mais aconselhável ao testar diversas distribuições diamétricas. Diversos modelos não são propostos na literatura para o método de recuperação de parâmetros, entre outros HAFLEY e BUFORD (1985), OLIVEIRA (1995), SCOLFORO (1998) e MAESTRI (2003), ao analisar cada modelo percebe-se que a idade, altura dominante e índice de sítio são as variáveis independentes mas usadas, de modo um novo modelo deveria considerar estas variáveis.

### 3.2.3 Funções de distribuição diamétrica

As funções de densidade de probabilidade (fdp), permitem estimar a provável distribuição que apresentam os diâmetros, descrevendo em termos matemáticos a estrutura de um povoamento.

As distribuições tradicionalmente avaliadas na área florestal são: Beta, Gamma, Log-Normal, Normal,  $S_B$  de Johnson e Weibull de dois ou três parâmetros. GLADE (1986) e SCOLFORO (1998) apresentam uma extensa relação de pesquisas que avaliaram estas funções na área florestal com diversos graus de sucesso.

Por lho geral distribuições unimodais apresentam um ajuste adequado, no entanto quando a informação apresenta muita irregularidade, decai a acuracidade das estimações. Nestes casos para melhorar os ajustes CAO e BURKHART (1984)

propuseram uma Distribuição Weibull Segmentada e recentemente SILVA (2003) propôs a Distribuição Polinomial.

Poderia pensar que um povoamento clonal não precisa ser representado por alguma fdp, já que as árvores apresentariam a mesma dimensão, por tanto bastaria medir uma árvore para conhecer a totalidade. No entanto, os povoamentos clonal apresentam variabilidade em função do material genético utilizado, da técnica de reprodução utilizada e da variabilidade do sítio onde dito povoamento encontram-se. Deste modo BARRERA (1995) avaliou algumas distribuições em dois híbridos de *Populus* na zona central do Chile, concluindo que a distribuição Log-Normal estimou de melhor maneira a estrutura dos povoamentos.

As distribuições podem ser ajustadas por diversos métodos os quais teoricamente deveriam apresentar resultados semelhantes entre si; No entanto, a literatura reporta alguns exemplos onde os métodos utilizados geram diferenças; tal é o caso da distribuição  $S_B$  Johnson (ZOU; McTAGUE, 1996; TABAI, 1999).

Segundo GIBBONS e CHAKRABORTI (1992) o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra, é o melhor teste para avaliar a distribuição teórica de uma amostra, já que é muito sensível a qualquer diferença do valor central e da dispersão (LEBART; MORINEAU; FÉNELON, 1985). Este teste baseia-se na máxima diferença entre a distribuição acumulativa dos erros (NEWNHAM, 1992) e na área florestal tem ampla utilização para determinar a distribuição e o método de ajuste que melhor descreve a estrutura do povoamento (CAO; BURKHART, 1984; GLADE, 1986; ZHOU; McTAGUE, 1996; SCOLFORO, 1998; TABAI, 1999).

O teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra, considera o estatístico “dn” (Expressão [1]). Ou seja na medida que “dn”  $\rightarrow 0$  a amostra é melhor representada pela distribuição teórica avaliada. Considerando este fato e a dificuldade para determinar o parâmetro “a” da distribuição Weibull 3p e os parâmetros “ $\epsilon$ ” e “ $\lambda$ ”

da distribuição  $S_B$  de Johnson VALLEJOS *et al.* (a, b no prelo) fizeram uma proposta metodológica para o ajuste ótimo destas distribuições. Em dita proposta utiliza-se programação não linear e obtém-se os parâmetros de cada distribuição que torna mínimo o valor de “dn” de cada amostra.

$$d_n^+ = \text{Max} \left\{ \frac{i}{n} - F(x_i) \right\} \quad d_n^- = \text{Max} \left\{ F(x_i) - \frac{i-1}{n} \right\} \quad i=1, 2, \dots, n \quad [1]$$

$$d_n = \text{Max} \{ d_n^+, d_n^- \}$$

O modelo SISPINUS utiliza a distribuição  $S_{BB}$  de Johnson (distribuição conjunta de diâmetros e alturas), em tanto o modelo de MAESTRI considera a distribuição Weibull 3P. Ambas distribuições avaliadas na presente pesquisa

### 3.2.4 Funções de índice de sítio

Por lho geral a qualidade de sítio das plantações obtêm-se através do método direto dasométrico (SCOLFORO, 1998), o qual prediz o comportamento no tempo de uma variável correlacionada com o volume e que não seja afetada notoriamente pela densidade do povoamento ou pelo manejo.

Segundo MONSERUD, MOODY e BREUER (1990) a variável selecionada na maioria dos casos es altura dominante ( $H_{Dom}$ ), já que esta variável pode predisser a produtividade de um sítio com maior acuracidade que qualquer outra variável do povoamento, já que es menos influenciada pela densidade e o manejo (DANIEL; HELMS; BAKER, 1982; CARTER; KLINKA, 1990).

O índice de sítio de uma parcela corresponde à  $H_{Dom}$  que dita parcela apresenta, apresentará ou apresentou a uma idade de referencia predefinida, a qual deve ser próxima de idade de rotação. Deste modo o índice de sítio torna-se um valor de referencia e comparação que permite ordenar num ranking cada parcela em análise.



Assume-se que o sítio mantém inalterada sua capacidade produtiva com as variações naturais do ambiente; no entanto, em espécies de crescimento acelerado e curta idade de rotação fatores ambientais podem afetar dita capacidade. MAESTRI (2003) concluiu que a disponibilidade de água afeta o índice de sítio das plantações de *Eucalyptus grandis* da empresa Aracruz Celulose S.A.

### 3.2.5 Funções de volume

As funções de volume são menos flexíveis que as funções de afilamento (3.2.1), já que não é possível estimar o volume de um produto para a qual não foi desenvolvida a função. No entanto, algumas empresas comercializam produtos que não têm variação dimensional ou estão interessadas no volume total das árvores. Neste caso a função de volume satisfaz os requerimentos da empresa.

Inúmeras funções de volume tem sido desenvolvidas através do tempo, as quais consideram como variável independente só o Dap (função local) ou o Dap e a altura da árvore (função geral). MORAGA, LATORRE e AEDO (1997), ajustaram uma função local para dois híbridos na zona central de Chile, utilizando uma variável Dummy para sua diferenciação.

Segundo LOEWE *et al.* (1997) aos 16 anos de idade na zona central de Chile uma árvore do híbrido I-488 pode apresentar um volume de  $1,2 \text{ m}^3$ , em quanto que uma árvore do híbrido I-63/51 pode alcançar  $1,6 \text{ m}^3$ .

## 3.3 MÓDULO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA

Segundo CHANG (1984) a determinação da idade para o corte final ou rotação do povoamento, é um dos problemas mais importantes na Engenharia Florestal. Desde o ponto de vista econômico - financeiro esta idade deve acontecer

quando obtêm-se a máxima rentabilidade. Diversos critérios econômicos tem sido estudados para a determinação dessa rentabilidade. NEWMAN (1998) apresenta uma detalhada descrição de pesquisas desenvolvidas em torno do tema. No entanto, o valor esperado da terra (VET), caso especial do valor presente líquido (VPL) de uma série infinita de rotações, é o indicador que deve-se utilizar desde que a propriedade seja continuamente utilizada para a atividade florestal (CHANG, 1984; CHACON, 1994, 1995; NEWMAN, 1998).

LOEWE *et al.* (1997) utilizando o critério do VET, apresentou uma completa análise econômico - financeiro, para povoamentos de *Populus* sp. na zona central do Chile, considerando além da atividade florestal, atividades agrícolas e pecuárias. Em muitos casos a combinação das atividades florestal, agrícola e pecuária, melhora a renda dos proprietários. Por exemplo na X Região do Chile, numa plantação de dois anos de idade, obteve-se um produção de matéria seca 240% superior a uma área de pastagem (CHILE FORESTAL, 2000).

Uma vez finalizada a análise econômica - financeira, deve-se desenvolver uma análise de sensibilidade, que segundo OLIVEIRA (1995) tem por objetivo pesquisar os efeitos das possíveis variações nos parâmetros que compõem um fluxo de caixa no resultado deste.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi desenvolvida com informação da “Compañía Agrícola e Forestal El Álamo Limitada” maior empresa produtora de madeira de álamo no Chile. O patrimônio da empresa corresponde aproximadamente a três mil hectares de plantações de híbridos de *Populus* distribuídas na zona mediterrânea do Chile, entre os 31°40’ até 37°00’ latitude sul. Dos quatorze híbridos que a empresa utiliza, especial destaque tem o *Populus x euramericana* cv. I-488 e o *Populus x euramericana* cv. I-63/51.

A empresa dispõe de um total de 895 parcelas permanentes de amostragem, onde anualmente o pessoal de mensuração registra o diâmetro a altura do peito (Dap) em centímetros de todas as árvores da parcela e a altura total (H) em metros das cinco árvores centrais.

Para a presente pesquisa a empresa proporcionou informação de dez talhões para cada híbrido (Tabela 1). O número de parcelas ascende à cifra de 78 parcelas, as quais foram remedidas em diversas oportunidades originando um total de 433 unidades amostrais no tempo. A empresa também disponibilizou o análise de tronco de 93 árvores. No análise de tronco a maioria das árvores foram seccionadas a comprimentos comerciais e em outros casos, a um comprimento de um metro.

A informação foi subdividida numa amostra de construção e outra de validação. A amostra de construção conteve o aproximadamente o 90% da informação total e foi usada para ajustar as diversas funções, em tanto o restante 10% foi utilizado para validar o sistema de simulação proposto, seguindo a recomendação de ALDER (1980) e REYNOLDS (1984) os quais indicam que a validação independente, ou seja utilizar dados que não foram considerados para ajustar as funções, é o procedimento mas recomendável. Aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov de dois amostras para

comprovar a similitude entre a informação real e a informação estimada em cada tipo de função utilizada.

TABELA 1 – DESCRIÇÃO DOS TALHÕES UTILIZADOS NA PESQUISA

Híbrido	Espaçamento (m x m)	Talhão	Ano plantação	Superfície (ha)	Número parcelas	Análise de tronco			
						Total remedições <sup>3</sup>	Nº de árvores	Idade (anos)	
I-488	4.5 x 8	Santa Inés	32	1988	25,1	3	21	16	16
	6.0 x 6	La Patagua	41	1990	43,0	5	29		
	6.0 x 6	El Copihue	72	1990	16,4	3	21		
	6.0 x 6	La Unión	91	1990	19,2	3	21		
	6.0 x 6	La Unión	93	1991	21,6	3	16		
	4.5 x 8	La Unión	94	1989	10,3	4	28		
	6.0 x 6	La Ballica	101	1991	42,7	11	70		
	4.0 x 8	Santa Elena	231	1985	8,2	3	8	16	14
	4.0 x 8	Bellavista	281	1986	11,3	4	14	9	13
	4.0 x 8	La Viña	292	1987	22,7	3	15	20	15
Sub total					220,5	42	243	61	
I-63/51	6.0 x 6	San Jorge	141	1990	38,0	5	34		
	4.5 x 8	San Luis	152	1989	13,5	4	28		
	6.0 x 6	La Puerta	171	1991	28,0	4	28		
	4.5 x 8	El Calabozo	251	1988	11,1	4	16		
	4.0 x 8	El Calabozo	253	1988	2,8	1	5		
	6.0 x 6	Bellavista	282	1990	8,8	2	2		
	6.0 x 6	Rosario2	352	1991	15,2	3	19		
	4.0 x 8	San Blas2	371	1988	23,4	4	20	18	14
	4.0 x 8	San Blas3	382	1986	24,1	6	26		
	4.0 x 8	El Avión	472	1986	10,2	3	12	14	14
Sub total					175,1	37	190	32	
Total					395,6	79	433	93	

<sup>3</sup> Todas as parcelas do talhão 32, 72, 91, 94, 152 e 171 foram remediadas sete vezes. Todas as parcelas do talhão 253, 292 e 371 foram remediadas cinco vezes. Todas as parcelas do talhão 472 foram remediadas quatro vezes. Todas as parcelas do talhão 282 foram medidas uma vez. No talhão 41 a parcela 1, 3, 4 e 5 foi remediada seis vezes e a parcela 2 remediada cinco vezes. No talhão 93 a parcela 1 e 2 foi remediada sete vezes e a parcela 3 remediada duas vezes. No talhão 101 a parcela 1 até 6 foi remediada sete vezes, a parcela 7, 9 e 10 foram remediadas seis vezes, a parcela 8 e 11 foram remediadas cinco vezes. No talhão 231 a parcela 1 e 2 foi remediada três vezes e a parcela 3 remediada duas vezes. No talhão 281 a parcela 1 foi remediada cinco vezes e a parcela 2 até 4 foi remediada três vezes. No talhão 141 a parcela 1 foi remediada seis vezes e a parcela 2 até 5 remediada sete vezes. No talhão 251 a parcela 1 e 2 foi remediada seis vezes e a parcela 3 e 4 remediada duas vezes. No talhão 352 a parcela 1 foi remediada sete vezes e a parcela 2 e 3 remediada seis vezes. No talhão 382 a parcela 1 foi medida três vezes, a parcela 2 e 3 foram remediadas quatro vezes e a parcela 4, 5 e 6 foram remediadas cinco vezes.

O sistema SALICA (ver o apêndice 8.1 p. 50) é um sistema de simulação desenvolvido no Microsoft EXCEL 2000, onde o usuário terá diversas opções para definir as funções que apresentem maior acuracidade de acordo à informação proporcionada. Para estruturar SALICA analisou-se a informação disponível com o pacote estatístico STATGRAPHICS 5.0, selecionando as cinco funções mais destacadas em cada item sendo programadas no SALICA. Deste modo dependendo da informação que o usuário disponha, o sistema SALICA dará múltiplas opções para que a simulação seja a mais próxima da realidade.

A descrição do método utilizado descrevera em primeiro término o módulo de banco de dados, posteriormente o módulo de mensuração e finalizará com o módulo de avaliação econômica - financeira.

#### 4.1 MÓDULO DE BANCO DE DADOS

Foram desenvolvidas dois bancos de dados relacionais para armazenar, processar e analisar a informação das parcelas e do análise de tronco, utilizando as ferramentas que Microsoft EXCEL dispõe para tal efeito (ver apêndice 8.1.3 p. 67).

O subsistema de mensuração utiliza a informação proveniente dos listados de ambos bancos de dados, de modo que antes de armazenar a informação, esta é avaliada com rotinas de controle para conhecer a abrangência da mesma.

#### 4.2 MÓDULO DE MENSURAÇÃO

Foram avaliadas diversas funções que permitiram desenvolver a simulação. Como resultado das avaliações efetuadas gerou-se o módulo de mensuração do simulador SALICA, o qual esta composto por três submódulos i) Ajuste de funções, ii) Estimáveis pontuais e iii) Simulação descritos a continuação:

#### 4.2.1 Módulo de ajuste de funções

Com o listado proveniente do banco de dados de análise de tronco foram ajustadas funções de afilamento (Tabela 33 p. 98) e funções de volume (Tabela 39 p. 106) para cada híbrido. O listado do banco de dados das parcelas permitiu o ajuste das funções de crescimento, funções de distribuição diamétrica (Tabela 34 p. 99), funções hipsométricas (Tabela 37 p. 104) e funções de índice de sítio (Tabela 38 p. 105).

Para cada híbrido foram avaliadas ditas funções e escolheu-se aquela que apresenta-se o melhor desempenho, utilizando-se para isto o pacote estatístico STATGRAPHICS 5.0

O melhor desempenho das distribuições diamétricas foi obtido através do teste de médias Student-Newman-Keuls (SNK) a um nível de significância de 5%, do estatístico “dn” de Kolmogorov-Smirnov para cada um dos seguintes grupos

- Grupo 1: Distribuição Beta com os dois métodos de ajuste
- Grupo 2: Distribuição Gamma com os dois métodos de ajuste
- Grupo 3: Distribuição Log-Normal e Normal com um método de ajuste
- Grupo 4: Distribuição  $S_B$  de Johnson com cinco métodos de ajuste
- Grupo 5: Distribuição Weibull de dois e três parâmetros com os quatro métodos de ajuste

Os métodos de ajuste apresentam-se na Tabela 35 p. 100. O leitor poderá obter mais detalhes sobre qualquer método de ajuste, ao procurar a referência respectiva.

Os estatísticos “dn<sup>+</sup>” e “dn<sup>-</sup>” utilizam a função de distribuição acumulada, ou seja a integral das funções de distribuição probabilidade. A distribuição Log-Normal, Normal e  $S_B$  de Johnson não apresentam integral definida, de modo que deve-se

recorrer ao método de cálculo numérico. A integral definida das restantes distribuições apresenta-se na Tabela 36 p. 103

A literatura reporta um grande número de funções de crescimento para plantações, os quais em sua maioria foram desenvolvidas para povoamentos com um número de árvores decrescentes a traves do tempo, já seja por mortalidade natural ou por praticas de desbastes. As funções consideram como variáveis explicativas entre outras a idade, altura dominante e índice de sítio em conjunto ou por separado.

Considerando este fato e com o objetivo de propor funções de crescimento e produção a nível de povoamento a amostra de construção foi classificada em três classes de sítio e verificou-se a correlação das variáveis diâmetro promédio, área basal e volume com a variável idade e altura dominante. Identificou-se as relações entre as variáveis, e formulou-se um sistema interligado de funções, base da simulação.

Para as restantes funções gerou-se um ranking considerando seis indicadores de acuracidade - exatidão i) erro quadrático médio, ii) coeficiente de determinação ajustado, iii) desvio “D”, iv) desvio padrão das diferenças “SD”, v) soma de quadrados dos resíduos relativos “SSRR” e vi) percentagem dos resíduos “PR”. A função com melhor desempenho foi a primeira do ranking respectivo.

No caso das funções de afilamento o desempenho de cada função foi avaliado em termos da predição dos diâmetros e volumes de cada tora. O volume de cada tora obteve-se com a função de afilamento integrada.

Desenvolveu-se um procedimento para ajustar as funções no lineares, onde minimizou-se o erro quadrático da função em análise, utilizando o complemento de otimização não linear “Solver.xla” disponível no Microsoft Excel.

Para dar maior flexibilidade de análise ao simulador SALICA foram programadas as melhores cinco funções de cada tipo, com exceção das funções de crescimento, onde foram programadas as funções obtidas no respectivo ajuste.

Sim a situação sob análise corresponde à uma previamente analisada pelo simulador SALICA, o usuário manterá os coeficientes das funções utilizadas, caso contrario apresentam-se duas opções segundo as preferências do usuário i) o utente poderá utilizar o módulo de ajuste de funções de SALICA para determinar os novos coeficientes das funções e ii) o utente poderá analisar a informação com algum pacote estatístico comercial de seu agrado, retornar a SALICA e continuar com a simulação.

#### 4.2.2 Estimações pontuais

As funções ajustadas no módulo anterior geram estimações pontuais, fornecendo informação de interesse para os usuário do sistema SALICA. As estimações possíveis de obter são:

- Sortimento: utilizando qualquer das cinco funções de afilamento em conjunto com alguma função hipsométrica inseridas no sistema SALICA e especificando as dimensões de até quatro produtos, é possível conhecer o sortimento de cada talhão descrito no banco de dados das parcelas (ver seção 8.1.4.1 p. 79).
- Prognose de crescimento e produção: as funções de crescimento e produção permitiram fazer uma prognose a nível de povoamento da parcela em análise para uma data em particular (ver seção 8.1.4.2 p. 81).
- Tabelas de povoamento: utilizando alguma das cinco funções de distribuição diamétrica obterá-se a tabela de povoamento da parcela em análise, conhecendo sua estrutura (ver seção 8.1.4.3 p. 84).



- Classificação dos sítios: selecionando alguma função de índice de sítio o usuário poderá classificar estes em três ou cinco classes, considerando uma amplitude constante ou uma amplitude variável em termos dos percentis ou desvios dos índices de sítios. Em todos os casos as curvas geradas serão anamórficas (ver seção 8.1.4.4 p. 85).
- Cubagem: as funções de volume disponíveis permitem cubar cada talhão descrito no banco de dados das parcelas, considerando a função hipsométrica de preferencia do usuário (ver seção 8.1.4.5 p. 88).

#### 4.2.3 Simulação

O submódulo de ajuste de funções de crescimento e produção fornece informação a nível de povoamento. No submódulo de simulação gera-se informação a nível de classe diamétrica considerando o método de recuperação de parâmetros das cinco distribuições disponíveis ajustadas pelo método dos momentos. De modo que adicionalmente à estimação do diâmetro promédio, área basal e volume incorporou-se o ajuste do diâmetro mínimo, diâmetro máximo e variância dos diâmetros.

O método dos momentos requer a estimativa do diâmetro promédio e da variância dos diâmetros, no entanto foram inseridas as outras variáveis descritas anteriormente para aperfeiçoar a prognose por classe diamétrica.

Definindo uma amplitude de classe diamétrica a estimativa do diâmetro mínimo e máximo estabeleceram os limites da prognose. Somente a distribuição Beta distribui nos limites da prognose a totalidade das árvores consideradas, o resto das funções geram estimativas além dos limites. Na prognose de povoamentos onde a densidade não sofre alterações como é o caso da presente pesquisa este fato dificulta a estimativa do crescimento e produção, de modo que foi inserido no sistema SALICA a opção de otimizar a prognose, permitindo que as estimações por classes diamétricas

sejam coincidentes com as estimações a nível de povoamento.

#### 4.3 MÓDULO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA

O autor da presente pesquisa não conseguiu a informação de despesa e receitas associadas ao banco de dados das parcelas, de modo que foram analisados os oito esquemas de manejo expostos por LOEWE *et al.* (1997) para distintas regiões no Chile, com a intenção de testar o funcionamento do módulo de avaliação econômica – financeira do SALICA neste sentido (ver seção 8.1.2 p. 61).

Uma breve descrição dos oito esquemas de manejo apresenta-se na Tabela 2, em tanto o detalhe de receitas e despesas por hectare e ano de cada esquema podem ser conferidos na Tabela 41 p. 108 até Tabela 48 p. 113. A totalidade dos esquemas consideram custos e preços prováveis, a plantação considera um espaçamento de 6x6 m. As altura de poda são: 1<sup>a</sup> poda 1,5 m; 2<sup>a</sup> poda 2,0 m; 3<sup>a</sup> poda 4,0 m; 4<sup>a</sup> poda 6 m e 5<sup>a</sup> poda 7,5 m. A avaliação utilizou uma taxa de juros de dez por cento ao ano.

TABELA 2 - DESCRIÇÃO BREVE DOS ESQUEMAS DE MANEJO DESCRITOS POR LOEWE *et al.* (1997)

Esquema	Descrição
Po10 VI R	Esquema aplicável na VI região do Chile, idade de rotação 10 anos. Com 1 rego por mês desde outubro a março. Controle mecânico das malezas.
Po12 VII R	Esquema aplicável na VII região do Chile, idade de rotação 12 anos. Com 1 rego por mês desde outubro a março. Controle mecânico das malezas.
Po12 VII Rcu	Esquema aplicável na VII região do Chile, idade de rotação 12 anos. Com 1 rego por mês desde outubro a março. Os dois primeiros anos o controle de malezas é manual e posteriormente mecânico. Junto com a plantação semeia-se batata açucareira, no primeiro ano semeia-se milho.
Po12 VII Rga	Esquema aplicável na VII região do Chile, idade de rotação 12 anos, com 1 rego por mês desde outubro a março. Controle de malezas mecânico. Desde a plantação até os dez anos apresenta-se manejo do gado bovino.

TABELA 2 - DESCRIÇÃO BREVE DOS ESQUEMAS DE MANEJO DESCRITOS POR LOEWE *et al.* (1997)

Esquema	Conclusão Descrição
Po12 VII Rcuga	Esquema aplicável na VII região do Chile, idade de rotação 12 anos. Com 1 rego por mês desde outubro a março. Os dois primeiros anos o controle de malezas é manual e posteriormente mecânico. Junto com a plantação semeia-se batata açucareira, no primeiro ano semeia-se milho. Desde o terceiro até os dez anos apresenta-se manejo de gado bovino.
Po14 VIII R	Esquema aplicável na VIII região do Chile, idade de rotação 14 anos. Com 1 rego por mês desde outubro a março. Controle mecânico das malezas.
Po16 IX SR	Esquema aplicável na IX região do Chile, idade de rotação 16 anos. Sem rego. Controle químico das malezas.
Po16 X SR	Esquema aplicável na X região do Chile, idade de rotação 16 anos. Sem rego. Controle químico das malezas.

Além do cálculo do Valor Esperado da Terra é possível obter outros indicadores econômicos – financeiros tais como: Razão Benefício / Custo, Valor Presente Líquido, Valor Uniforme Líquido e Taxa Interna de Retorno, cuja formulação apresenta-se na Tabela 40 p. 107.

Como foi discutido na seção 3.3 o Valor Esperado da Terra é o indicador econômico – financeiro que deveria ser usado sim o usuário tem um patrimônio estável no tempo, ou seja dedica-se ao cultivo de *Populus* como é o caso da empresa “CAF El Álamo” fornecedora dos dados da presente pesquisa. Os outros indicadores foram inseridos no sistema SALICA para auxiliar a potenciais produtores na toma de decisão de iniciar a atividade de cultivo de *Populus*.

## 5 RESULTADOS

Na Tabela 3 apresenta-se uma descrição dos talhões utilizados na presente pesquisa, em função dos incrementos médios anuais tanto em Dap como em H.

TABELA 3 - DESCRIÇÃO DOS INCREMENTOS MÉDIOS ANUAIS DOS TALHÕES AVALIADOS NA PRESENTE PESQUISA

Híbrido Talhão	Incremento médio anual do Dap (4 até 13 anos)										Incremento médio anual da H (4 até 13 anos)									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I-488	32			3,3	3,0	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2				3,2	3,1	2,9	2,7	2,5	2,4	2,3
	41		3,5	3,3	3,1	2,8	2,6	2,4					3,6	3,2	3,1	2,8	2,6	2,5		
	72	3,6	3,2	3,0	2,8	2,6	2,5	2,2					3,7	3,4	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	
	91	3,9	3,6	3,4	3,2	2,9	2,7	2,5					3,7	3,6	3,2	3,1	2,9	2,7	2,6	
	93	4,1	3,6	3,5	3,3	3,0	2,7	2,8					4,1	3,9	3,5	3,4	3,1	2,9	3,0	
	94		3,7	3,4	3,2	3,0	2,7	2,5	2,4				3,3	3,5	3,3	3,1	2,8	2,8	2,6	
	101	3,6	3,5	3,3	2,9	2,8	2,6	2,4					3,6	3,4	3,0	3,1	2,8	2,7	2,5	
	231						2,7	2,6	2,5								2,7	2,8	2,6	
	281					2,8	2,7	2,6	2,6	2,4						2,9	3,0	2,9	2,9	2,7
	292			3,2	3,0	2,9	2,8	2,6							3,0	3,0	2,8	2,7	2,6	
I-63/51	141	4,9	4,4	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0					4,1	3,8	3,4	3,2	3,0	2,8	2,7	
	152		4,3	4,0	3,7	3,5	3,2	3,0	2,8					3,6	3,5	3,3	3,1	2,8	2,7	2,5
	171	5,0	4,8	4,4	4,0	3,7	3,4	3,3					4,0	3,9	3,8	3,5	3,2	3,0	2,9	
	251			3,8	3,6	3,4	3,2	3,1	2,9					3,3	3,1	3,0	2,8	2,8	2,6	
	253			3,6	3,4		3,0	2,8						3,0	2,9		2,6	2,4		
	282	2,5	2,5	2,7	2,9	2,9	2,9	2,9					1,6	1,8	2,1	2,4	2,5	2,5	2,6	
	352	4,4	4,3	4,1	3,8	3,5	3,2	3,0					3,4	3,5	3,4	3,2	3,0	2,7	2,6	
	371			3,9	3,8	3,5	3,3	3,1						3,4	3,3	3,1	2,9	2,8		
	382					3,2	3,0	2,9	2,7	2,6						2,8	2,7	2,5	2,4	2,3
	472					3,5	3,2	3,0	2,9							3,0	2,8	2,7	2,6	

Fica difícil comparar a informação da Tabela 3, de modo que utilizando a idade de referencia para obter o índice de sítio (dez anos) e as médias dos incrementos é possível estabelecer uma comparação. Em promédio aos dez anos os talhões do híbrido I-488 apresentam um Dap de 26,8 cm e uma altura de 27,3 m; em tanto o híbrido I-63/51 apresenta um Dap de 31,3 cm e uma altura de 27,5 m, ou seja, em termos gerais o híbrido I-63/51 apresenta um desenvolvimento maior que o híbrido I-488. Isto confirma lho expressado por LOEWE *et al.* (1997) em relação à diferença volumétrica entre os híbridos (ver seção 3.2.5).

## 5.1 BANCO DE DADOS RELACIONAIS

As seis tabelas desenvolvidas para o banco de dados das parcelas, junto com suas relações apresenta-se na Figura 1. Para ingressar a informação das parcelas (Tabela Medições) é preciso que o usuário do SALICA descreva com antecipação o Projeto, Híbrido, Talhão, Parcela e datas de medição (Tabelas com o mesmo nome).

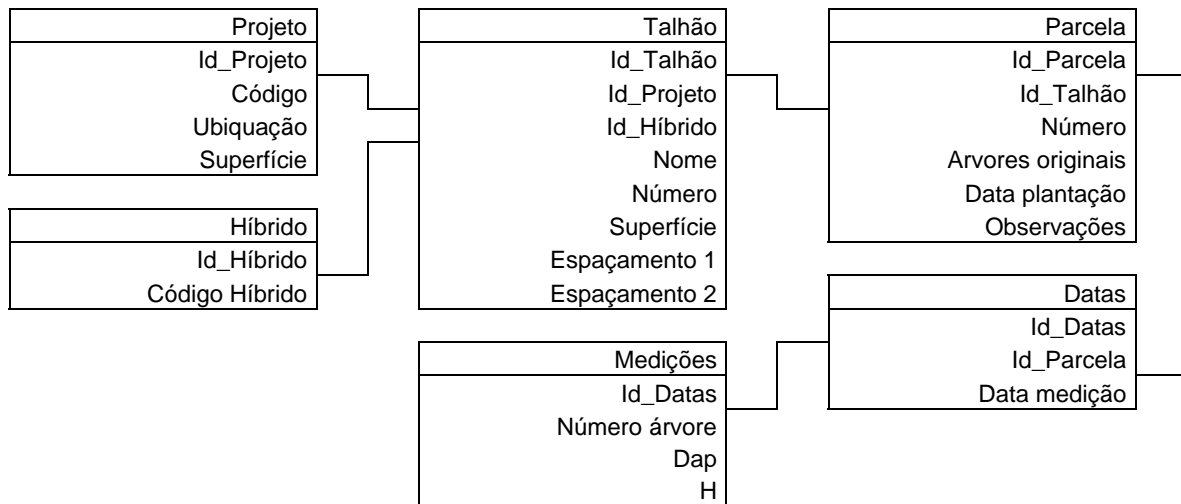


FIGURA 1- ARQUITETURA DO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS (TABELAS DESENVOLVIDAS E SUAS RELAÇÕES)

Na Tabela 4 descreve-se os campos que o banco de dados das parcelas utiliza. O leitor encontrará no apêndice seção 8.1.3.2 p. 73 a descrição da utilização do banco de dados de parcelas no sistema SALICA.

TABELA 4- DESCRIÇÃO DOS CAMPOS UTILIZADOS NO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS

Tabela	Campo	Tipo	Tamanho	Descrição
Projeto	Id_Projeto	AN	4	Identificador do Projeto*
	Código	T	8	Código do projeto em análise
	Ubiquação	T	30	Ubiquação geográfica do Projeto
	Superfície	N	8	Superfície do Projeto, em hectare
Híbrido	Id_Híbrido	AN	4	Identificador do Híbrido*
	Código Híbrido	T	8	Código do Híbrido
Talhão	Id_Talhão	AN	4	Identificador do Talhão*
	Id_Projeto	NI	4	Identificador do Projeto
	Id_Híbrido	NI	4	Identificador do Híbrido
	Nome	T	12	Nome do Talhão
	Número	NI	4	Cifra de identificação do talhão

Continua

TABELA 4- DESCRIÇÃO DOS CAMPOS UTILIZADOS NO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS

Tabela	Campo	Tipo	Tamanho	Conclusão Descrição
Talhão	Superfície	N	8	Superfície do Talhão, em hectares
	Espaçamento 1	NI	3	Espaçamento entre fileiras, em decímetros
	Espaçamento 2	NI	3	Espaçamento dentro das fileiras, em decímetros
Parcela	Id_Parcela	AN	4	Identificador da Parcela*
	Id_Talhão	NI	4	Identificador do Talhão
	Número	NI	4	Cifra de identificação da parcela
	Árvores originais	NI	3	Número de árvores originais
	Data plantação	D	10	Data quando efetuou-se a plantação
	Observações	T	30	Observações gerais sobre a Parcela
Datas	Id_Datas	AN	3	Identificador da data de medição*
	Id_Parcela	NI	4	Identificador da Parcela
	Data medição	D	10	Data da medição da Parcela
Medições	Id_Datas	NI	3	Identificador da data de medição*
	Número árvore	NI	3	Cifra de identificação da árvore
	DAP	NI	3	Diâmetro da árvore, em milímetros
	H	NI	3	Altura total da árvore, em decímetros
* Índice primário	AN = Auto numeração	NI = Numeração inteira	N = Numeração simples	D = Data T = Texto

As seis tabelas desenvolvidas para o banco de dados de análise de tronco e suas relações apresentam-se na Figura 2. Ao igual que o banco de dados das parcelas é preciso seguir uma seqüência no ingresso da informação. Por exemplo para ingressar os raios de cada anel (Tabela anéis) o usuário deverá descrever o Projeto, Híbrido, Talhão, Árvore e Fatia (Tabelas com o mesmo nome).

Na Tabela 5, apresenta-se os campos requeridos pelo banco de dados de análise de tronco. O leitor encontrará no apêndice seção 8.1.3.1 p. 67 a descrição da utilização do banco de dados de análise de tronco no sistema SALICA.

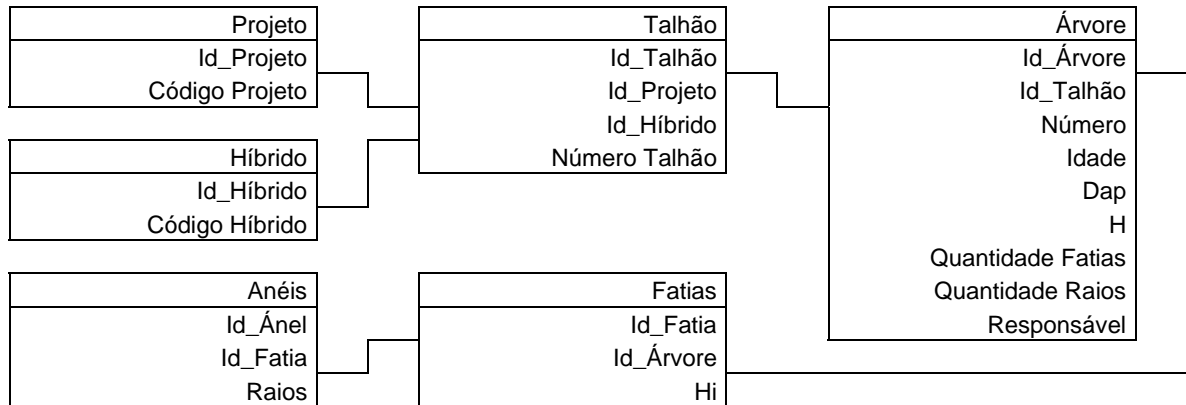


FIGURA 2- ARQUITETURA DO BANCO DE DADOS DE ANÁLISE DE TRONCO (TABELAS DESENVOLVIDAS E SUAS RELAÇÕES)

TABELA 5- DESCRIÇÃO DOS CAMPOS UTILIZADOS NO BANCO DE DADOS DE ANÁLISE DE TRONCO

Tabela	Campo	Tipo	Tamanho	Descrição
Projeto	Id_Projeto	AN	4	Identificador do Projeto*
	Código Projeto	T	8	Código do projeto em análise
Híbrido	Id_Híbrido	AN	4	Identificador do Híbrido*
	Código Híbrido	T	8	Código do Híbrido
Talhão	Id_Talhão	AN	4	Identificador do Talhão*
	Id_Projeto	NI	4	Identificador do Projeto
	Id_Híbrido	NI	4	Identificador do Híbrido
	Número Talhão	NI	4	Cifra de identificação do talhão
Árvore	Id_Árvore	AN	4	Identificador da Árvore*
	Id_Talhão	NI	4	Identificador do Híbrido
	Número	NI	4	Cifra de identificação da árvore
	Idade	NI	3	Idade em meses da árvore
	Dap	NI	3	Dap da árvore, em milímetros
	H	NI	3	Altura total da árvore, em decímetros
	Quantidade fatias	NI	2	Quantidade de fatias extraídas de cada árvore
	Quantidade raios	NI	2	Quantidade de raios medidos em cada anel
Responsável	T	8	Identificação do responsável das medições	
Fatias	Id_Fatia	NI	2	Identificador da fatia*
	Id_Árvore	NI	4	Identificador da árvore
	Hi	NI	3	Altura de extração das fatias, em decímetros
Anéis	Id_Ánel	NI	3	Identificador dos anéis de cada fatia*
	Id_Fatia	NI	2	Identificador da fatias
	Raios	NI	3	Raio em milímetros de cada anel

\* Índice primário      AN = Auto numeração      NI = Numeração inteira      T = Texto

Ambos bancos de dados relacionais cumprem com os requerimentos dos potenciais usuários, no entanto a dimensão das pastas de EXCEL limitam a quantidade

de informação capaz de ser processada, de modo esta terá que ser subdividida por talhão quando seja necessário.

## 5.2 FUNÇÕES DE AFILAMENTO

O resumo da avaliação do desempenho das funções de afilamento de ambos híbridos tanto em diâmetro como do volume da cada tora, apresenta-se na Tabela 6. No apêndice (Tabela 28 p. 92 e Tabela 29 p. 93) apresenta-se em detalhe sua avaliação.

TABELA 6 - AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Função	Ranking I-488	Ranking I-63/51	Ranking Ponderado
1	5,0	5,0	5,0
2	1,0	3,0	2,0
3	12,0	11,0	12,0
4	7,0	8,0	8,0
5	6,0	7,0	7,0
6	3,0	4,0	3,0
7	2,0	1,0	1,0
8	10,0	13,0	11,0
9	13,0	14,0	14,0
10	14,0	12,0	13,0
11	8,0	2,0	6,0
12	4,0	6,0	4,0
13	9,0	10,0	10,0
14	11,0	9,0	9,0
15	15,0	15,0	15,0

Ao analisar a Tabela 6 pode-se indicar que os modelos em termos gerais apresentam similar desempenho em ambos híbridos, ou seja apresentam mas o menos o mesmo ranking. Os primeiros cinco modelos do ranking ponderado foram incluídos no sistema SALICA.

Para o híbrido I-488 a função dois apresentou o melhor desempenho. A expressão [2] corresponde à função de afilamento com seus coeficientes. Todos os estatísticos apresentados foram altamente significativos ( $P < 0,01$ ). A integração da



função permite obter o volume das toras ou da árvore completa segundo os limites de integração especificados pelo usuário (expressão[3]).

$$d_i = b_1 D_{ap} x + b_2 h (h - h_i) (h - 1,3) + b_3 (h - h_i) (h - 1,3) (h + h_i + 1,3) \quad [2]$$

$$b_1 = 0,88583937$$

$$b_2 = -0,0003167$$

$$b_3 = 0,0003998$$

$$\text{Valor F} = 188209,4$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 98,83$$

$$\text{Erro quadrático} = 1,52 \text{ cm}$$

$$V = \frac{\pi}{40000} \int_{h_1}^{h_2} (\text{Expressão}[2])^2 = \frac{\pi}{40000} \left( \frac{1}{5} b_3^2 (h - 1,3)^2 h_i^5 - \frac{1}{2} \%2 b_3 (h - 1,3) h_i^4 + \%1 \%2 h_i^2 + \%1^2 h_i \right. \\ \left. + \frac{1}{3} (-2 \%1 b_3 (h - 1,3) + \%2^2) h_i^3 \right) \Bigg|_{h_1}^{h_2} \quad [3]$$

$$\%1 = \frac{b_1 D_{ap} h}{h - 1,3} + b_2 h^2 (h - 1,3) + b_3 h (h - 1,3) (h + 1,3)$$

$$\%2 = -\frac{b_1 D_{ap}}{h - 1,3} - b_2 h (h - 1,3) + b_3 h (h - 1,3) - b_3 (h - 1,3) (h + 1,3)$$

Para o híbrido I-63/51 a função sete, apresentou o melhor desempenho. Na expressão [4] apresenta-se a função com seus coeficientes, onde todos os estatísticos foram altamente significativos ( $P > 0,01$ ). Na expressão [5] apresenta-se a integração da função sete.

$$d_i = b_1 D_{ap} b_2^2 D_{ap} \left[ \frac{1 - \sqrt{z}}{1 - \sqrt{0,20}} \right] \left( b_4 z^2 + b_5 \ln(z + 0,001) + b_6 \sqrt{z} + b_7 e^{(z)} + b_8 \frac{D_{ap}}{h} \right) \quad [4]$$

$$b_1 = 0,27546$$

$$b_2 = 1,37553$$

$$b_3 = 0,99150$$

$$b_4 = -0,43618$$

$$b_5 = -0,12696$$

$$b_6 = 1,08365$$

$$b_7 = 0,07840$$

$$b_8 = -0,19842$$

$$\text{Valor F} = 35094,22$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 97,15$$

$$\text{Erro quadrático} = 1,70 \text{ cm}$$

$$V = \frac{\pi}{40000} \int_{h_1}^{h_2} (\text{Expressão}[4])^2 = \frac{\pi}{40000} \left[ b_1^2 D_{ap}^2 b_2^2 D_{ap}^2 \left[ \frac{1 - \sqrt{z}}{1 - \sqrt{0,20}} \right] \left( 2 \left( b_4 z^2 + b_5 \ln(z + 0,001) + b_6 \sqrt{z} + b_7 e^{(z)} + b_8 \frac{D_{ap}}{h} \right) \right) \right. \\ \left. \text{Hypergeom} \left( \left[ 2, -2 \left( b_4 z^2 + b_5 \ln(z + 0,001) + b_6 \sqrt{z} + b_7 e^{(z)} + b_8 \frac{D_{ap}}{h} \right) \right], [3], \sqrt{z} \right) \right] \Bigg|_{h_1}^{h_2} \quad [5]$$

Cada função foi validada utilizando a amostra de validação do híbrido respectivo. Na Tabela 7 apresenta-se o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov, onde verifica-se que as funções de afilamento estimam satisfatoriamente o diâmetro e volume das toras dos respectivos híbridos ( $P > 0,05$ ), no entanto, a estimação dos diâmetro é mais acurada que as estimações dos volumes, já que os valores de “dn” são inferiores.

TABELA 7 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Híbrido	“dn” Diâmetro	“dn” Volume
I-488	0,0836 <sup>ns</sup>	0,0932 <sup>ns</sup>
I-63/51	0,0761 <sup>ns</sup>	0,0870 <sup>ns</sup>

Nota: <sup>ns</sup> = Diferencias estatísticas não significativas ( $P > 0,05$ )

### 5.3 FUNÇÕES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Três classes foram utilizadas para classificar os sítios. A classe 1 conteve os sítios com índice de sítio superiores ao percentil 67 (28,27 e 28,69 metros para o híbrido I-488 e híbrido I-63/51, respectivamente). A classe 3 conteve os sítios com índice de sítio inferiores ao percentil 33 (26,57 e 27,42 metros para o híbrido I-488 e híbrido I-63/51, respectivamente). A classe 2 conteve os sítios entre os percentis antes mencionados.

Na Tabela 8 apresenta-se as matrizes de correlação segundo classe de sítio e híbrido, das variáveis que descrevem o povoamento, ou seja idade, altura dominante, diâmetro promédio, área basal e volume.

Ao analisar a Tabela 8 comprova-se que as correlações são altamente significativas em todos os casos, com valores que flutuam entre 0,883 e 0,997, com o qual é factível desenvolver funções de crescimento para cada variável de maneira independente, ou seja relacionar cada variável à idade aplicando funções previamente

descritas. No entanto, este procedimento poderia gerar incompatibilidades em alguns casos, de modo que preferiu-se gerar um sistema interrelacionado de funções que assegurassem a confiabilidade da prognose.

TABELA 8 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS DO POVOAMENTO SEGUNDO CLASSE DE SÍTIO E HÍBRIDO

	Classe de sítio 1, Híbrido I-488					Classe de sítio 1, Híbrido I-63/51				
	Idade	Hdom	Dprom	G	V	Idade	Hdom	Dprom	G	V
Idade	1,000					1,000				
Hdom	0,982	1,000				0,966	1,000			
Dprom	0,966	0,968	1,000			0,902	0,908	1,000		
G	0,961	0,961	0,979	1,000		0,883	0,828	0,973	1,000	
V	0,956	0,950	0,966	0,997	1,000	0,891	0,839	0,970	0,989	1,000

	Classe de sítio 2, Híbrido I-488					Classe de sítio 2, Híbrido I-63/51				
	Idade	Hdom	Dprom	G	V	Idade	Hdom	Dprom	G	V
Idade	1,000					1,000				
Hdom	0,989	1,000				0,989	1,000			
Dprom	0,935	0,946	1,000			0,908	0,929	1,000		
G	0,903	0,910	0,977	1,000		0,901	0,908	0,968	1,000	
V	0,908	0,908	0,966	0,996	1,000	0,895	0,895	0,963	0,993	1,000

	Classe de sítio 3, Híbrido I-488					Classe de sítio 3, Híbrido I-63/51				
	Idade	Hdom	Dprom	G	V	Idade	Hdom	Dprom	G	V
Idade	1,000					1,000				
Hdom	0,973	1,000				0,985	1,000			
Dprom	0,932	0,964	1,000			0,906	0,940	1,000		
G	0,925	0,950	0,984	1,000		0,947	0,955	0,969	1,000	
V	0,917	0,934	0,964	0,993	1,000	0,955	0,956	0,952	0,989	1,000

O sistema considera como ponto de partida a significativa correlação entre altura dominante e idade (entre 0,966 e 0,989) expressada através da função de índice de sítio. Em seguida a alta correlação entre a altura dominante e o diâmetro médio (entre 0,908 e 0,968) gerou uma função estimativa deste diâmetro. Posteriormente a elevada correlação do diâmetro médio e a área basal (entre 0,968 e 0,984) gerou uma função para o área basal. Afinal obtêm-se o volume em função da área basal, considerando a altíssima correlação entre estas variáveis (entre 0,989 e 0,997).

TABELA 9 - FUNÇÕES DO POVOAMENTO AJUSTADAS

Híbrido	Função	F	R <sup>2</sup> ajustado	Erro padrão
I-488	Dprom = 5,6789 + 0,0025592 Hn I <sub>1</sub> + 0,0027001 Hn I <sub>2</sub> + 0,0026426 Hn I <sub>3</sub>	636,6	0,897	1,30 cm
	G = 0,03273 + 7,8638E-5 D2n I <sub>1</sub> + 7,8625E-5 D2n I <sub>2</sub> + 7,8636E-5 D2n I <sub>3</sub>	1,6E6	0,999	0,03 m <sup>2</sup> /ha
	V = -2,45395 + 0,390955 G HDom	1,4E4	0,987	7,66 m <sup>3</sup> /ha
I-63/51	Dprom = 13,502 + 0,0021847 Hn I <sub>1</sub> + 0,002199 Hn I <sub>2</sub> + 0,0020966 Hn I <sub>3</sub>	232,1	0,805	1,70 cm
	G = 0,0191277 + 7,8596E-5 D2n I <sub>1</sub> + 7,8692E-5 D2n I <sub>2</sub> + 7,8698E-5 D2n I <sub>3</sub>	1,1E6	0,999	0,03 m <sup>2</sup> /ha
	V = -6,94089 + 0,260853 G HDom	5,7E3	0,971	9,92 m <sup>3</sup> /ha
I <sub>1</sub> = Classe sítio 1 (1 ou 0) Hn = Hdom n	I <sub>2</sub> = Classe sítio 2 (1 ou 0) D2n = Dprom <sup>2</sup> n	I <sub>3</sub> = Classe sítio 3 (1 ou 0)		

Para testar a validade das funções descritas na Tabela 9, utilizou-se a amostra de validação. Na Tabela 10 apresenta-se o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov das funções de crescimento e produção do povoamento, onde é possível observar que todas as funções foram válidas, de modo que podem ser utilizadas na prognose de crescimento e produção.

TABELA 10 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO POVOAMENTO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Variável	"dn" híbrido I-488	"dn" híbrido I-63/51
Diâmetro médio (Dprom)	0,2500 <sup>ns</sup>	0,2381 <sup>ns</sup>
Área basal (G)	0,2500 <sup>ns</sup>	0,1905 <sup>ns</sup>
Volume (V)	0,2080 <sup>ns</sup>	0,1905 <sup>ns</sup>
Nota: <sup>ns</sup> =	Diferencias estatísticas não significativas (P>0,05)	

#### 5.4 DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Na Tabela 11 observa-se o resultado do teste de Levene e análise de variância da variável "dn" para cada grupo de distribuições. Em ambos híbridos a hipóteses de homogeneidade de variância foi aceita em todos os grupos, de modo que é possível desenvolver o análise de variância.

TABELA 11 - TESTE DE LEVENE E ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL “dn” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES

Grupo	Levene I-488	Valor F I-488	Levene I-63/51	Valor F I-63/51
1	0,074 <sup>ns</sup>	2,00 <sup>ns</sup>	0,255 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>
2	0,028 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
3	1,329 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,058 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>
4	1,598 <sup>ns</sup>	74,10 <sup>**</sup>	1,592 <sup>ns</sup>	67,53 <sup>**</sup>
5	1,594 <sup>ns</sup>	42,61 <sup>**</sup>	1,588 <sup>ns</sup>	22,68 <sup>**</sup>

Nota: \*\* = Diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0,01$ )  
 \* = Diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0,05$ )  
 ns = Diferencias estadísticas não significativas ( $P > 0,05$ )

Para ambos híbridos nos primeiros três grupos de distribuições, os métodos de ajustes avaliados não apresentam diferenças estatísticas significativas entre si, de modo que as estimações podem ser feitas com qualquer método de ajuste da distribuição respectiva. Nos grupos 4 e 5 houve diferenças estatísticas entre os métodos de ajuste de cada grupo, por tanto existem métodos com maior grau de exatidão para representar a estrutura do povoamento. Na Tabela 12 apresenta-se o teste SNK de comparações múltiplas para os cinco grupos de ambos híbridos, onde é possível observar a magnitude dos valores “dn” médios.

TABELA 12 - TESTE SNK DA VARIÁVEL “dn” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES

Híbrido	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5						
I-488	B1	0,159	A	G1	0,161	A	LogN	0,167	A	SB1	0,155	A	W2p1	0,161	C
	B2	0,166	A	G2	0,161	A	N	0,164	A	SB2	0,154	A	W2p2	0,164	C
										SB3	0,141	A	W2p2'	0,144	B
										SB4	0,255	B	W2p3	0,170	C
										SB5	0,159	A	W3p1	0,132	A
									W3p2	0,135	A				
I-63/51	B1	0,142	A	G1	0,152	A	LogN	0,160	A	SB1	0,156	A	W2p1	0,156	C
	B2	0,146	A	G2	0,154	A	N	0,157	A	SB2	0,152	A	W2p2	0,154	C
										SB3	0,142	A	W2p2'	0,145	B
										SB4	0,253	B	W2p3	0,162	C
										SB5	0,154	A	W3p1	0,134	A

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade; teste de médias SNK

De acordo ao resultado do análise de variância (Tabela 11), os métodos de ajuste dos três primeiros grupos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, lho qual é corroborado pela Tabela 12. Para o híbrido I-488 os valores de “dn” médios para os três primeiros grupos flutuam em torno de 0,163; em tanto, para o híbrido I-6351 os valores foram levemente inferiores do ordem de 0,151.

O grupo 4 representado pelos métodos de ajuste da distribuição  $S_B$  de Johnson apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Em ambos híbridos o pior desempenho foi apresentado pelo método da moda (SB4) com um valor médio de “dn” de 0,255. ZOU e McTAGUE (1996) também indicaram que este método de ajuste teve um pobre desempenho na sua pesquisa. Em contraposição TABAI (1999) determinou que este método é um dos mais indicados para a prognose de produção. O melhor método avaliado por ZOU e McTAGUE (1996) e TABAI (1999) foi o método da regressão linear (SB5), que na presente pesquisa compartiu o primeiro lugar em ambos híbridos. Dos métodos que compartilhem a primeira posição o método de Knoebel - Burkhart apresenta maior destaque.

Na situação menos favorável o ajuste otimizado da distribuição Weibull de três parâmetros coincidirá com o ajuste da Weibull de dois parâmetros, quando o parâmetro “a” seja zero, no resto dos casos apresentara-se uma maior exatidão no ajuste. Observa-se na Tabela 12 (grupo 5) que para ambos híbridos o ajuste de três parâmetros supera amplamente ao de dois em todos os métodos de ajuste, constituindo-se uma prova numérica que a metodologia proposta por VALLEJOS *et al.* (b, no prelo) assegura o melhor ajuste possível.

O método dos momentos recebeu qualificação “A” em todos os grupos avaliados, de modo que este método de ajuste foi programado no sistema SALICA a fim de padronizar a simulação que utiliza o método de recuperação de parâmetros.

Ajustou-se cada distribuição à amostra de validação para conferir a semelhança entre o ajuste das distribuições. Na Tabela 13 apresenta-se o teste de Levene e o teste de variância. O teste de Levene para ambos híbridos não comprovou diferenças estatísticas nas variâncias das distribuições ( $P > 0,05$ ), de modo que foi possível fazer o análise de variância da variável “dn” do teste de Kolmogorov-Smirnov, onde constatou-se que as distribuições apresentaram diferenças entre si.

TABELA 13 - TESTE DE LEVENE E ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL “dn” SEGUNDO HÍBRIDO NA AMOSTRA DE VALIDAÇÃO

	Híbrido	Levene	Valor F
	I-488	0,686 <sup>ns</sup>	3,37*
	I-63/51	0,930 <sup>ns</sup>	4,37*

Nota: \* = Diferencias estatísticas significativas ( $P \leq 0,05$ )  
 ns = Diferencias estatísticas não significativas ( $P > 0,05$ )

O teste SNK (Tabela 14) da amostra de validação mostrou que a distribuição Weibull 3P estima de melhor forma a estrutura dos povoamento de *Populus*.

TABELA 14 - TESTE SNK DA VARIÁVEL “dn” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES

Distribuição	dn I -488		dn I-63/51	
Beta	0,174	AB	0,139	AB
Gamma	0,176	AB	0,139	AB
Normal	0,179	AB	0,152	AB
SB de Johnson	0,201	B	0,167	B
Weibull 3P	0,152	A	0,123	A

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade; teste de medias SNK

## 5.5 FUNÇÃO HIPSOMÉTRICA

Ao ajustar-se as funções hipsométricas corroborou-se que o termo quadrático da função seis e oito não foram significativos estatisticamente, originando as funções modificadas seis' e oito' esta última coincidente com a função nove. Na Tabela 15 apresenta-se o resumo da avaliação das funções hipsométricas, o detalhe apresenta-se no apêndice Tabela 30 p. 94.

TABELA 15 - AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS

Função	Ranking I-488	Ranking I-63/51	Ranking Ponderado
1	10,0	10,0	10,0
2	9,0	8,0	9,0
3	7,0	9,0	8,0
4	8,0	7,0	7,0
5	5,0	2,0	4,0
6'	3,0	4,0	3,0
7	1,0	1,0	1,0
8' - 9	2,0	3,0	2,0
10	4,0	5,0	5,0
11	12,5	12,5	12,5
12	12,5	12,5	12,5
13	14,0	14,0	14,0
14	6,0	6,0	6,0
15	11,0	11,0	11,0

As funções hipsométricas apresentaram em geral similar desempenho em ambos híbridos, ou seja apresentam mas o menos o mesmo ranking (Tabela 15). Os primeiros cinco modelos do ranking ponderado foram incluídos no sistema SALICA.

A função hipsométrica sete foi selecionada em ambos híbridos, na expressão [6] apresenta-se o ajuste do híbrido I-488 e na expressão [7] apresenta-se o ajuste do híbrido I-63/51. Em ambos híbridos todos os estatísticos foram altamente significativos ( $P < 0,01$ ).

$$H = b_0 D_{ap}^{b_1} \quad [6]$$

$$b_0 = 1,07964$$

$$b_1 = 0,97905$$

$$\text{Valor } F = 6707,08$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 86,25$$

$$\text{Erro quadrático} = 1,77 \text{ m}$$

$$H = b_0 D_{ap}^{b_1} \quad [7]$$

$$b_0 = 0,4200$$

$$b_1 = 1,21286$$

$$\text{Valor } F = 3817,94$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 81,39$$

$$\text{Erro quadrático} = 2,34 \text{ m}$$

A validação da função sete em ambos híbridos resultou satisfatória (Tabela 16), de modo que dita função estima adequadamente a altura das árvores.



TABELA 16 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES HIPNOMÉTRICAS ,TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

	Híbrido	"dn" Altura
	I-488	0,1008 <sup>ns</sup>
	I-63/51	0,1272 <sup>ns</sup>
Nota: <sup>ns</sup> =	Diferencias estatísticas não significativas (P>0,05)	

## 5.6 FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO

Ao ajustar as funções de índice de sítio, comprovou-se que quatro funções não apresentaram alguns de seus coeficientes de regressão estatisticamente significativos, de modo que foram eliminados gerando funções modificadas das originalmente propostas. O termo quadrático da função cinco não foi significativo, de modo que a função modificada cinco' coincidiu com a função quinze. Na função nove e dez somente a raiz da idade foi significativa, de modo que as funções modificadas nove' e dez' são idênticas. O termo cúbico da função treze não foi significativo, de modo que a função treze' coincidiu com a função doze.

Na Tabela 17 apresenta-se o resumo da avaliação das funções de índice de sítio, no apêndice Tabela 31 p. 95, apresenta-se o detalhe deste avaliação.

TABELA 17 - AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SITIO

Função	Ranking I-488	Ranking I-63/51	Ranking Ponderado
1	9,5	8,0	9,0
2	6,0	4,5	6,0
3	12,0	12,0	12,0
4	8,0	7,0	8,0
5' -15	4,0	6,0	4,0
6	7,0	10,0	10,0
7	5,0	2,0	3,0
8	9,5	3,0	7,0
9' -10'	1,0	4,5	1,0
11	2,0	9,0	5,0
12-13'	3,0	1,0	2,0
14	11,0	11,0	11,0

A diferença das funções anteriores os ranking de algumas funções apresentam valores discordantes entre híbridos. As funções que tiveram um ranking

ponderado até cinco foram incluídas no sistema SALICA.

A função modificada nove que coincidiu com a modificação da função dez apresentou o melhor desempenho no híbrido I-488. No híbrido I-63/51 a função doze que coincidiu com a função treze modificada apresentou foi a mais destacada. Na expressão [8] apresenta-se o ajuste para o híbrido I-488 e na expressão [9] apresenta-se o ajuste do híbrido I-63/51. Em ambos híbridos todos os estatísticos foram altamente significativos ( $P < 0,01$ ).

$$H_{dom} = b_0 + b_1 \sqrt{\text{idade}} \quad [8]$$

$$b_0 = -5,48841$$

$$b_1 = 10,38836$$

$$\text{Valor F} = 1116,96$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 83,66$$

$$\text{Erro quadrático} = 1,843 \text{ m}$$

$$H_{dom} = b_0 e^{\left( b_1 \frac{1}{\text{idade}} + b_2 \left( \frac{1}{\text{idade}} \right)^2 \right)} \quad [9]$$

$$b_0 = 3,99702$$

$$b_1 = -7,31991$$

$$b_2 = 8,18003$$

$$\text{Valor F} = 438,24$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 83,51$$

$$\text{Erro quadrático} = 1,920 \text{ m}$$

As funções de índice de sítio foram validadas com resultados satisfatórios (Tabela 18), de modo que as estimações de altura dominantes das parcelas são acuradas.

TABELA 18 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES E ÍNDICE DE SÍTIO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Híbrido	"dn" HDom
I-488	0,1666 <sup>ns</sup>
I-63/51	0,1429 <sup>ns</sup>

Nota: <sup>ns</sup> = Diferencias estatísticas não significativas ( $P > 0,05$ )

## 5.7 FUNÇÕES DE VOLUME

Ao ajustar as funções comprovou-se que o termo Dap e Dap H da função sete, o termo Dap da função nove, o termo altura da função doze e o termo Dap ao

quadrado da função treze não foram significativos estatisticamente, gerando as funções modificadas sete', nove', doze' e treze' respectivamente. A função sete' coincidiu com a função doze'.

Na Tabela 19 apresenta-se um resumo da avaliação das funções de volume. O detalhe da avaliação apresenta-se no apêndice Tabela 32 p. 96.

TABELA 19 - AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE VOLUME

Função	Ranking I-488	Ranking I-63/51	Ranking Ponderado
1	9,0	7,0	9,0
2	13,0	12,0	13,0
3	11,0	11,0	11,0
4	10,0	9,0	10,0
5	12,0	13,0	12,0
6	14,0	14,0	14,0
7' - 12'	3,0	2,0	3,0
8	2,0	3,0	2,0
9'	6,0	6,0	6,0
10	1,0	1,0	1,0
11	5,0	4,0	5,0
13'	8,0	8,0	7,0
14	7,0	10,0	8,0
15	4,0	5,0	4,0

As funções de volume apresentaram em geral similar desempenho em ambos híbridos, ou seja apresentam mas o menos o mesmo ranking (Tabela 19). Os primeiros cinco modelos do ranking ponderado foram incluídos no sistema SALICA.

Em ambos híbridos a função dez foi selecionada. Na expressão [10] apresenta-se o ajuste do híbrido I-488, em tanto na expressão [11] apresenta-se o ajuste do híbrido I-63/51. Em ambos híbridos todos os estatísticos foram altamente significativos ( $P < 0,01$ ).

$$V = b_0 D a p^{b_1} H^{b_2} \quad [10]$$

$b_0 = 0,0000133$   
Valor F = 64216,1

$b_1 = 2,12833$   
 $R^2$  ajustado = 99,50

$b_2 = 1,12476$   
Erro quadrático = 0,041 m<sup>3</sup>

$$V = b_0 D_{ap}^{b_1} H^{b_2} \quad [11]$$

b0 = 0,0000054  
Valor F = 13671,7

b1 = 2,24829  
R<sup>2</sup> ajustado = 98,64

b2 = 1,21337  
Erro quadrático = 0,056 m<sup>3</sup>

A validação da função sete no híbrido I-488 e função dez no híbrido I-63/51, resultaram satisfatórias (Tabela 20), de modo que as funções estimam adequadamente o volume total das árvores.

TABELA 20 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES VOLUMÉTRICAS, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Híbrido		"dn" Volume
I-488		0,1154 <sup>ns</sup>
I-63/51		0,1429 <sup>ns</sup>

Nota: <sup>ns</sup> = Diferencias estatísticas não significativas (P>0,05)

## 5.8 AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA

Como foi indicado na seção 4.3, não contou-se com informação de receitas e despesas associadas ao banco de dados de parcelas, de modo que processou-se a informação aportada por LOEWE *et al.* (1997) para demonstração do módulo do simulador SALICA (ver seção 8.1.2 p. 61), o leitor não deveria considerar a informação fornecida na Tabela 21 como referencia para a toma de decisões.

TABELA 21 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA DOS REGIMES DE MANEJO EXPOSTOS POR LOEWE *et al.* (1997)

Indicador	Po10 VI r	Po12 VII r	Po12 VII rcu	Po12 VII rga	Po12 VII rcuga	Po14 VIII r	Po16 IX sr	Po16 X sr
Valor presente líquido	6,91E5	4,10E5	3,96E5	7,59E5	1,48E6	1,25E5	1,91E5	1,37E5
Valor uniforme líquido	1,12E5	6,01E4	5,81E4	1,11E5	2,18E5	1,69E4	2,45E4	1,75E4
Razão Benefício/custo	1,68	1,41	1,25	1,39	2,45	1,12	1,25	1,17
Valor esperado da terra	1,22E6	6,45E5	6,22E5	1,21E6	2,38E6	1,70E5	2,53E5	1,76E5
Taxa Interna de Retorno	0,19	0,15	0,14	0,19	0,48	0,11	0,12	0,12

Todos os regimes apresentam indicadores satisfatórios, entanto o esquema de manejo Po12 VII rcuga foi sobressaliente, por lho tanto a associação de *Populus*, cultivos agrícolas e ganadaria seria muito rentável.

A estrutura de custos é idêntica nos esquemas Po10 VI r, Po12 VII r e Po14 VIII r, variando somente a idade de rotação (dez, doze e quatorze anos respectivamente). Como era de esperar o esquema com menor idade apresenta melhores indicadores que seus concorrentes.

## 5.9 MÓDULO DE SIMULAÇÃO

Para simular o crescimento e produção a nível de classe diamétrica, foi adicionado às estimativas acuradas a nível de povoamento (Tabela 10), funções que estimassem o diâmetro mínimo e diâmetro máximo, com o objetivo de definir os limites da prognose.

Na Tabela 22 observa-se a significativa correlação entre o diâmetro promédio e os outros dois diâmetros antes indicados, por lho tanto foram desenvolvidos funções para sua estimação.

TABELA 22 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE DIÂMETROS SEGUNDO CLASSE DE SÍTIO E HÍBRIDO

	Classe de sítio 1, Híbrido I-488			Classe de sítio 1, Híbrido I-63/51		
	Dmin	Dprom	Dmax	Dmin	Dprom	Dmax
Dmin	1,000			1,000		
Dprom	0,908	1,000		0,960	1,000	
Dmax	0,864	0,974	1,000	0,927	0,987	1,000
	Classe de sítio 2, Híbrido I-488			Classe de sítio 2, Híbrido I-63/51		
	Dmin	Dprom	Dmax	Dmin	Dprom	Dmax
Dmin	1,000			1,000		
Dprom	0,903	1,000		0,886	1,000	
Dmax	0,858	0,976	1,000	0,809	0,974	1,000
	Classe de sítio 3, Híbrido I-488			Classe de sítio 3, Híbrido I-63/51		
	Dmin	Dprom	Dmax	Dmin	Dprom	Dmax
Dmin	1,000			1,000		
Dprom	0,958	1,000		0,962	1,000	
Dmax	0,938	0,976	1,000	0,910	0,970	1,000

Outra variável requerida para a estimação a nível de classe diamétrica, considerando o método dos momentos, é a variância dos diâmetros a qual não apresenta uma correlação estatisticamente significativa com as variáveis individuais do povoamento, de modo utilizou-se uma variável composta (diâmetro quadrático menos diâmetro promédio, ambas ao quadrado) para sua estimação.

Na Tabela 23 apresenta-se as funções ajustadas para cada híbrido, onde em cada caso os estatísticos foram altamente significativos ( $P < 0,01$ ).

TABELA 23 - FUNÇÕES AJUSTADAS PARA PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA

Híbrido	Função	F	R <sup>2</sup> ajustado	Erro padrão
I-488	$D_{min} = -2,8424 + 0,99571 D_{prom} I_1 + 0,9943 D_{prom} I_2 + 0,99729 D_{prom} I_3$	466,5	0,865	1,59 cm
	$D_{max} = 1,9946 + 1,02131 D_{prom} I_1 + 1,0165 D_{prom} I_2 + 1,0228 D_{prom} I_3$	1,4E3	0,951	0,93 cm
	$D_{var} = -0,014367 + 1,07515 D_3 I_1 + 1,07394 D_3 I_2 + 1,07769 D_3 I_3$	1,9E5	0,999	0,03
I-63/51	$D_{min} = -2,1435 + 0,99605 D_{prom} I_1 + 0,9597 D_{prom} I_2 + 0,97708 D_{prom} I_3$	394,7	0,875	1,44 cm
	$D_{max} = 0,1550 + 1,05703 D_{prom} I_1 + 1,07613 D_{prom} I_2 + 1,0864 D_{prom} I_3$	1,2E3	0,956	0,87 cm
	$D_{var} = 0,0685252 + 1,01627 D_3 I_1 + 1,05431 D_3 I_2 + 1,04808 D_3 I_3$	2,9E3	0,981	0,25

$I_1$  = Classe sítio 1 (1 ou 0)       $I_2$  = Classe sítio 2 (1 ou 0)       $I_3$  = Classe sítio 3 (1 ou 0)  
 $D_3 = (Dg^2 - D_{prom}^2)$

A validação destas funções utilizando a amostra de validação apresenta-se na Tabela 24, onde confere-se que as estimativas são acuradas.

TABELA 24 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Variável	"dn" híbrido I-488	"dn" híbrido I-63/51
Diâmetro mínimo (Dmin)	0,1667 <sup>ns</sup>	0,2381 <sup>ns</sup>
Diâmetro máximo (Dmax)	0,2500 <sup>ns</sup>	0,2857 <sup>ns</sup>
Variância dos diâmetros (Dvar)	0,4000 <sup>ns</sup>	0,2381 <sup>ns</sup>

Nota: <sup>ns</sup> = Diferencias estatísticas não significativas ( $P > 0,05$ )

A pesar de que todas as funções envolvidas na simulação foram acuradas, a estimativa por classe diamétrica apresentou valores inferiores aos obtidos na estimativa a nível de povoamento.

As causas deste fato radica no próprio agrupamento das árvores em classes, MACHADO e FIGUEIREDO FILHO (2003) indicam que classes com menos de cinco

centímetros os erros são desprezíveis, no entanto existem. E pela utilização das distribuições diamétricas com imposição de limites de prognose (diâmetro mínimo e diâmetro máximo). Das distribuições avaliadas a distribuição Beta é a única que distribui a totalidade das árvores nos limites de prognose. De modo que implementou-se a otimização das distribuições minimizando as diferenças entre as estimativas a nível de povoamento e as de classe diamétrica.

No apêndice seção 8.1.5 p. 89, apresenta-se as múltiplas alternativas que o usuário do sistema SALICA pode escolher para simular, tais como: obter o sortimento das classes diamétricas, mudar a amplitude das classes diamétricas, definir um diâmetro promédio diferente ao estimado pela função respectiva.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O sistema SALICA desenvolvido na presente pesquisa, cumpre com os requerimentos esboçados nos objetivos em termos de armazenamento e análise da informação de povoamentos de *Populus* sp., toda vez que foram criados bancos de dados relacionais interligados aos módulos de quantificação física e quantificação econômica – financeira.

Para a quantificação física do híbrido I-488 foi selecionada a função de afilamento de Bennett e Swindel (1972), a distribuição de Weibull 3P, a função hipsométrica de Stoffells, a função de índice de sítio que incorpora a raiz quadrada da idade, de autoria desconhecida e a função volumétrica de Schumacher.

Para a quantificação física do híbrido I-63/51 foi selecionada a função de afilamento de Kozak (1988), a distribuição de Weibull 3P, a função hipsométrica de Stoffells, a função de índice de sítio que incorpora um polinômio de grau dois da inversa da idade, de autoria desconhecida e a função volumétrica de Schumacher.

Com a intenção de tornar flexível o sistema SALICA foram programadas além das funções antes mencionadas, as cinco mais destacadas de um grupo de quinze funções. Os coeficientes das funções são modificados na medida que novas medições são incorporadas ao banco de dados relacional desenvolvido.

Foi proposto para ambos híbridos um sistema interligado de funções de crescimento e produção que incorpora variáveis Dummy para indicar a qualidade do sítio em análise.

Todas as funções escolhidas foram válidas, toda vez que as estimações na amostra independente de validação foram acuradas.



Utilizou-se ferramentas de otimização para ajustar as distribuições  $S_B$  de Johnson e Weibull 3P, para o ajuste de funções não lineares de afilamento e para o processo de simulação. Os resultados sobressalientes obtidos com a combinação de estatística e otimização vislumbram uma ampla gama de aplicações na área florestal.

A quantificação econômica – financeira de esquemas de manejo de *Populus* no sistema SALICA, permite a incorporação de múltiplas atividades florestais, agrícolas e pecuárias permitindo a toma de decisões por parte dos usuários.

## 7 REFERÊNCIAS

- ALDER, D. **Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. II Predicción del rendimiento.** FAO. FAO Montes 22/2. Roma. 1980. p. 80.
- BARRERA, M. **Modelos de distribución diamétrica para dos variedades de álamo en el valle central de la Séptima Región.** Talca, Chile. 1995. 60 f. Tese (Licenciado em Engenharia Florestal)- Escola de Engenharia Florestal, Faculdade de Recursos Naturais, Universidade de Talca.
- BARRUSSO, A. P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise do tronco.** Curitiba, Brasil. 1977. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)- Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Paraná.
- BAILEY, R.; DELL, T. Quantifying diameter distributions with the Weibull Function. **Forest Sci.** v. 19, n 2. p. 97 – 104. 1973
- BORDERS, B.; SOUTER, R.; BAILEY, R. WARE, K. Percentile based distributions characterize forest stand tables. **For. Sci.** v.33. p. 570 – 576. 1987
- BYRNE, J.; REED, D. Complex compatible taper and volume estimation systems for Red and Loblolly pine. **Forest Sci.** v. 32. n. 2. p. 423 - 443. 1986.
- CAO, Q.; BURKHART, H. A segmented distribution approach for modeling diameter frequency data. **Forest Sci.** v. 30. n. 1. p. 129 – 137. 1984
- CARTER, R.; KLINKA, K. Relationships between growing - season soil water - deficit, mineralizable soil nitrogen and site index of Coastal Douglas Fir. **For. Ecol. Manage.** v. 30. p. 301 - 311. 1990.
- CHACON, I. Edad óptima de corta de un rodal existente. **Ciencia e Investigación Forestal (INFOR-CORFO).** v. 8. n. 1. p. 177 - 188. 1994.
- CHACON, I. Edad óptima de cosecha, una discusión en torno al valor presente neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). **Ciencia e Investigación Forestal (INFOR-CORFO).** v. 9. n. 1. p. 103 - 116. 1995.
- CHANG, S. J. Determination of the optimal rotation age: a theoretical analysis: **For. Ecol. Manage.** v. 8. n. 2. p. 137 - 147. 1984
- CHILE FORESTAL. Seminario “Proyección y Negocio del Álamo”: alternativa para el Agro. **Chile Forestal**, ano XXIII. n. 261. p. 36 - 38. jun., 1998.
- CHILE FORESTAL. Álamo: opción promisoría. **Chile Forestal**, ano XXV. n. 281. p. 42 - 43. out., 2000.
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁLAMO. **¿Qué es la Comisión Nacional del Álamo?**. Disponível em <<http://www.sectorforestal.com/contenidos/cna.asp>> Acesso em: 11 jul. 2002.
- CZAPLEWSKI, R.; MCCLURE, J. Conditioning a segmented stem profile model for two diameter measurements. **Forest Sci.** v. 34. n.2 p. 512 - 522. 1988.

- DANIEL, T.; HELMS, J.; BAKER, F. **Principios de Silvicultura**. McGraw-Hill. 1982. 492 p.
- DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. Third Edition. John Wiley & Sons. 1998. 706 p.
- DYER, M.; BAILEY, R. A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. **Forest Sci.** v. 33. n.1 p. 3 - 13. 1987.
- GIBBONS, J. G.; CHAKRABORTI, S. **Nonparametric Statistical Inference**. Third Edition, Revised and Expanded. Editorial DEKKER, vol 131. New York, 1992. 544 p.
- GLADE, J. E. **Prognose de volume por classes diamétricas para *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden**. Curitiba, Brasil, 1986. 94 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal). Universidade Federal de Paraná.
- GORDON, A. Comparison of compatible polynomial taper equations. **New Zealand J. For. Sc.** v. 13. n. 2. p. 146 - 155. 1983.
- HAFLEY, W.L.; BUFORD, M.A. A bivariate model for growth and yield prediction. **Forest Sci.** Washington, v. 31. n. 1. p. 237-247, mar. 1985.
- HERRERA, R.; ARIAS, M.; BOURKE, M.; ZAMUDIO, F. Determinación de diversidad genética en población clonal de *Populus*: Con la técnica infalible. **Chile Forestal**, ano XXV n.282. p. 46 – 49. nov.; 2000.
- JOHNSON, N. L.; KITCHEN, J. O. Tables to facilitate fitting  $S_B$  curves II: both terminals known. **Biometrika**, Great Britain, v. 58. n. 3. p. 657 - 668. jan., 1971.
- JOHNSON, R.; WICHERN, D. **Applied multivariate statistical analysis**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall International, Inc., 1988. p. 607
- KANGAS, A.; MALTAMO, M. Calibrating predicted diameter distribution with additional information. **Forest. Sci.** v. 46. n. 3. p. 390 – 396. 2000.
- KOEHLER, H. **Sistema computacional de dinâmica para florestas naturais**. Curitiba, Brasil. 2002. 192 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Paraná.
- KNOEBEL, B.C.; BURKHART, H.E. A bivariate distribution approach to modeling forest diameter distributions at two points in time. **Biometrics**, v. 47. p. 241 - 253. 1991.
- KOZAK, A. Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable - exponent taper functions. **Can. J. For. Res.** v. 27. p. 619 - 629. 1997.
- KROENKE, D. M. **Banco de dados: Fundamentos, projeto e implementação**. 6. ed. Tradução de: Luiz Carlos Gabriel Soares e Amir Kurban. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 382 p.
- LEBART, L.; MORINEAU, A.; FÉNELON, J. D. **Tratamiento Estadístico de datos, métodos y programas**. Barcelona – México: Marcombo Boixareau Editores, 1985. 520 p.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. Munchen, BLV. V 2. 1973. 479 p.

LOEWE, V.; TORAL, M.; FERNÁNDEZ, M.; PINEDA, G.; LÓPEZ, C.; URQUIETA, E. **Potencialidad de especies y sitios para una diversificación silvícola nacional: Monografía de Álamo *Populus spp.*** INFOR – CONAF. 1997. 143 p.

MONSERUD, R.; MOODY, U.; BREUER, D. A soil - site study for inland Douglas - fir. **Can. J. For. Res.** v. 20. p. 686 - 695. 1990.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** Curitiba, 2003. 309 p.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais.** Curitiba, 2003. 143 f. Tese (Doutorando em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Paraná.

MORAGA, V.; LATORRE, J.; AEDO, D. Generación de funciones de volumen para álamo empleando variables indicadoras de variedad. In: AEDO, D.; NEUENSCHWANDER, R.; LATORRE, A (Ed.). **Sistemas de Producción Forestal: Análisis, cuantificación y sustentabilidad.** Talca: Universidade de Talca, 1997. p. 223 – 232.

MUHAIWE, CH.; LEMAY, V.; KOZAK, A. Effects of adding tree, stand, and site variables to Kozak's variable - exponent taper equation. **Can. J. For. Res.**, v. 24. p. 252 - 259. 1994.

NELSON, T. Diameter Distribution and Growth of Loblolly pine. **Forest Sci.** V 10. N° 1. p. 105 – 114. 1964

NEWMAN, D. H. **The optimal forest rotation: a discussion and annotated bibliography.** General-Technical-Report - USDA-Forest-Service. SE-48, 1988. 47 p.

NEWNHAM, R. Variable - form taper functions for four Alberta tree species. **Can. J. For. Res.**, v. 22. p. 210 - 223. 1992.

OLIVEIRA, E. B. **Um sistema computadorizado de prognose do crescimento e produção de *Pinus taeda* L., com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo.** Curitiba, 1995. 134 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal)- Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Paraná.

PADRÓ, A. Es primordial apostar por la calidad. **Chile Forestal**, ano XXIV. n. 275. p. 13 - 15. set., 1999.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal.** Serie investigación y educación en desarrollo sostenible. IICA/BMZ/GTZ. San José, Costa Rica. 1997. 586 p.

PROGRAMA DE DESARROLLO Y FOMENTO DEL GÉNERO POPULUS EN CHILE. Disponível em : <<http://www2.utralca.cl/pdfp/>> Acesso em: 11 jul.; 2002.

REYNOLDS, M. Estimating the error in model predictions. **Forest Sci.** v.30 n. 2. p. 454 – 469. 1984.

ROGERS, R.; JHONSON, P. Approaches to modeling natural regeneration in oak-dominated forest. **For. Ecol. Manage.**, v. 106. n. 1. p. 45 - 54. 1998.

SANHUEZA, A. Podemos ser un país de referencia para el álamo y el sauce. **Chile Forestal**, n. 283. p. 42 - 45. jan-feb 2001.

SANQUETTA, C. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal.** Curitiba: FUFEP, 1996. 48 f (Série Didática n° 8).

SCOLFORO, J. R. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *Hondurensis***. Curitiba, 1990. 290 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Paraná.

SCOLFORO, J. R. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE. 1998. 441 p.

SILVA, E.Q. da. **Nova função de densidade de probabilidade aplicável à Ciência Florestal**. Curitiba, 2003. 98 f. Tese (Doutorando em Ciências Florestais)- Universidade Federal de Paraná.

TABAI, F. C. V. **O estudo da acuracidade da distribuição  $S_B$  para representar a estrutura diamétrica de *Pinus taeda*, através de cinco métodos de ajuste**. Lavras, 1999. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal Lavras.

THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. Lavras, 1997. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal Lavras.

TORRUBIANO, C. **Funciones de ahusamiento para *Pinus radiata* (D. Don)**. Valdivia, Chile. 1994. 129 f. Tese (Mestrado em Ciências)- Fac. Ciências Florestais, Escola de Graduados. Universidade Austral de Chile.

UGALDE, L. **El sistema MIRA componente de silvicultura: Manual del usuario**. CATIE. 2001. 140 p.

VALLEJOS, O. **Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. em Costa Rica**. Turrialba, Costa Rica, 1996. 124 f. Tese (Mestrado em Manejo Florestal)- CATIE.

VALLEJOS, O.; ARACENA, P.; FLANDES, A. Funciones de ahusamiento para especies de *Nothofagus* en provincias de la VII Región. In: REUNIÓN INTERNACIONAL: MODELOS Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS APLICADOS A BOSQUES NATURALES, 2000, Valdivia, Chile. **Anais ...** Valdivia: Universidade Austral de Chile - IUFRO, 2000. p. 1- 13.

VALLEJOS, O.; MENDOZA, A.; ROJAS, M. Función de ahusamiento para *Eucalyptus delegatensis* R.T. Baker Hacienda “El Picazo”, VII Región, Chile. In: PRIMER CONGRESO LATINO-AMERICANO IUFRO, EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS FORESTALES, DESAFÍO DEL SIGLO XXI, 1., 1998. Valdivia. **Anais ...** Valdivia: Universidade Austral de Chile, 1998. p. 1 – 11.

VALLEJOS, O.; SANQUETTA, C.; ARCE, J.; MACHADO, S. **Ajuste ótimo da distribuição SB Johnson (proposta metodológica) ?** [2003?]. No prelo.

VALLEJOS, O.; SANQUETTA, C.; ARCE, J.; MACHADO, S. **Ajuste ótimo da distribuição Weibull 3p (proposta metodológica) ?** [2003?]. No prelo.

VANCLAY, J. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forest**. Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

WETHERBE, J.C. **Análise de sistemas para sistemas de informação por computador**. 3. ed. Rio de Janeiro, Campus, 1987. 539 p.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Sci.**, v. 39, n. 3. p. 594 - 616. 1993.

ZHOU, B.; McTAGUE, J. P. Comparison and evaluation of five methods of estimation of the Johnson System parameters. **Can. J. For. Res.**, v. 26. p. 928 - 935. Jan 1996.

## **8 APÊNDICES**

## 8.1 DESCRIÇÃO DO SIMULADOR SALICA

O Simulador SALICA esta estruturado em cinco módulos interrelacionados entre sim (Figura 3), programados em *Visual Basic Applications* (VBA for EXCEL), os quais em ordem alfabético são:

- Módulo de ajuste de funções
- Módulo de avaliação econômica – financeira
- Módulo de banco de dados
- Módulo de estimações pontuais
- Módulo de simulação

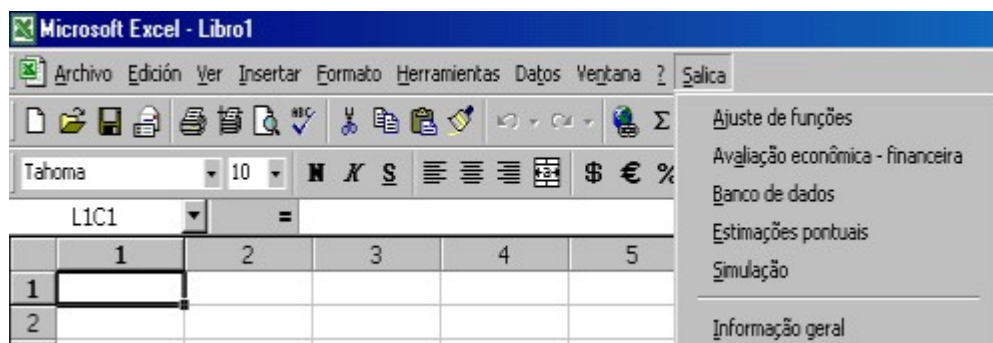


FIGURA 3 - MÓDULOS DO SIMULADOR SALICA

Cada um dos módulos precisa que o usuário disponha de um arquivo EXCEL com a informação necessária para obter seus respectivos resultados. Um novo arquivo EXCEL poderá ser especificado ao utilizar o módulo de avaliação econômica - financeira e o módulo de banco de dados. Uma vez apontado o arquivo de trabalho o usuário deve indicar a SALICA as pastas que contem ou conterão a informação.

O módulo de banco de dados forneceram a informação das variáveis requeridas por SALICA. Na Figura 4a apresenta-se a seqüência da informação a nível de parcela, na Figura 4b apresenta-se a seqüência da informação das árvores cubadas.



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Híbrido	projeto	talhão	idade	parcela	árvore	DAP	h
2								

a)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	híbrido	projeto	talhão	idade	árvore	dap	di	h	hi
2									

b)

FIGURA 4 – ORDEM DA INFORMAÇÃO NAS PASTAS DE TRABALHO a) INFORMAÇÃO DA PARCELA b) INFORMAÇÃO DAS ÁRVORES CUBADAS

A descrição das variáveis da Figura 4a e b apresenta-se na Tabela 25. Como foi dito anteriormente o usuário poderá utilizar o banco de dados de SALICA para gerar a informação da Figura 4, o digitar a informação requerida considerando a descrição da Tabela 25.

TABELA 25 - DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS REQUERIDAS PELO SISTEMA SALICA

Variável	Tipo	Tamanho	Descrição
Híbrido	T	8	Código de identificação do híbrido
Projeto	T	8	Código de identificação do projeto em análise
Talhão	NI	3	Cifra de identificação do talhão em análise
Idade	NI	3	idade em meses das árvores ou parcelas segundo corresponda
Parcela	NI	3	Cifra de identificação das parcelas em análise
Árvore	NI	3	Cifra de identificação das árvores em análise
Dap	NI	3	Dap de cada árvore, em milímetros
di	NI	3	Diâmetro a uma altura (hi) de cada árvore, em milímetros
H	NI	3	Altura total de cada árvore, em decímetros
Hi	NI	3	Altura de medição (i) de cada árvore, em decímetros

T = Texto

NI = Numeração inteira

Ingressar a informação numérica de maneira inteira persegue evitar possíveis conflitos pela configuração regional do computador, além de facilitar a digitação, já que será digitado um caracter a menos em cada valor ingressado (virgula ou ponto, segundo corresponda). No entanto, os resultados serão expressados nas unidades de medida tradicionalmente utilizadas.

O usuário interage com SALICA através das telas desenvolvidas para cada módulo, as quais têm uma estrutura similar. Em geral o usuário ingressara informação alfanumérica (Figura 5a), selecionará um elemento entre um listado de possibilidades (Figura 5b), selecionara um elemento entre diversas opções de seleção (Figura 5c), ou

escolhera um botão de ação (Figura 5d).

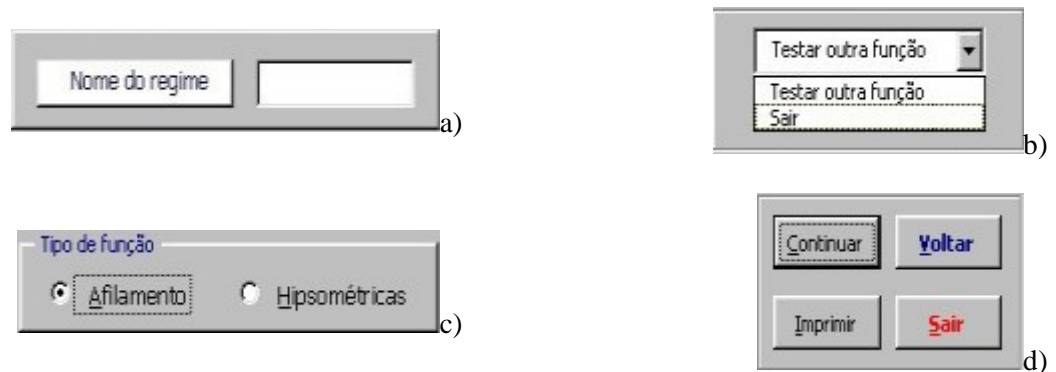


FIGURA 5 - EXEMPLOS DA INTERAÇÃO DO USUÁRIO COM O SISTEMA SALICA a) INGRESSO DE INFORMAÇÃO ALFANUMÉRICA b) SELEÇÃO ENTRE UM LISTADO c) SELEÇÃO ENTRE OPÇÕES d) SELEÇÃO DE UM BOTÃO DE AÇÃO

A informação alfanumérica solicitada ao usuário (Figura 5a) é validada em rotinas de controle para estabelecer seu abrangência ao processo utilizado. SALICA só prosseguirá uma vez que toda a informação digitada pelo usuário seja válida.

Tanto a seleção entre um listado (Figura 5b) como a seleção entre diversas opções (Figura 5c), permitem dirigir o curso de ação dos respectivos procedimentos.

Os botões de ação (Figura 5d) definem a seqüência que o processo deve seguir, ao pressionar o botão (C)ontinuar) o processo prossiga seu execução; o botão (V)oltar) permite ao usuário retornar à tela previa, em tanto o botão (I)mprimir) imprime a tela ativa e afinal o botão (S)air) sai do Simulador SALICA ao ambiente Windows.

Nas telas de resultados de algum processo apresentam-se os quatro botões de ação (Figura 5d), nas telas intermedias podem apresentar-se três o duas segundo seja o caso; No entanto seu funcionamento é idêntico em qualquer delas.

### 8.1.1 Módulo de Ajuste de funções

Em termos gerais usou-se a mesma seqüência de programação nas diversas funções (Figura 6). Sim o usuário seleciona uma função de distribuição diamétrica a

seqüência geral de programação sofre uma leve alteração em comparação ao resto das funções que têm uma seqüência homogênea.

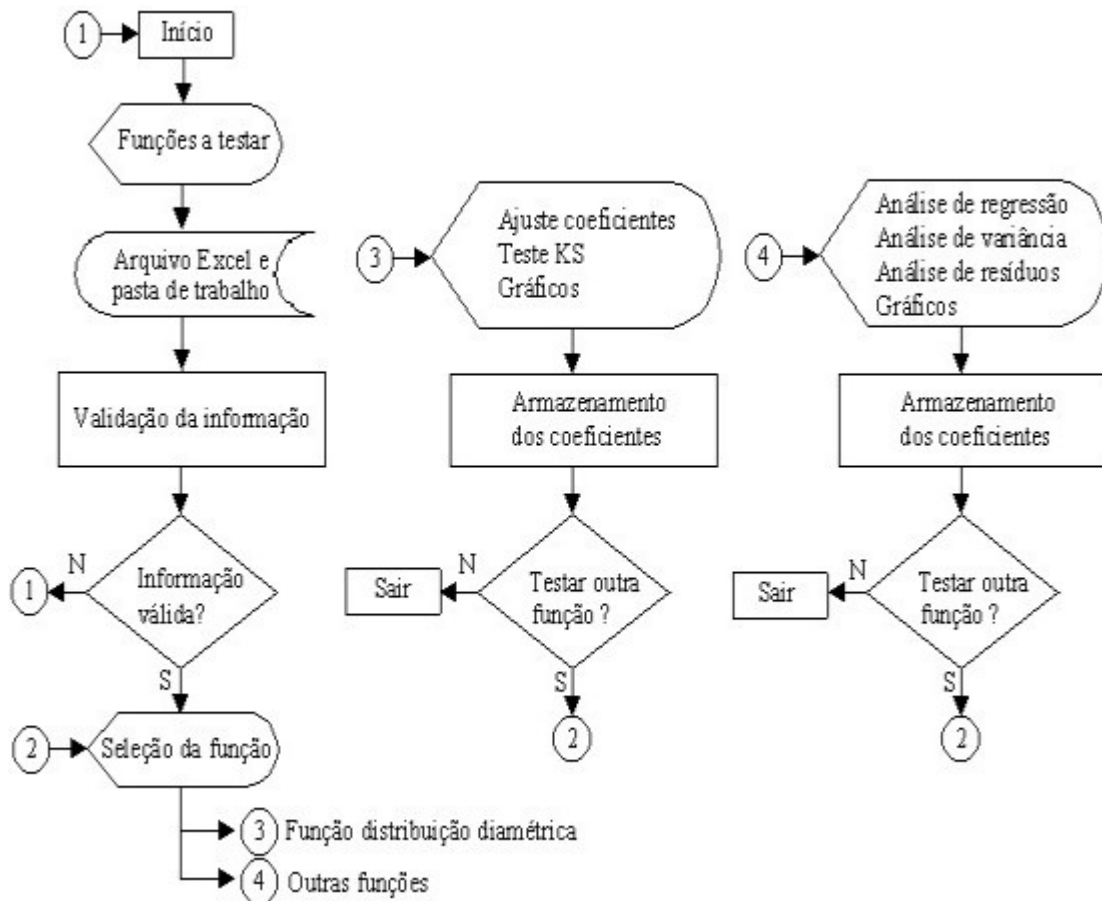


FIGURA 6 – FLUXOGRAMA DO MÓDULO DE AJUSTE DE FUNÇÕES

Neste módulo é possível testar seis tipos de funções (Figura 7), segundo a informação que o usuário disponha. Para ajustar funções de afilamento e volume SALICA trabalha com a pasta das árvores cubadas (Figura 4b) o resto das funções utiliza a pasta com informação das parcelas (Figura 4a).

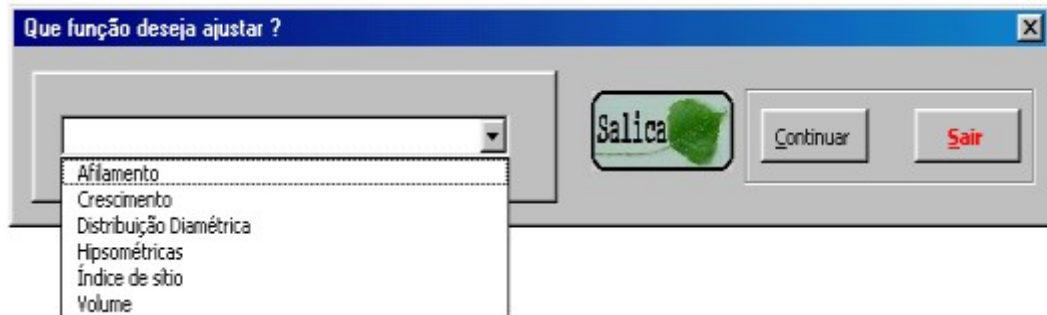


FIGURA 7 – TELA DAS POSSÍVEIS FUNÇÕES A AJUSTAR

A informação é validada visando garantir ao usuário que esteja utilizando a informação correta para cada tipo de função. Deste modo sim a informação não existe ou não apresenta o ordem requerido (Figura 4), o sistema apresenta um mensagem de erro e o usuário deve digitar uma das alternativas apresentas na Figura 8 para prosseguir.

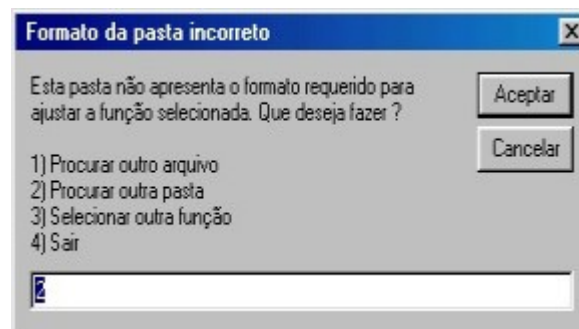


FIGURA 8 - MENSAGEM DE ERRO RESULTADO DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO E ALTERNATIVAS DE AÇÃO

Uma vez validada a informação e constatando que esta cumpre com os requerimentos respectivos, é possível selecionar a função a ajustar. Em cada uma das funções a testar (Figura 7) o usuário poderá conferir cinco tipo de funções, segundo sua preferencia (Figura 9). O ajuste de funções de crescimento são a exceção, onde o usuário somente pode ajustar as funções preestabelecidas por SALICA.

1)	$d_i = b_1 Dap x + b_2 (h^2 - h_i^2)(h-1,3)/h^2$	Amidon e Elliot (1983)
2)	$d_i = b_1 Dap x + b_2 h (h-h_i)(h-1,3) + b_3 (h-h_i) (h-1,3) (h+h_i+1,3)$	Bennett e Swindel (1972)
3)	$(d_i/Dap)^2 = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$	Kahler (1993)
4)	$(d_i/Dap)^2 = b_1 (z-1) + b_2 (z^2-1)$	Kozak et al (1969)
5)	$(d_i/dap) = b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + b_3 z^3 + b_4 z^4 + b_5 z^5$	Prodan (1965)

a)

1)	Beta	(Método dos momentos)
2)	Gamma	(Método dos momentos)
3)	Normal	(Método dos momentos)
4)	SB Johnson	(Método de Knoebel e Burkhart otimizado)
5)	Weibull 3P	(Método dos percentis otimizado)

b)

1)	$h-1,3 = Dap^2 / (b_0 + b_1 Dap)^2$	Näslund
2)	$h-1,3 = Dap^2 / (b_0 + b_1 Dap)$	Prodan Mod.
3)	$h = b_0 Dap^{b_1}$	Stoffels
4)	$h = b_0 + b_1 Dap$	Trorey Mod.
5)	$h = b_0 + b_1 \exp(-0,01 Dap)$	

c)

1)	$Hdom = idade^2 / (b_0 + b_1 idade + b_2 idade^2)$	Prodan
2)	$Hdom = b_0 \exp(-b_1/idade^{b_2})$	Schumacher
3)	$Hdom = b_0 + b_1 idade + b_2 idade^3$	
4)	$Hdom = b_0 + b_1 idade + b_2 1/idade$	
5)	$Hdom = b_0 \exp(b_1 1/idade + b_2 1/idade^2)$	

d)

1)	$V = b_0 + b_1 Dap + b_2 Dap h + b_3 Dap^2 + b_4 Dap^2 h$	Meyer
2)	$V = Dap^2 (b_0 + b_1 h)$	Ogaya
3)	$V = b_0 \ln(Dap)^{b_1} h^{b_2} \ln(h)^{b_3}$	Prodan Mod
4)	$V = b_0 + b_1 Dap^2 h$	Spurr
5)	$V = b_0 + b_1 Dap^2 + b_2 Dap^2 h$	Stoat Mod.

e)

FIGURA 9 – FUNÇÕES DISPONÍVEIS SEGUNDO ELEIÇÃO DO USUÁRIO a) FUNÇÕES DE AFILAMENTO b) FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA c) FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS d) FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO e) FUNÇÕES DE VOLUME

Sim o usuário seleciono uma função de distribuição diamétrica a seqüência de programação sofre uma leve alteração em relação ao resto das funções, de modo que serão descritas por separado.

#### 8.1.1.1 Funções de distribuição diamétrica

O sistema avalia a quantidade de árvores de cada parcela; sim esta é superior a dez, ajusta os parâmetros da distribuição selecionada com o método de ajuste respectivo e faz o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov para duas amostra. Na medida que a probabilidade aumenta a duas populações de dados (reais e estimados) tem maior semelhança entre sim, de modo que o usuário pode testar a cinco funções para conferir a que apresenta maior similitude com os dados reais. Na Figura 10 apresenta-se um exemplo de ajuste da função Gamma.

Distribuição	Parâmetro	Valor	dn	Probabilidade
Gamma	$\alpha$	10,982839	0,069	0,345
	$\beta$	1,338163		

FIGURA 10 - EXEMPLO DO RESULTADO DO AJUSTE DA FUNÇÃO GAMMA

Além do resultado numérico o usuário pode observar graficamente o ajuste da respectiva distribuição (Figura 11). A representação gráfica do ajuste relaciona a frequência relativa das classes diamétricas com uma amplitude de um centímetro.

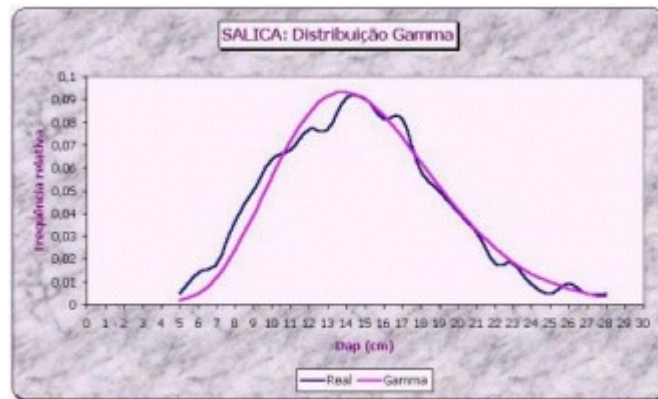


FIGURA 11 - EXEMPLO DO RESULTADO GRÁFICO DO AJUSTE DA FUNÇÃO GAMMA

Ao final de cada processo o usuário tem a opção de procurar outro arquivo ou pasta, testar outra função ou simplesmente sair do sistema (Figura 12).

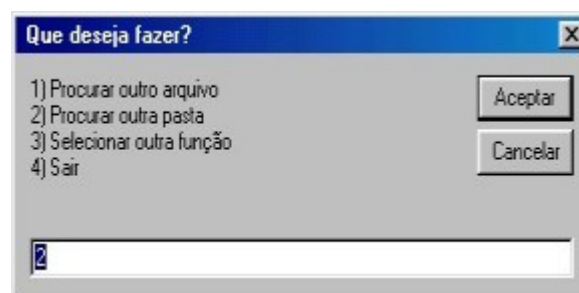


FIGURA 12 - TELA FINAL QUE APRESENTA AS OPÇÕES QUE O USUÁRIO PODE ESCOLHER

### 8.1.1.2 Outras funções

O leitor haverá observado que é possível ajustar funções lineares com e sem intercepto e funções não lineares (Figura 9), ambas com distinto número de parâmetros a estimar. A tela de apresentação do análise de regressão é flexível adequando-se à função selecionada pelo usuário. Na Figura 13 apresenta-se um exemplo do resultado do análise de regressão para funções de índice de sítio lineares e não lineares.



FIGURA 13 – TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DO ANÁLISE DE REGRESSÃO a) FUNÇÕES LINEARES E b) FUNÇÕES NÃO LINEARES

O resultado do análise de regressão das funções não lineares (Figura 13b) apresentam previamente outra tela (Figura 14) onde o usuário otimiza o ajuste de ditas

funções. O parâmetro otimizado corresponde ao erro quadrático médio da função, o qual é minimizado com o procedimento “Solver.xla” disponível no Microsoft Excel. O erro quadrático corresponde ao erro padrão de estimação quando a variável dependente não sofre transformações.

O sistema proporciona valores iniciais para cada variável, os quais podem ser modificados a vontade pelo usuário para conseguir a otimização da função. Uma vez que o usuário está conforme com a otimização, o resultado do análise de regressão (Figura 13b) apresenta-se pressionando o botão (C)ontinuar da Figura 14.

Parâmetros	Inicial	Indicado
b0	41,94674	239,7249
b1	-4,34798	-3,95044
b2	1	0,25988

Erro quadrático	
Inicial	Calculado
2,00983	1,94809

Salica

Otimizar Continuar Voltar Sair

FIGURA 14 - TELA QUE APRESENTA A OTIMIZAÇÃO DAS FUNÇÕES NÃO LINEARES

Ademais da informação estatística que o análise de regressão fornece, o sistema SALICA informa a função em análise, o arquivo e pasta de trabalho onde esta a informação para o conhecimento do usuário. Ao pressionar o botão (C)ontinuar da Figura 13a apresenta-se a tela do análise de variância, análise de regressão dos valores reais e estimados e do análise dos resíduos (Figura 15). Adicionou-se à informação habitualmente apresentada pelo análise de variância o parâmetro “Erro quadrático” o qual corresponde ao “Erro padrão de estimação” quando a variável dependente não



sofre transformações. Ou seja a magnitude do erro quadrático sempre esta associada à unidade de medida da variável dependente original, no entanto, a magnitude do erro padrão esta associada à medida da variável dependente, seja esta original ou transformada.

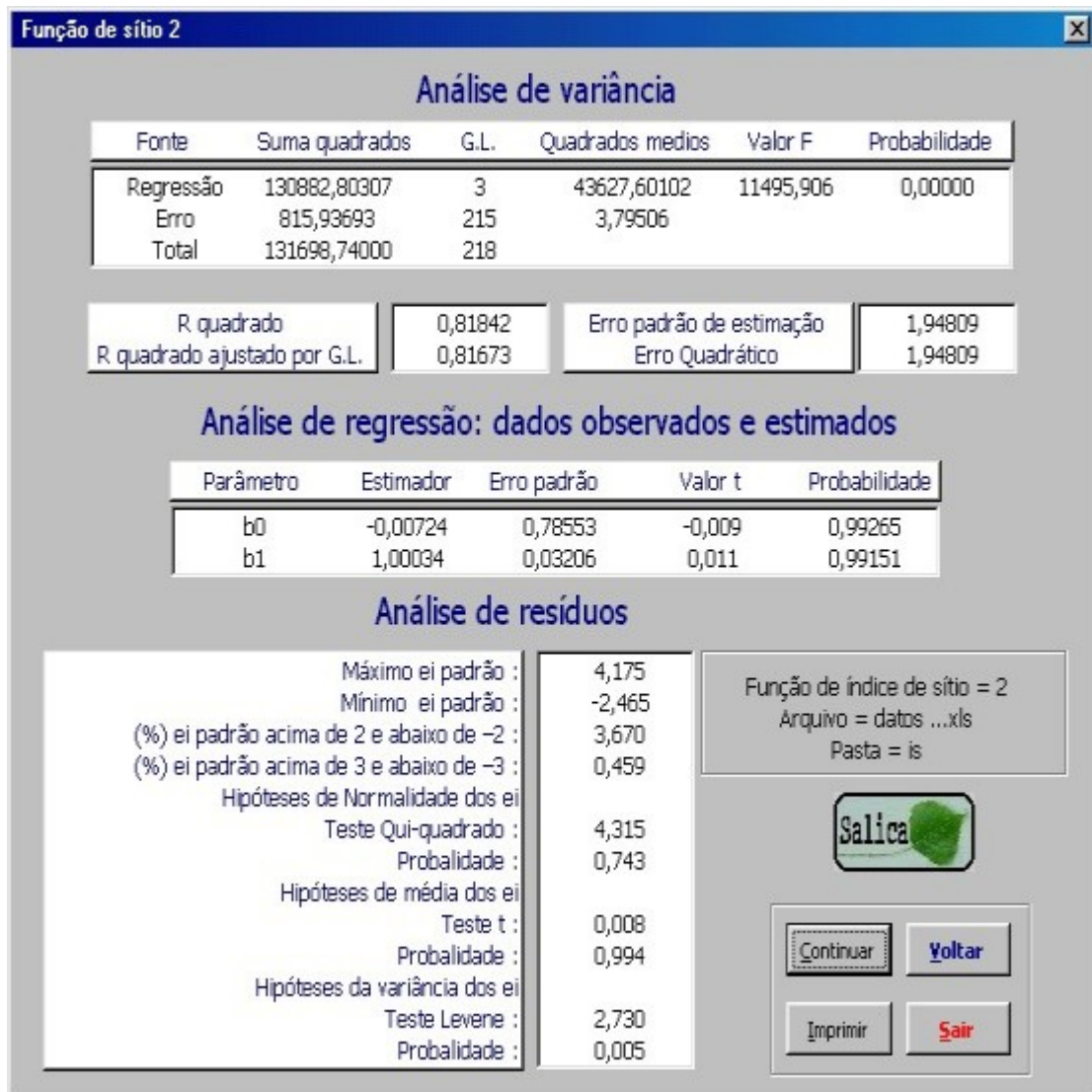


FIGURA 15 - TELA QUE APRESENTA O ANÁLISE DE VARIÂNCIA E O ANÁLISE DOS RESÍDUOS

O análise de regressão dos valores observados e estimados permite analisar a semelhança entre ditos valores. Espera-se que a probabilidade supere o valor 0,05 para ambos coeficientes “b0” e “b1”. No primeiro caso a hipóteses testada é  $H_0: \beta_0 = 0$  e para o segundo caso é  $H_1: \beta_1 = 1$ .

No análise de resíduos apresenta-se o máximo e mínimo resíduo ( $e_i$ ) padrão, o percentagem de “ $e_i$ ” acima de 2 e abaixo de  $-2$  e o percentagem acima de 3 e abaixo de  $-3$ . Com esta informação o usuário conhecerá a variação e magnitude dos resíduos.

Também apresenta-se três teste de hipóteses sobre os resíduos, avaliando a normalidade, a média e a variância destes. O teste “Qui-Quadrado” serve para testar a normalidade dos resíduos. O teste “t” utiliza-se para comprovar sim a media dos resíduos é zero. A variância homogênea dos resíduos é testada com a prova de “Levene”, a qual é recomendada por DRAPER e SMITH (1998).

Pressionando o botão (Continuar) da Figura 15 o usuário poderá observar graficamente os resultados do ajuste (Figura 16a) e os resíduos (Figura 16b).

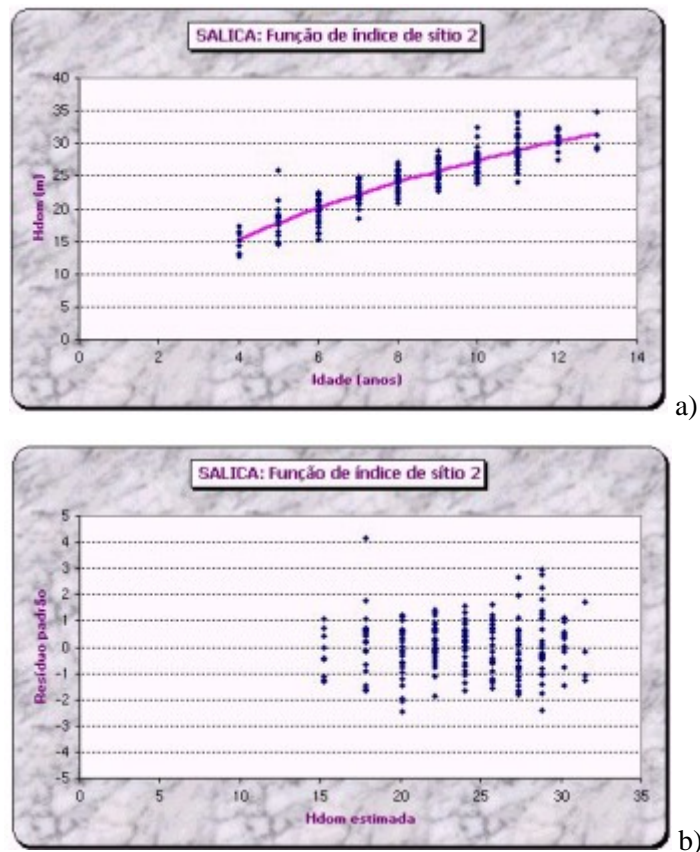


FIGURA 16 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO AJUSTE a) ESTIMATIVA E b) RESÍDUOS PADRÃO

O usuário pode armazenar os coeficientes das funções num arquivo Excel, os quais serão utilizados no módulo de estimações pontuais (ver seção 8.1.4) e no módulo de simulação (ver seção 8.1.5). Para finalizar o usuário poderá digitar uma das opções apresentadas na Figura 12.

### 8.1.2 Módulo de avaliação econômica – financeira

Este módulo permite avaliar em termos econômicos financeiros os regimes de manejo de interesse do usuário. Ao início deste módulo (Figura 17) o usuário poderá procurar um arquivo com os regimes ou gerar um arquivo com um novo regime.



FIGURA 17 - TELA INICIAL DA AVALIAÇÃO ECONÔMICA - FINANCEIRA

Ao procurar um arquivo o usuário terá que indicar o nome do arquivo e sua localização. Selecionado o arquivo o usuário poderá utilizar qualquer pasta já arquivada ou gerar uma nova pasta de trabalho (Figura 18). Cada regime de manejo constitui uma pasta.





receitas (quantidade por hectare por preço de produto) das atividades consideradas, as quais devem estar associadas ao ano em que terão ocorrência, mediante a seleção nos listados respectivos. Sim o regime de manejo incorpora atividades de produção da área Agrícola ou Pecuária, o usuário deve selecionar o área respectiva e proceder de igual modo que na área Florestal.

FIGURA 20 - INGRESSO DE DESPESAS E RECEITAS DO REGIME DE MANEJO EM ANÁLISE

Ao pressionar o botão Continuar da Figura 20, apresenta-se o detalhe do regime de manejo em análise (Figura 21), onde o usuário pode conferir a informação ingressada até o momento. SALICA não controla o origem da informação das respectivas áreas de produção, de modo que é de absoluta responsabilidade do usuário

a abrangência da mesma. Por exemplo, sim o usuário indica que a poda é uma atividade da área Pecuária, esta será considerada nesta área.

Para auxiliar ao usuário em casos de equívocos no ingresso de informação, SALICA dispõe de dois botões de ação adicionais que permitem corrigir eventuais erros. Para eliminar uma atividade ou um produto em primeiro lugar deve-se selecionar dita atividade ou produto e logo pressionar o botão Eliminar, em tanto o botão Modificar permite modificar os valores das atividades ou produtos.

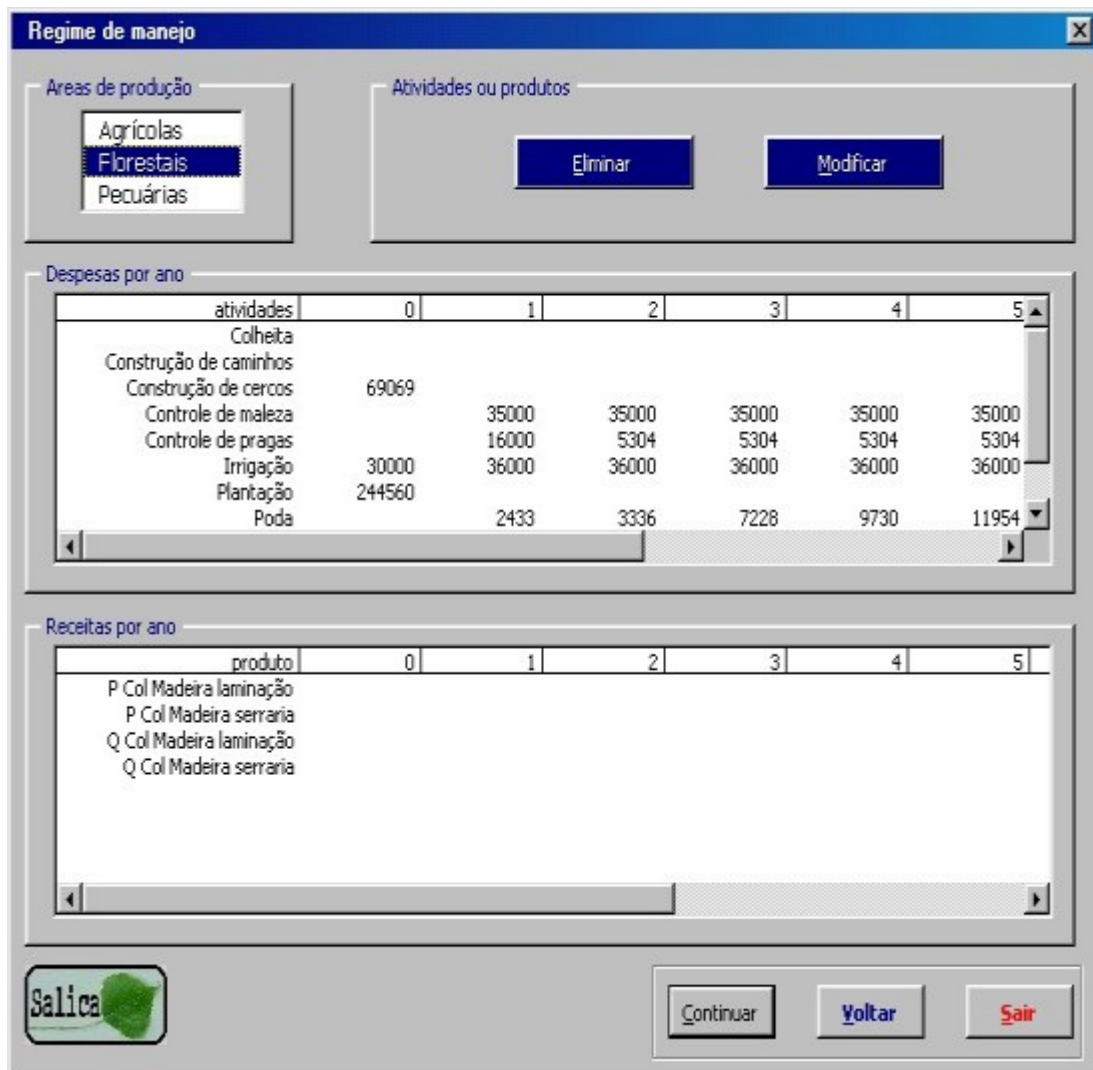


FIGURA 21 - DETALHES DO REGIME DE MANEJO EM ANÁLISE



Uma vez conferida a informação do regime de manejo o usuário deve pressionar o botão Continuar da Figura 21 e SALICA apresenta os resultados da avaliação econômica - financeira (Figura 22).

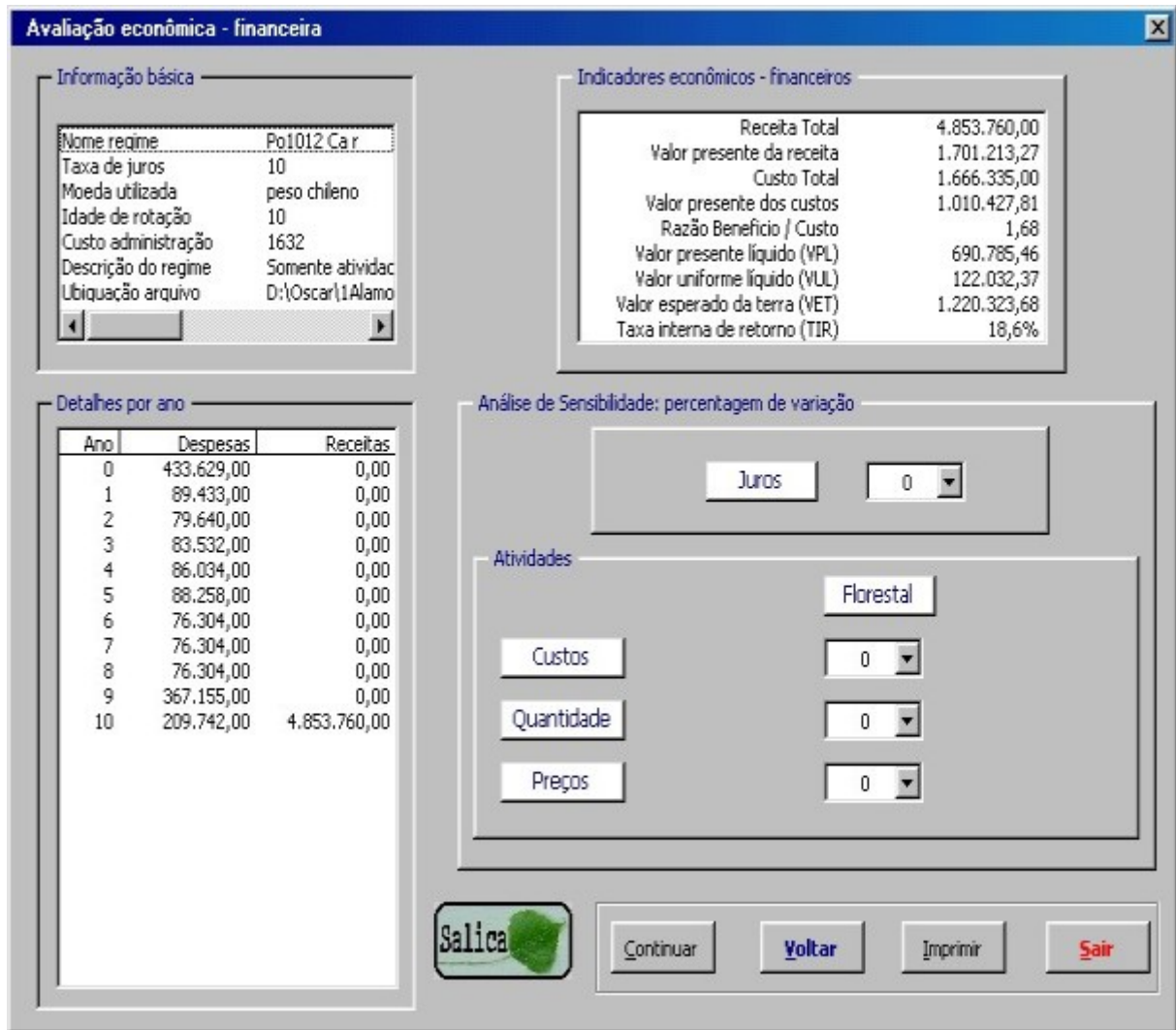


FIGURA 22 - RESULTADO DOS INDICADORES FINANCEIROS DO REGIME DE MANEJO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A tela de resultados da avaliação econômica – financeira (Figura 22) apresenta a informação básica do regime de manejo, as despesas e receitas anuais, os indicadores financeiros o análise de sensibilidade do regime.

O usuário pode analisar a influencia das variações da taxa de juros, dos custos, das quantidades e dos preços dos produtos do regime em análise. As variações



flutuam entre -50 a +50 cada cinco por cento. Valores negativos indicam uma redução da magnitude da variável sensibilizada, em tanto valores positivos indicam a situação inversa.

### 8.1.3 Módulo de banco de dados

Desenvolveu-se um banco de dados relacional para as medições das parcelas e outro banco para o análise de tronco, utilizando as ferramentas disponíveis para tal efeito do Microsoft EXCEL 2000.

O usuário deve especificar com qual dos bancos de dados trabalhara (Figura 23). Por a informação contida em cada banco de dados, estes foram estruturados de maneira diferente, sendo descritos a continuação:



FIGURA 23 - TELA DE INICIO DO MÓDULO DE BANCO DE DADOS

#### 8.1.3.1 Banco de dados de análise de tronco

O usuário disporá de seis opções de processamento do análise de tronco (Figura 24). As três primeiras opções apresentam um ordem seqüencial de execução. Ou seja é preciso descrever a árvore para ingressar suas medições para logo processar a árvore. No caso das eliminações basta que a informação este disponível para proceder a sua eliminação. Em todos os casos existem rotinas de controle que asseguram a integridade do sistema.

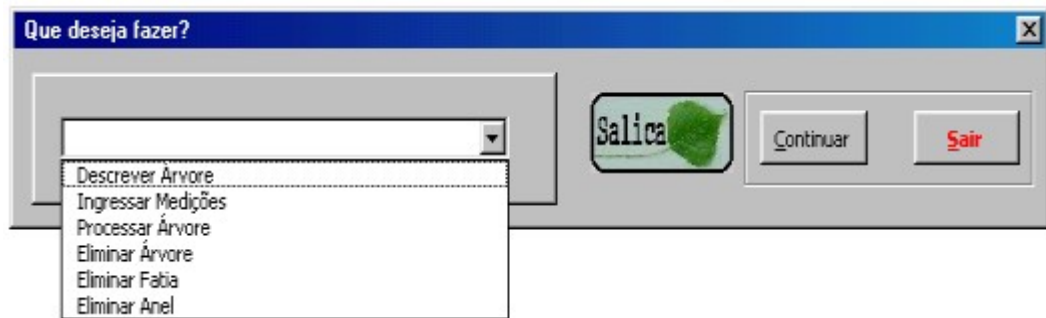


FIGURA 24 - TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES DE PROCESSAMENTO DO ANÁLISE DE TRONCO

Para descrever uma árvore é preciso preencher os campos da Figura 25, seguindo a descrição dada na Tabela 5 p.25. Neste caso o usuário descreve uma árvore do Projeto “CAF”, talhão número “32”, híbrido “I-488”. O número da árvore é “1” com uma idade de “48” meses, com um Dap de “150” milímetros, uma altura de “154” decímetros. Nesta árvore foram extraídas “4” fatias e medido “1” raio para cada anel, o responsável pelas medições foi o funcionário “Oscar”.

Cada vez que o usuário pressiona Ingressar SALICA verifica a abrangência da informação e sim esta é consistente o registro é salvo, de modo que o usuário não precisa ingressar toda a informação de uma árvore ou fatia numa sessão de trabalho, tornando muito flexível a utilização de SALICA.


Descrição da árvore	
Geral	
Projeto	CAF
Nº Talhão	32
Híbrido	I-488
Árvore	
Número	1
Idade	48
Dap	150
H	154
Quantidade Fatias	4
Quantidade Raios	1
Responsável	Oscar
 <input type="button" value="Ingressar"/> <input type="button" value="Voltar"/>	

FIGURA 25 - TELA QUE APRESENTA OS CAMPOS QUE DEVEM SER PREENCHIDOS PELO USUÁRIO PARA DESCREVER CADA ÁRVORE.

Para ingressar as medições da árvore (Figura 26) o usuário deve selecionar em cada campo previamente descrito (Projeto, N° talhão, N° árvore, N° fatia e N° do anel) a alternativa respectiva, e ingressar a nova informação solicitada ( $H_i$  e Raio  $n^o_j$ ) de acordo à descrição dada na Tabela 4 p. 23. Neste caso o usuário ingressou informação da árvore “1” do talhão “32” do Projeto “CAF”. A fatia número “1” foi extraída a “0” decímetros, no primeiro anel desta fatia o raio foi de “11” milímetros.

FIGURA 26 - TELA QUE APRESENTA OS CAMPOS QUE DEVEM SER PREENCHIDOS PELO USUÁRIO PARA INGRESSAR CADA MEDIÇÃO

Uma vez pressionado Ingressar o usuário poderá selecionar, de acordo a seu plano de trabalho, uma das seguintes alternativas, a) Ingressar outro anel da mesma fatia b) Ingressar outra fatia c) Ingressar outra árvore d) Voltar à tela principal de análise de tronco.

Para processar a árvore e de esse modo obter o listado, deve especificasse o Projeto, Número de talhão e Número da árvore (Figura 27). Sim faltasse informação ou esta fosse incorreta o usuário recebe um mensagem de erro informando as possíveis causas deste, para sua posterior correção. Quando estiver completa e correta a informação o listado será gerado; em primeiro término apresenta-se uma tela com a informação de cada fatia (Figura 28), posteriormente a representação gráfica desta informação (Figura 29) e afinal o listado propriamente dito (Figura 30).

Processar árvore

Projeto: CAF

Nº Talhão: 32

Nº da árvore: 1

Salica

Ingressar Voltar

FIGURA 27 - TELA ONDE O USUÁRIO SELECIONA A ÁRVORE QUE SERÁ PROCESSADA

Raios segundo ano e fatia

Fatia	Hi	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
1	0	11	34	48	67	89
2	13	10	28	40	62	75
3	75		17	28	46	56
4	113			10	22	29

Salica

Continuar

FIGURA 28 - TELA COM A INFORMAÇÃO DE CADA FATIA

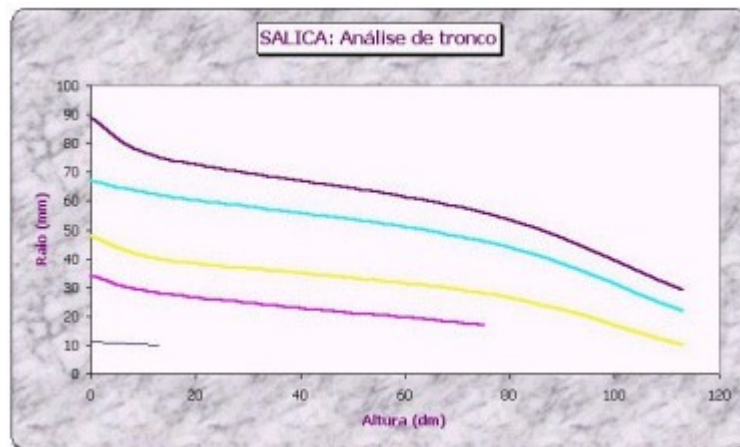


FIGURA 29 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA INFORMAÇÃO DE CADA FATIA

híbrido	Projeto	Talhão	Idade	Árvore	dap	di	h	hi	voli
I-488	CAF	32	12	1	20	22	69	0	0
I-488	CAF	32	12	1	20	20	69	13	4513
I-488	CAF	32	12	1	20	0	69	69	8796
I-488	CAF	32	24	1	56	68	111	0	0
I-488	CAF	32	24	1	56	56	111	13	39615
I-488	CAF	32	24	1	56	34	111	75	104499
I-488	CAF	32	24	1	56	0	111	111	16343
I-488	CAF	32	36	1	80	96	127	0	0
I-488	CAF	32	36	1	80	80	127	13	79721
I-488	CAF	32	36	1	80	56	127	75	232176
I-488	CAF	32	36	1	80	20	127	113	52766
I-488	CAF	32	36	1	80	0	127	127	2199
I-488	CAF	32	48	1	124	134	144	0	0
I-488	CAF	32	48	1	124	124	144	13	170163
I-488	CAF	32	48	1	124	92	144	75	580441
I-488	CAF	32	48	1	124	44	144	113	155195
I-488	CAF	32	48	1	124	0	144	144	23568
I-488	CAF	32	60	1	150	178	154	0	0
I-488	CAF	32	60	1	150	150	154	13	276614
I-488	CAF	32	60	1	150	112	154	75	853228
I-488	CAF	32	60	1	150	58	154	113	237388

FIGURA 30 - TELA QUE APRESENTA O LISTADO GERADO PARA A ÁRVORE EM ANÁLISE

O listado apresenta informação ano a ano da árvore em análise. A informação proporcionada descreve a árvore em função de alguns dos campos preenchidos na Figura 25 e Figura 26 e novos campos descritos a continuação:

di = Diâmetro da árvore em milímetros a uma altura “i”

voli = Volume de cada seção “i” de medição em  $1E-7 \text{ m}^3$

Em alguns casos a idade preenchida na Figura 25 não coincide com a apresentada na Figura 30, este fato deve-se a que pelo geral o usuário conhece a idade desde a plantação, a qual pode não coincidir com a idade biológica da árvore.

Para eliminar uma árvore, uma fatia o um anel o usuário deve identificar o elemento a ser eliminado. Para o caso de eliminação de um anel (Figura 31) o usuário deve identificar o Projeto, Número de talhão, Número da árvore, Número da fatia e

Número de anel que deseja eliminar. No caso da eliminação de uma fatia devem preencher-se os primeiros quatro campos, em tanto para a eliminação de uma árvore somente precisa-se preencher os primeiros três campos.



FIGURA 31 - TELA ONDE O USUÁRIO SELECIONA A ELIMINAÇÃO DE UM ANEL

Quando o usuário elimina uma árvore a informação relativa a essa árvore é suprimida tanto da pasta de dados originais como da pasta de listado. No caso da eliminação da fatia e do anel, somente se suprime a informação da pasta de dados originais, de modo que sim o usuário processou alguma árvore e posteriormente eliminou uma fatia ou anel, deve preencher a informação recentemente eliminada e processar novamente a árvore em análise.

#### 8.1.3.2 Banco de dados das parcelas

O usuário disporá de oito opções de processamento da informação das parcelas (Figura 32). As cinco primeiras opções apresentam um ordem seqüencial de execução. Ou seja é preciso descrever um Projeto, um Híbrido, um Talhão e uma parcela para ingressar as medições respectivas. Nas últimas três alternativas basta que a informação este disponível para executar cada procedimento. A descrição de cada campo utilizado neste banco de dados, detalhou-se na Tabela 4 p. 23.

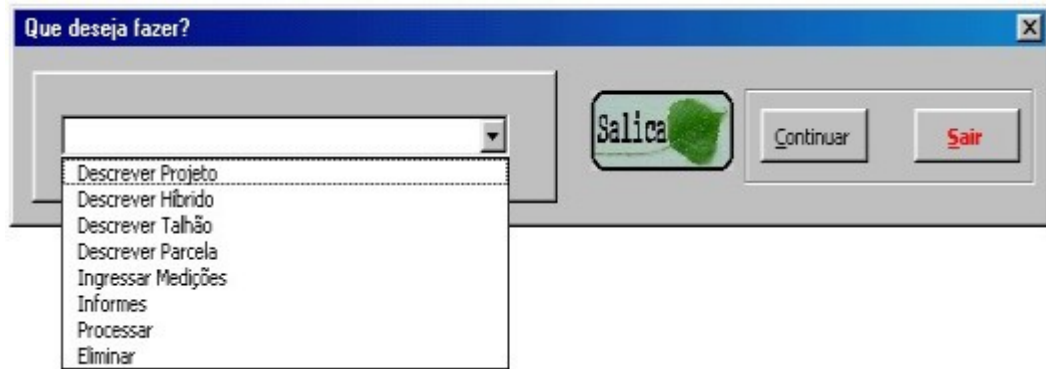


FIGURA 32 - TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES DE PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO DAS PARCELAS

Para descrever os Projetos o usuário trabalhara com a tela exposta na Figura 33, onde deve-se indicar o código, localização e superfície dos Projetos em análise. Neste caso descreve-se um Projeto denominado “CAF” localizado em “Chile, VII Região, na comuna de Parral” com uma Superfície de “3000,13” hectares.



FIGURA 33 - TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE OS PROJETOS

A descrição dos híbridos (Figura 34) somente precisa a indicação de um código de identificação, neste caso “I-488”.



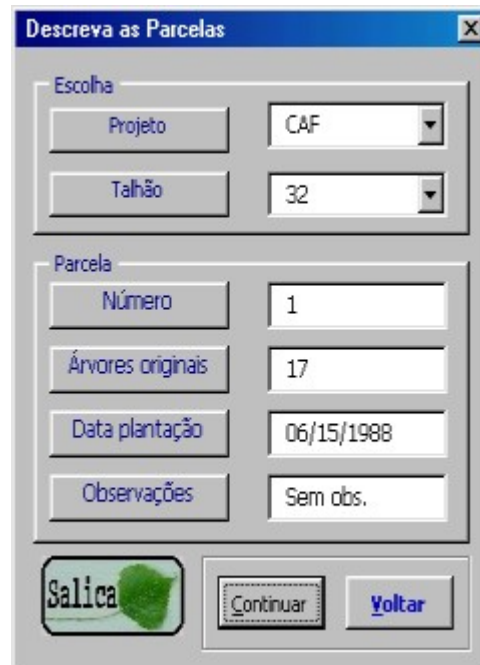
FIGURA 34- TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE OS HÍBRIDOS

Para a descrição dos talhões (Figura 35) o usuário deve escolher o Projeto e o Híbrido respectivo e posteriormente ingressar a informação mais detalhada do talhão. Neste caso ingressou-se informação de um Talhão denominado “Santa Ines” número “32” com uma Superfície de “25,1” hectares e um espaçamento entre árvores de “45” por “80” decímetros. O Talhão está localizado no Projeto “CAF” o qual apresenta o Híbrido “I-488”.

FIGURA 35- TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE OS TALHÕES

Para descrever a parcela o usuário deve selecionar o Projeto e Talhão onde a parcela localiza-se e posteriormente preencher os restantes campos da Figura 36. Neste

caso descreve-se a primeira parcela do Talhão descrito na Figura 35. A parcela foi plantada o “15 de Junho de 1988” e esta constituída por “17” árvores e não apresentou observações.



Descreva as Parcelas	
<b>Escolha</b>	
Projeto	CAF
Talhão	32
<b>Parcela</b>	
Número	1
Árvores originais	17
Data plantação	06/15/1988
Observações	Sem obs.
Salica	
Continuar Voltar	

FIGURA 36 - TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE A PARCELA

Para descrever a medição o usuário deve selecionar um Projeto, um Talhão e uma Parcela e informar a data de medição (Figura 37). Neste caso a parcela descrita na Figura 36 teve uma medição o “15 de Junho de 2003”. O usuário deve digitar o Dap e altura das 17 árvores da parcela em estudo (Figura 38).

SALICA confere as datas da plantação e de medições para determinar a inclusão ou não da medição em processo e valida a informação da medição e medições anteriores, sim estas existem, para salvar o registro respectivo. O usuário terá a possibilidade de modificar registros sim o processo de validação detectasse algum erro.

Descreva as Medições

Escolha

Projeto: CAF

Talhão: 32

Parcela: 1

Medição

Data: 06/15/2003

Salica

Continuar Voltar

FIGURA 37 - TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE AS MEDIÇÕES

Ingressou toda a informação da parcela

Dap

Altura

Árvore	Dap	H
1	240	255
2	256	
3	260	
4	270	265
5	321	320
6	280	
7	295	
8	300	
9	301	
10	298	
11	256	

Continuar

Modificar

Validar

Voltar

Salica

FIGURA 38 - TELA DE INGRESSO DAS RESPECTIVAS MEDIÇÕES

#### 8.1.4 Módulo de estimações pontuais

Neste módulo o usuário obterá as estimações pontuais de cada tipo de função, ou seja estimações por separado para um análises específico requerido pelo usuário, por exemplo sortimento, classificação de sítios, volume, etc. de um povoamento.

Este módulo foi programado separadamente do módulo de ajuste de funções (ver seção 8.1.1) para permitir a maior flexibilização possível, já que o usuário poderia preferir ajustar a funções com algum pacote estatístico de sua preferencia e posteriormente obter as estimações pontuais a traves de SALICA.

Na Figura 39 apresenta-se o fluxograma de programação deste módulo, o qual coincide até a validação da informação com o fluxograma de ajuste de funções (Figura 6 página 53). Posterior à validação da informação o sistema consulta ao usuário sobre a localização dos coeficientes das funções. Sim o usuário não armazena os coeficientes das funções, o sistema SALICA solicitara-lhe cada vez seu ingresso podendo tornar cansativo a execução do módulo. Deste modo recomenda-se o armazenamento dos coeficientes num arquivo EXCEL, o qual é feito pelo próprio sistema SALICA.

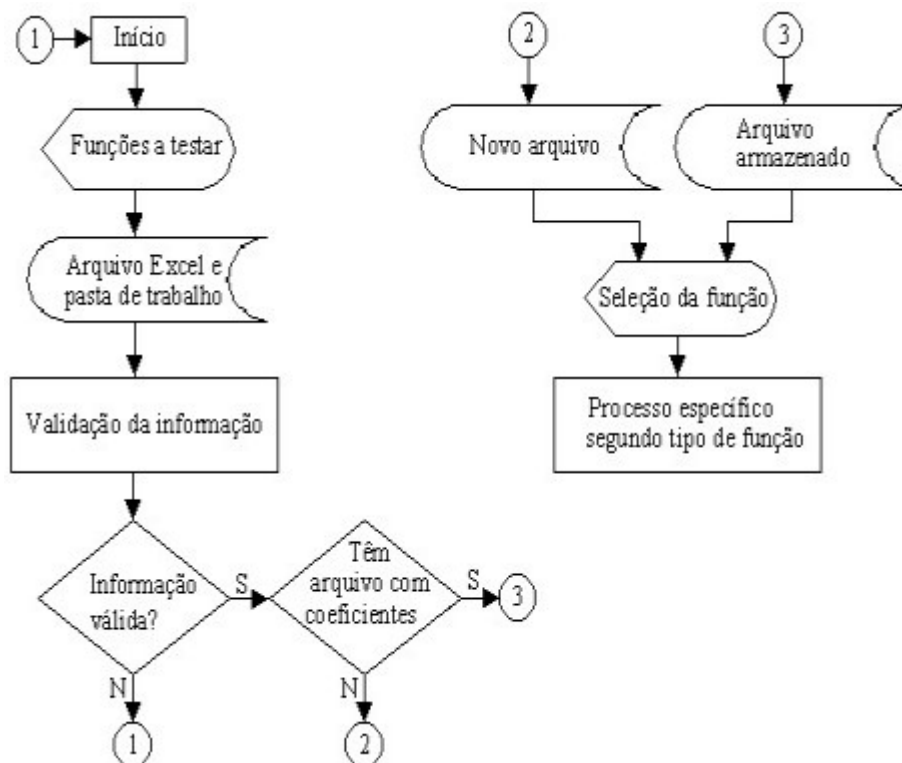


FIGURA 39 - FLUXOGRAMA DO MÓDULO DE ESTIMAÇÕES PONTUAIS

Uma vez selecionada a função cada tipo de esta tem uma seqüência de programação específica a quais serão descritas a continuação.

#### 8.1.4.1 Cálculo do sortimento do povoamento

Para o cálculo de sortimento do povoamento o usuário deve indicar com qual função de afilamento (Figura 9a) e função hipsométrica (Figura 9b) deseja trabalhar. Sim o usuário ajustou as funções com o pacote estatístico de sua preferência, deve digitar os coeficientes de cada função para que SALICA prossiga com a execução do procedimento. Uma das vantagens de utilizar SALICA no ajuste das funções é o arquivamento automático dos coeficientes das funções, os quais são utilizados tanto no módulo de estimações pontuais como no módulo de simulação.

Na Figura 40 apresenta-se a informação que o usuário deve preencher para especificar como máximo quatro produtos a obter por árvore. Os produtos devem seguir um ordem seqüencial de importância, ou seja o primeiro produto é o mais nobre e o último produto é o menos nobre. O usuário deve indicar a altura do toco em milímetros e o comprimento de corte também em milímetros.

Neste caso a madeira para laminação corresponde às toras com o diâmetro menor superiores ou iguais a “350” mm e um comprimento de “320” mm. Toras com o diâmetro menor entre “160” mm e 349 mm e um comprimento de “320” mm são madeira de serraria. Os lavacos tem o diâmetro menor entre “100” mm e 159 mm, com um comprimento de “244” mm. Toras com o diâmetro menor entre “50” e 99 mm e um comprimento de “244” mm é considerado lenha.

The screenshot shows a software window titled "Informação do sortimento" with the following sections:

- Corte:** Two input fields: "H toco" with value 300 and "Largo corte" with value 10.
- Sortimento:** A group box containing four radio buttons labeled 1, 2, 3, and 4.
- Especificações:** A table with three columns: "Produtos", "Diâmetro menor", and "Comprimento".
 

Produtos	Diâmetro menor	Comprimento
laminacao	350	320
serraria	160	320
lavacos	100	244
lenha	50	244

At the bottom left is the Salica logo, and at the bottom right are "Continuar" and "Sair" buttons.

FIGURA 40 - TELA QUE APRESENTA AS ESPECIFICAÇÕES DOS PRODUTOS REQUERIDOS PELOS USUÁRIOS

O resultado do sortimento do povoamento apresenta-se na Figura 41a e Figura 41b ordenada por Híbrido, Projeto, Talhão e idade em anos. A informação de número de toras por hectare e volume por produto em metros cúbicos por hectare, obtêm-se para cada árvore das parcelas consideradas nas respectivas medições.

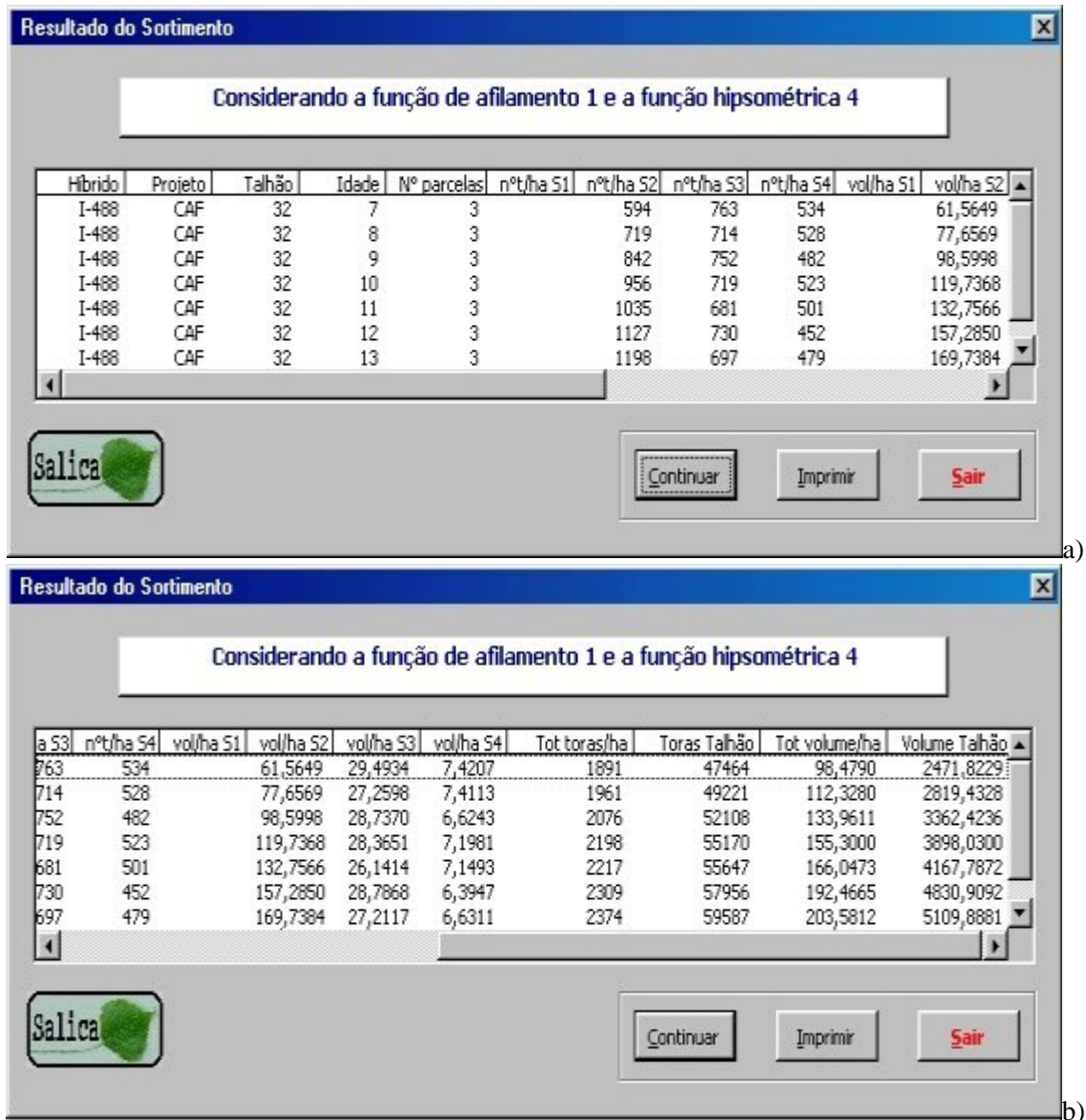


FIGURA 41 - TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DO SORTIMENTO DO POVOAMENTO a) CANTO SUPERIOR DIREITO B) CANTO SUPERIOR ESQUERDO

#### 8.1.4.2 Prognose de crescimento e produção

Para ajustar as funções de crescimento e produção, deve-se ingressar a informação solicitada na Figura 42. As funções de índice de sítio, hipsométricas e volumétricas serão selecionadas do listado disponível em cada caso (Figura 9 d, c, e respectivamente). O número de classes refere-se ao número de classes de índice de sítio, podendo selecionar três ou cinco classes.

A amplitude de classes está definida em termos percentuais com uma dimensão similar entre as classes, de modo que ao selecionar três classes de sítio a amplitude de cada uma de estas é de 33%, em tanto ao selecionar cinco classes cada classe apresenta um 20% da informação. O usuário não pode alterar estas percentagem e foram assim definidos para que todas as classes fossem representadas por igual quantidade de dados.

Ajuste de funções de crescimento e produção

Selezione

Função Índice de sítio	3) $H_{dom} = b_0 + b_1 \text{ idade}^{(1/2)}$
Número de classes	3
Função Hipsométrica	3) $h = b_0 Dap^{b_1}$
Função Volumétrica	3) $V = b_0 Dap^{b_1} h^{b_2}$

Salica

Continuar Sair

FIGURA 42 - INFORMAÇÃO REQUERIDA PARA AJUSTAR AS FUNÇÕES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Uma vez ingressada a informação da Figura 42, deve ser fornecida a informação da Figura 7 a,b onde o usuário deve indicar sim a prognose estará baseada numa medição de parcela ou numa estimativa de um índice de sítio qualquer. Sim a informação provem de uma medição de parcela o usuário deve indicar a idade e altura dominante da parcela (Figura 7 a) ou bem especificar o índice de sítio requerido (Figura 7 b).

O usuário poderá realizar uma prognose para um ano específico o bem selecionar do listado respectivo a alternativa “todas” e o sistema SALICA fornece a estimativa de todas as idades registradas no banco de dados de parcelas do arquivo em uso.



A quantidade de árvores por hectare é escolhido do listado respectivo, onde registra-se a quantidade de árvores utilizados no ajuste das funções, ou seja o usuário não poderá indicar uma quantidade de árvores distinta à utilizada no ajuste das funções.

The figure shows two screenshots of a software dialog box titled "Informação requerida para a prognose".

**Screenshot a)** shows the "Medição de Parcela" option selected. The fields are: Prognose (Por medição de parcela), Árvores / hectare (312,5), Superfície (25,1), Idade Prognose (todas), Idade medição (11), and HDom medição (29,0).

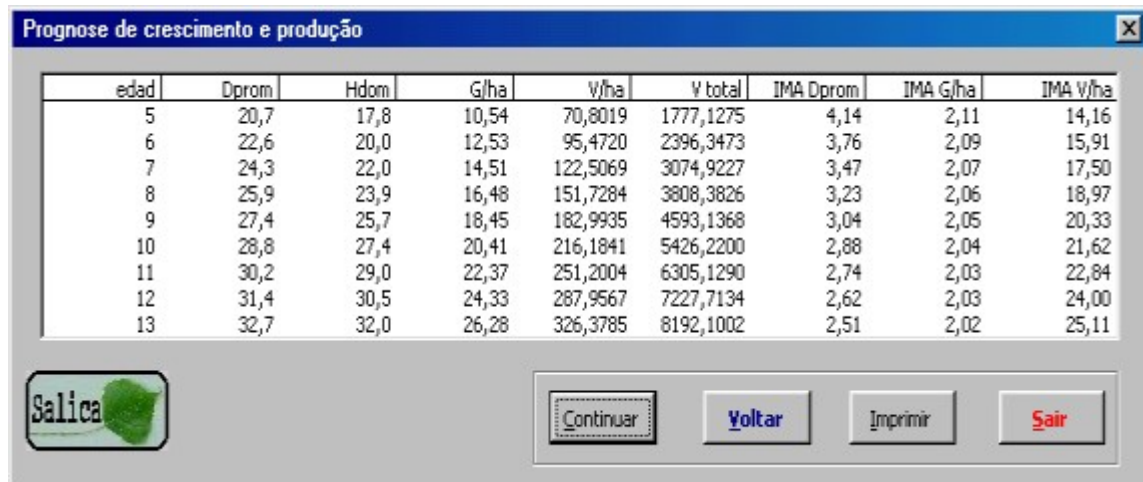
**Screenshot b)** shows the "Índice de Sítio" option selected. The fields are: Prognose (Por índice de sítio), Árvores / hectare (312,5), Superfície (25,1), Idade Prognose (todas), and Índice de sítio (29).

Both screenshots include a "Salica" logo and buttons for "Continuar", "Voltar", and "Sair".

FIGURA 43 - INFORMAÇÃO REQUERIDA PARA A PROGNÓSE DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO a) MEDIÇÃO DE PARCELA b) ÍNDICE DE SÍTIO

O resultado da prognose de crescimento e produção a nível de povoamento apresenta-se na Figura 44, detalhando o diâmetro médio (cm), o área basal por hectare ( $m^2/ha$ ), o volume por hectare ( $m^3/ha$ ) e seus respectivos incrementos médios anuais, além da altura dominante (m) e a idade selecionada da prognose, a qual pode

ser um ano em particular o toda amplitude de idades registradas no banco de dados das parcelas.



edad	Dprom	Hdom	G/ha	V/ha	V total	IMA Dprom	IMA G/ha	IMA V/ha
5	20,7	17,8	10,54	70,8019	1777,1275	4,14	2,11	14,16
6	22,6	20,0	12,53	95,4720	2396,3473	3,76	2,09	15,91
7	24,3	22,0	14,51	122,5069	3074,9227	3,47	2,07	17,50
8	25,9	23,9	16,48	151,7284	3808,3826	3,23	2,06	18,97
9	27,4	25,7	18,45	182,9935	4593,1368	3,04	2,05	20,33
10	28,8	27,4	20,41	216,1841	5426,2200	2,88	2,04	21,62
11	30,2	29,0	22,37	251,2004	6305,1290	2,74	2,03	22,84
12	31,4	30,5	24,33	287,9567	7227,7134	2,62	2,03	24,00
13	32,7	32,0	26,28	326,3785	8192,1002	2,51	2,02	25,11

FIGURA 44 - RESULTADO DA PROGNOSE DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

#### 8.1.4.3 Cálculo da tabela de povoamento

Na Figura 45 apresenta-se a tabela de povoamento real e a obtida pelas cinco distribuições diamétricas (Figura 9a) para cada parcela presente no listado. Sim o usuário não utilizou SALICA para o ajuste das funções e deve ingressar os coeficientes da distribuição selecionada.

Tabela de povoamento			
Distribuição Weibull, parcela 1			
Dap (cm)	árvores/ha real	árvores/ha estimado	
20	16,3	4,6	
21	16,3	14,0	
22	49,0	43,7	
23	81,7	94,4	
24	98,0	92,4	
25	16,3	17,9	
Total	277,6	267,0	

FIGURA 45 - TELA QUE APRESENTA A TABELA DE POVOAMENTO

A representação gráfica da tabela de povoamento apresenta-se na Figura 46. Com a informação gráfica e tabelar o leitor poderá julgar o ajuste das respectivas distribuições.

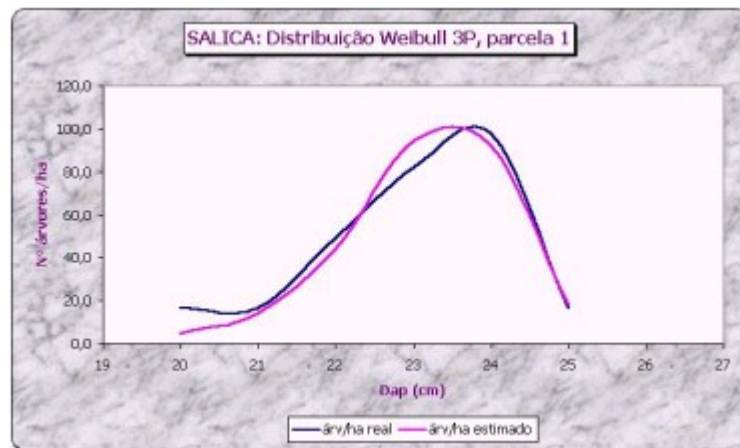


FIGURA 46 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA TABELA DE POVOAMENTO

#### 8.1.4.4 Classificação dos sítios

A estimação pontual das funções de índice de sítio permitem classificar os sítios de acordo a critérios próprios, considerando a idade de referencia, quantidade de

classes e amplitude destas. Na Figura 47 apresenta-se um exemplo de classificação de sítios considerando uma idade de referência de dez anos, cinco classes de sítio e uma amplitude constante entre as classes.

O usuário pode escolher entre três ou cinco classes de sítio e a amplitude destas pode ser constante, ou variável em relação aos desvios e percentis do índice de sítio.



FIGURA 47 - TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES QUE O USUÁRIO PODE ESCOLHER PARA DEFINIR AS CLASSES DE SÍTIO.

Ao escolher uma amplitude em função dos percentis ou dos desvios, o usuário devera confirmar os valores padrões que o sistema SALICA apresenta ou mudar eles de acordo a seu critério. Na Figura 48a apresenta-se um exemplo onde foram selecionadas cinco classes de sítio e a amplitude destas de acordo aos desvios, em tanto, na Figura 48b a amplitude varia em termos percentuais.

Amplitude das classes

Limite inferior 1a Classe

Limite inferior 2a Classe

Limite inferior 3a Classe

Limite inferior 4a Classe

a)

Amplitude das classes

Limite inferior 1a Classe

Limite inferior 2a Classe

Limite inferior 3a Classe

Limite inferior 4a Classe

b)

FIGURA 48 - TELA ONDE O USUÁRIO INTRODUZ OS LIMITES INFERIORES DE CADA CLASSE a) PERCENTIS E b) DESVIOS

Uma vez definidas as amplitudes das classes SALICA apresenta os limites de cada classe de sítio (Figura 49) e seu respectiva representação gráfica (Figura 50), com lho qual é possível classificar cada parcela nas respectivas classes diamétricas.

Amplitude das classes

Para uma idade de referência = 10 anos, definiu-se 5 classes de sítio, em função de uma amplitude constante

Classe	Limite Inferior	Limite superior
1	35,98	39,76
2	32,20	35,97
3	28,41	32,19
4	24,62	28,40
5	20,82	24,61

Função de índice de sítio 2, arquivo = datos salica.xls, pasta = IS


Salica 

FIGURA 49 - TELA QUE APRESENTA OS RESULTADOS DAS RESPECTIVAS CLASSES DE SÍTIO



FIGURA 50 - TELA QUE REPRESENTA GRAFICAMENTE AS CLASSES DE SÍTIO

Após a representação gráfica o usuário o usuário tem a possibilidade de imprimir a classificação, modificar as classes, testar outra função ou sair do sistema (Figura 51).

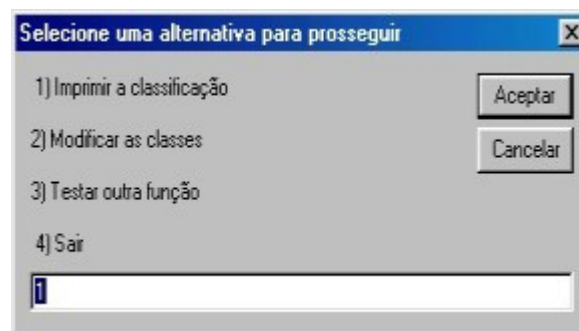


FIGURA 51 - TELA QUE REPRESENTA AS OPÇÕES QUE O USUÁRIO TEM AO FINALIZAR O PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS

#### 8.1.4.5 Cálculo de volume total do povoamento

O usuário deve especificar com que função de volume (Figura 9f) e função hipsométrica (Figura 9d) deseja trabalhar, sem não ajustou ditas funções utilizando SALICA deverá ingressar os coeficientes respectivos. A cubagem do povoamento apresenta-se na Figura 52, podendo observar que estes valores são levemente superiores que os resultantes do sortimento (Figura 41), lho qual explica-se pela própria natureza dos volumes, uno total e o outro comercial.

Resultado do volume

Considerando a função de volume 1 e a função hipsométrica 4

Híbrido	Projeto	Talhão	Idade	Nº parcelas	Tot volume/ha	Volume Talhão
I-488	CAF	32	7	3	104,3529	2619,2578
I-488	CAF	32	8	3	118,6160	2977,2616
I-488	CAF	32	9	3	140,5408	3527,5741
I-488	CAF	32	10	3	161,3301	4049,3855
I-488	CAF	32	11	3	171,9036	4314,7804
I-488	CAF	32	12	3	196,8753	4941,5700
I-488	CAF	32	13	3	207,2789	5202,7004

Salica

Continuar Imprimir Sair

FIGURA 52 - TELA QUE APRESENTA O CUBAGEM DO POVOAMENTO

### 8.1.5 Módulo de Simulação

Este módulo combina a informação obtida nos anteriores módulos e gera a prognose de crescimento e rendimento por classe diamétrica. Na Figura 53 apresenta-se a informação que deve ser proporcionado pelo usuário para dar início ao processo de simulação.

Simulação

Selecione

Função Índice de sítio 3)  $H_{dom} = b_0 + b_1 \text{ idade}^{1/2}$

Número de classes 3

Função Hipsométrica 3)  $h = b_0 D_{ap}^{b_1}$

Função Volumétrica 3)  $V = b_0 D_{ap}^{b_1} h^{b_2}$

Distribuição diamétrica 3) Normal

Salica

Continuar Sair

FIGURA 53 - TELA QUE APRESENTA A INFORMAÇÃO BÁSICA REQUERIDA PARA A SIMULAÇÃO

O sistema SALICA confere sim os coeficientes das funções selecionadas na Figura 53, foram armazenados na pasta de trabalho, lho qual acontece automaticamente sim a funções foram ajustadas com o sistema SALICA, de lho contrario o usuário devera ingressar-lhos.

Em seguida o usuário indica sim a simulação baseara-se numa medição de parcela ou num índice de sítio predefinido (Figura 43 p. 83) ao igual que a estimação pontual.

Posteriormente solicita-se informação adicional (Figura 54) a fim de estruturar o processo de simulação. O usuário poderá modificar a estimativa do diâmetro promédio em função de conhecimento de fatos que assim lho aconselhem, dentro dos limites da estimativa. Sim o usuário deseja é possível obter o sortimento das classes diamétricas consideradas, para lho qual devera selecionar-se uma função de afilamento (Figura 9a) e especificar as dimensões dos produtos a obter (Figura 40). Também o usuário poderá otimizar a distribuição selecionada, minimizando as diferenças entre a prognose a nível de povoamento e a prognose a nível de classe diamétrica.

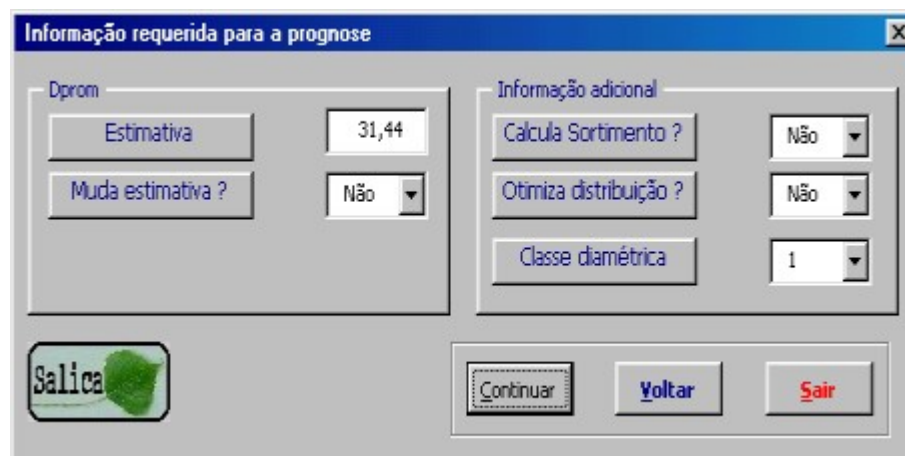


FIGURA 54 - TELA QUE APRESENTA A INFORMAÇÃO ADICIONAL PARA A PROGNOSE

Na Figura 55 e Figura 56, apresenta-se a mesma distribuição sem e com otimização da distribuição selecionada. O leitor pode conferir que quando otimiza-se a



distribuição, o diâmetro médio, área basal e número de árvores coincide com as estimativas a nível de povoamento em tanto o volume apresenta sobreestimação. No caso sem otimização, todas as estimativas são subestimadas.



FIGURA 55 - TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DA PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA, SEM OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO



FIGURA 56 - TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DA PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA, COM OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO

## 8.2 AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES

TABELA 28 - INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA O DIÂMETRO DE CADA TORA

Função	Indicadores de desempenho												Ranking													
	Híbrido I-488						Híbrido I-63/51						Híbrido I-488						Híbrido I-63/51							
	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR		
1	1,599	0,969	0,111	1,61	1,600	E3	2,027	2,285	0,948	0,180	2,306	1,176	E3	2,187	10,0	10,0	7,0	10,0	12,0	4,0	8,0	8,0	6,0	9,0	11,0	4,0
2	1,514	0,972	0,010	1,514	1,354	E3	6,389	2,134	0,955	0,016	2,134	9,461	E2	2,786	4,0	4,5	1,0	4,0	8,0	8,0	6,0	5,0	1,0	7,0	6,0	5,0
3	1,813	0,96	0,471	1,75	1,355	E3	8,869	2,767	0,924	0,760	2,659	9,089	E2	8,666	14,0	14,0	14,0	14,0	9,0	11,0	14,0	14,0	12,0	13,0	5,0	9,0
4	1,576	0,97	0,358	1,534	1,309	E3	5,037	2,125	0,955	0,542	2,054	9,466	E2	1,24	9,0	8,5	13,0	8,0	7,0	7,0	5,0	5,0	10,0	4,0	7,0	3,0
5	1,525	0,972	0,076	1,522	1,305	E3	13,164	2,068	0,958	0,176	2,059	1,146	E3	20,509	6,0	4,5	5,0	5,0	6,0	12,0	3,0	3,0	5,0	5,0	10,0	12,0
6	1,542	0,971	0,215	1,526	9,085	E2	0,558	2,51	0,937	0,777	2,385	5,593	E2	7,973	7,0	7,0	9,0	6,0	1,0	2,0	11,0	11,0	14,0	10,0	1,0	8,0
7	1,363	0,977	0,030	1,363	1,212	E3	2,887	1,68	0,972	0,045	1,679	8,588	E2	0,115	1,0	1,0	3,0	1,0	3,0	6,0	1,0	1,0	2,0	1,0	3,0	1,0
8	1,668	0,966	0,023	1,669	2,423	E5	188,769	2,683	0,928	0,067	2,683	6,133	E5	407,504	11,0	11,0	2,0	11,0	15,0	14,0	13,0	13,0	4,0	14,0	15,0	15,0
9	1,506	0,972	0,213	1,55	1,240	E3	0,236	2,322	0,946	0,499	2,475	1,181	E3	9,182	3,0	4,5	8,0	9,0	4,0	1,0	9,0	9,0	7,0	12,0	12,0	11,0
10	1,759	0,962	0,241	1,742	1,389	E3	8,24	2,568	0,934	0,772	2,448	1,001	E3	6,032	13,0	13,0	10,0	13,0	10,0	9,0	12,0	12,0	13,0	11,0	8,0	6,0
11	1,499	0,973	0,048	1,501	1,484	E3	2,15	1,808	0,968	0,064	1,81	1,016	E3	0,741	2,0	2,0	4,0	3,0	11,0	5,0	2,0	2,0	3,0	2,0	9,0	2,0
12	1,518	0,972	0,31	1,485	1,005	E3	1,532	2,119	0,955	0,534	2,049	7,132	E2	9,077	5,0	4,5	11,0	2,0	2,0	3,0	4,0	5,0	8,0	3,0	2,0	10,0
13	1,563	0,97	0,312	1,531	2,395	E3	16,674	2,182	0,953	0,538	2,113	3,041	E3	30,039	8,0	8,5	12,0	7,0	13,0	13,0	7,0	7,0	9,0	6,0	13,0	13,0
14	1,701	0,965	0,079	1,699	1,282	E3	8,612	2,352	0,945	0,601	2,273	8,926	E2	6,658	12,0	12,0	6,0	12,0	5,0	10,0	10,0	10,0	11,0	8,0	4,0	7,0
15	2,198	0,941	0,859	2,655	2,207	E5	195,2	2,78	0,923	0,824	3,125	1,939	E5	248,419	15,0	15,0	15,0	15,0	14,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	14,0	14,0

Onde:

EQ	=	Erro quadrático promédio
r <sup>2</sup> a	=	coeficiente de determinação ajustado
D	=	desvio
SD	=	desvio padrão das diferenças
SSRR	=	soma dos quadrados de resíduos relativos
PR	=	porcentagem dos resíduos

TABELA 29 - INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA O VOLUME DE CADA TORA

Função	Indicadores de desempenho												Ranking											
	Híbrido I-488						Híbrido I-63/51						Híbrido I-488					Híbrido I-63/51						
	EQ	R <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR
1	0,007	0,980	0,000	0,007	6,785 E3	11,493	0,010	0,962	0,001	0,011	5,867 E3	24,916	2,5	1,5	2,5	5,0	9,0	10,0	2,5	3,0	2,5	8,0	9,0	9,0
2	0,007	0,980	0,000	0,007	4,592 E3	0,875	0,011	0,955	0,001	0,012	3,670 E3	10,358	2,5	1,5	2,5	5,0	4,0	1,0	6,0	7,0	2,5	13,0	4,0	5,0
3	0,008	0,974	0,003	0,007	4,203 E3	4,177	0,012	0,951	0,004	0,011	3,083 E3	0,244	8,0	7,5	12,0	5,0	3,0	5,0	10,5	9,0	8,5	8,0	3,0	1,0
4	0,008	0,973	0,003	0,007	5,915 E3	3,076	0,012	0,946	0,006	0,011	4,906 E3	14,546	8,0	9,5	12,0	5,0	6,0	3,0	10,5	12,5	13,5	8,0	8,0	6,0
5	0,008	0,975	0,002	0,007	1,885 E4	31,489	0,011	0,955	0,004	0,011	1,892 E4	57,062	8,0	6,0	7,5	5,0	12,0	12,0	6,0	7,0	8,5	8,0	12,0	12,0
6	0,007	0,977	0,002	0,007	6,135 E3	6,183	0,011	0,955	0,004	0,011	2,414 E3	17,86	2,5	4,5	7,5	5,0	8,0	7,0	6,0	7,0	8,5	8,0	1,0	8,0
7	0,008	0,977	0,001	0,008	7,843 E3	10,578	0,009	0,970	0,000	0,009	1,403 E4	41,871	8,0	4,5	5,0	10,5	10,0	9,0	1,0	1,0	1,0	1,5	10,0	10,0
8	0,007	0,978	0,002	0,007	1,019 E4	17,798	0,011	0,956	0,003	0,011	1,721 E4	42,688	2,5	3,0	7,5	5,0	11,0	11,0	6,0	5,0	5,5	8,0	11,0	11,0
9	0,026	0,719	0,009	0,030	3,074 E6	482,918	0,047	0,229	0,021	0,060	9,603 E6	1346,213	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
10	0,009	0,969	0,002	0,009	4,167 E3	4,796	0,013	0,946	0,005	0,011	4,037 E3	5,398	12,5	12,0	7,5	12,5	2,0	6,0	13,0	12,5	11,5	8,0	6,0	3,0
11	0,008	0,972	0,003	0,008	5,633 E4	81,761	0,010	0,966	0,003	0,009	2,537 E4	65,816	8,0	11,0	12,0	10,5	14,0	14,0	2,5	2,0	5,5	1,5	13,0	13,0
12	0,008	0,973	0,003	0,007	5,935 E3	3,503	0,012	0,947	0,006	0,011	4,885 E3	14,783	8,0	9,5	12,0	5,0	7,0	4,0	10,5	11,0	13,5	8,0	7,0	7,0
13	0,008	0,974	0,003	0,007	4,959 E3	1,024	0,012	0,949	0,005	0,011	3,941 E3	8,771	8,0	7,5	12,0	5,0	5,0	2,0	10,5	10,0	11,5	8,0	5,0	4,0
14	0,009	0,966	0,000	0,009	3,536 E3	6,448	0,011	0,960	0,004	0,010	2,998 E3	2,072	12,5	13,0	2,5	12,5	1,0	8,0	6,0	4,0	8,5	3,0	2,0	2,0
15	0,012	0,945	0,000	0,012	3,931 E4	71,194	0,017	0,896	0,002	0,017	2,548 E4	78,488	14,0	14,0	2,5	14,0	13,0	13,0	14,0	14,0	4,0	14,0	14,0	14,0

Onde:

- EQ = Erro quadrático promédio  
r<sup>2</sup>a = coeficiente de determinação ajustado  
D = desvio  
SD = desvio padrão das diferenças  
SSRR = soma dos quadrados de resíduos relativos  
PR = porcentagem dos resíduos

TABELA 30 - INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS

Função	Indicadores de desempenho												Ranking											
	Híbrido I-488						Híbrido I-63/51						Híbrido I-488						Híbrido I-63/51					
	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR
1	1,934	0,819	0,096	1,930	7,292	0,339	2,452	0,762	0,164	2,446	12,199	0,564	10,0	10,0	11,0	10,0	9,0	6,0	9,0	9,0	11,0	9,0	9,0	6,0
2	1,923	0,821	0,095	1,920	7,200	0,335	2,442	0,764	0,161	2,435	12,049	0,557	8,5	8,5	10,0	9,0	8,0	5,0	8,0	8,0	10,0	8,0	8,0	5,0
3	1,912	0,823	0,000	1,911	7,727	0,516	2,463	0,760	0,000	2,462	14,801	0,837	7,0	7,0	4,5	7,0	10,0	7,0	10,0	10,0	4,5	10,0	10,0	7,0
4	1,923	0,821	0,101	1,919	7,154	0,317	2,439	0,765	0,173	2,431	11,881	0,525	8,5	8,5	12,0	8,0	7,0	4,0	7,0	7,0	12,0	7,0	6,0	4,0
5	1,834	0,837	0,103	1,830	6,396	0,116	2,345	0,782	0,174	2,337	10,189	0,199	5,0	5,0	13,0	5,0	5,0	2,0	1,5	2,0	13,0	1,0	3,0	2,0
6'	1,823	0,839	0,143	1,817	6,170	0,043	2,353	0,781	0,232	2,341	9,985	0,065	4,0	3,0	14,0	2,0	1,0	1,0	4,5	4,5	14,0	2,0	1,0	1,0
7	1,819	0,839	0,070	1,817	6,228	0,288	2,348	0,782	0,117	2,343	10,075	0,467	2,0	3,0	9,0	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	9,0	3,0	2,0	3,0
8' - 9	1,818	0,840	0,000	1,817	6,280	0,565	2,345	0,782	0,000	2,344	10,518	0,888	1,0	1,0	4,5	2,0	3,0	11,0	1,5	2,0	4,5	4,0	4,0	10,0
10	1,822	0,839	0,000	1,821	6,373	0,543	2,353	0,781	0,000	2,352	11,061	0,856	3,0	3,0	4,5	4,0	4,0	9,0	4,5	4,5	4,5	5,0	5,0	9,0
11	2,149	0,776	0,000	2,148	11,161	0,603	2,757	0,699	0,000	2,755	23,125	0,998	12,5	12,5	4,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	4,5	12,5	12,5	12,5
12	2,149	0,776	0,000	2,148	11,161	0,603	2,757	0,699	0,000	2,755	23,125	0,998	12,5	12,5	4,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	4,5	12,5	12,5	12,5
13	2,183	0,769	0,000	2,182	11,683	0,622	2,794	0,691	0,000	2,792	24,180	1,028	14,0	14,0	4,5	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	4,5	14,0	14,0	14,0
14	1,842	0,835	0,000	1,841	6,698	0,524	2,378	0,776	0,000	2,377	12,032	0,839	6,0	6,0	4,5	6,0	6,0	8,0	6,0	6,0	4,5	6,0	7,0	8,0
15	2,027	0,801	0,000	2,026	9,397	0,547	2,603	0,732	0,000	2,601	18,898	0,896	11,0	11,0	4,5	11,0	11,0	10,0	11,0	11,0	4,5	11,0	11,0	11,0

Onde:

- EQ = Erro quadrático promédio  
r<sup>2</sup>a = coeficiente de determinação ajustado  
D = desvio  
SD = desvio padrão das diferenças  
SSRR = soma dos quadrados de resíduos relativos  
PR = porcentagem dos resíduos

TABELA 31 - INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO

Função	Indicadores de desempenho												Ranking											
	Híbrido I-488						Híbrido I-63/51						Híbrido I-488						Híbrido I-63/51					
	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR
1	1,111	0,941	1,476	1,106	0,007	6,352	1,373	0,927	1,322	1,361	0,011	5,881	8,0	5,5	6,5	8,0	6,5	7,0	8,0	7,5	5,0	6,0	7,5	6,0
2	1,105	0,941	1,477	1,100	0,007	6,351	1,365	0,928	1,344	1,357	0,010	5,907	6,0	5,5	8,0	7,0	6,5	6,0	3,5	4,5	10,0	3,5	1,5	9,0
3	1,173	0,934	1,495	1,170	0,007	6,410	1,419	0,922	1,370	1,415	0,011	6,070	12,0	12,0	12,0	12,0	6,5	10,0	12,0	12,0	11,5	12,0	7,5	12,0
4	1,118	0,940	1,469	1,113	0,007	6,330	1,391	0,925	1,314	1,383	0,011	5,835	9,0	9,0	3,5	9,0	6,5	3,0	9,0	9,5	1,0	9,0	7,5	1,0
5' -15	1,094	0,942	1,489	1,092	0,007	6,421	1,351	0,929	1,370	1,347	0,011	6,032	1,0	1,5	11,0	1,0	6,5	12,0	1,0	1,5	11,5	1,0	7,5	11,0
6	1,124	0,939	1,467	1,121	0,007	6,318	1,397	0,925	1,321	1,393	0,011	5,877	10,0	10,0	2,0	10,0	6,5	1,0	10,0	9,5	4,0	10,0	7,5	3,5
7	1,102	0,941	1,476	1,097	0,007	6,383	1,369	0,928	1,320	1,361	0,011	5,877	3,0	5,5	6,5	3,0	6,5	9,0	5,5	4,5	3,0	6,0	7,5	3,5
8	1,103	0,941	1,481	1,098	0,007	6,412	1,369	0,928	1,319	1,361	0,011	5,879	4,0	5,5	10,0	4,5	6,5	11,0	5,5	4,5	2,0	6,0	7,5	5,0
9' -10'	1,097	0,942	1,474	1,095	0,007	6,377	1,358	0,929	1,335	1,354	0,011	5,929	2,0	1,5	5,0	2,0	6,5	8,0	2,0	1,5	9,0	2,0	7,5	10,0
11	1,104	0,941	1,464	1,099	0,007	6,319	1,370	0,927	1,329	1,362	0,011	5,889	5,0	5,5	1,0	6,0	6,5	2,0	7,0	7,5	7,0	8,0	7,5	7,0
12-13'	1,106	0,941	1,469	1,098	0,007	6,342	1,365	0,928	1,331	1,357	0,010	5,902	7,0	5,5	3,5	4,5	6,5	5,0	3,5	4,5	8,0	3,5	1,5	8,0
14	1,137	0,938	1,478	1,134	0,007	6,340	1,404	0,924	1,323	1,400	0,011	5,860	11,0	11,0	9,0	11,0	6,5	4,0	11,0	11,0	6,0	11,0	7,5	2,0

Onde:

- EQ = Erro quadrático promédio  
r<sup>2</sup>a = coeficiente de determinação ajustado  
D = desvio  
SD = desvio padrão das diferenças  
SSRR = soma dos quadrados de resíduos relativos  
PR = porcentagem dos resíduos

TABELA 32 - INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE VOLUME DA ÁRVORE COMPLETA

Função	Indicadores de desempenho												Ranking											
	Híbrido I-488						Híbrido I-63/51						Híbrido I-488						Híbrido I-63/51					
	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR	EQ	r <sup>2</sup> a	D	SD	SSRR	PR
1	0,067	0,980	0,039	0,055	4,965 E1	17,220	0,083	0,973	0,048	0,068	6,751 E1	23,527	10,5	10,5	10,0	12,0	7,0	5,0	10,0	10,0	7,0	12,0	5,0	3,0
2	0,068	0,979	0,054	0,041	4,354 E5	740,434	0,091	0,968	0,074	0,053	2,321 E5	857,104	12,5	12,5	12,5	9,0	13,0	13,5	11,5	11,5	11,5	9,5	13,0	13,0
3	0,058	0,985	0,043	0,040	6,483 E4	330,249	0,078	0,977	0,060	0,049	7,074 E4	510,997	9,0	9,0	11,0	7,0	11,0	12,0	9,0	9,0	10,0	8,0	12,0	12,0
4	0,056	0,986	0,037	0,042	3,262 E4	164,157	0,073	0,979	0,049	0,054	1,942 E4	210,252	8,0	8,0	8,5	11,0	10,0	10,0	8,0	8,0	8,0	11,0	10,0	9,0
5	0,133	0,921	0,068	0,114	3,648 E1	17,955	1,281	0,810	0,507	1,175	5,450 E2	69,349	14,0	14,0	14,0	14,0	4,0	7,0	14,0	14,0	14,0	14,0	7,0	8,0
6	0,068	0,979	0,054	0,041	4,354 E5	740,434	0,091	0,968	0,074	0,053	2,321 E5	857,105	12,5	12,5	12,5	9,0	14,0	13,5	11,5	11,5	11,5	9,5	14,0	14,0
7' – 12'	0,039	0,993	0,026	0,029	5,117 E3	84,992	0,054	0,989	0,034	0,041	1,063 E3	66,920	1,0	3,0	3,0	1,0	8,0	8,0	1,0	1,0	1,5	2,0	8,0	7,0
8	0,040	0,993	0,026	0,031	2,580 E1	13,274	0,057	0,988	0,037	0,043	5,456 E1	25,066	2,0	3,0	3,0	4,0	2,0	2,0	3,0	2,5	4,0	4,0	4,0	5,0
9'	0,052	0,988	0,031	0,041	3,694 E1	14,835	0,058	0,987	0,041	0,040	1,792 E4	246,271	7,0	6,5	6,0	9,0	5,0	4,0	5,0	5,0	6,0	1,0	9,0	10,0
10	0,041	0,993	0,025	0,031	2,323 E1	12,525	0,056	0,988	0,034	0,044	3,207 E1	18,702	4,0	3,0	1,0	4,0	1,0	1,0	2,0	2,5	1,5	5,5	1,0	1,0
11	0,041	0,993	0,028	0,030	1,099 E4	125,496	0,058	0,987	0,036	0,045	4,201 E1	21,257	4,0	3,0	5,0	2,0	9,0	9,0	5,0	5,0	3,0	7,0	2,0	2,0
13'	0,051	0,988	0,037	0,035	2,423 E5	327,017	0,067	0,982	0,051	0,044	5,380 E4	373,998	6,0	6,5	8,5	6,0	12,0	11,0	7,0	7,0	9,0	5,5	11,0	11,0
14	0,067	0,980	0,036	0,056	2,813 E1	14,256	0,182	0,872	0,077	0,165	4,589 E1	24,140	10,5	10,5	7,0	13,0	3,0	3,0	13,0	13,0	13,0	13,0	3,0	4,0
15	0,041	0,993	0,026	0,031	4,674 E1	17,398	0,058	0,987	0,040	0,042	1,723 E2	38,335	4,0	3,0	3,0	4,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	3,0	6,0	6,0

Onde:

- EQ = Erro quadrático promédio  
r<sup>2</sup>a = coeficiente de determinação ajustado  
D = desvio  
SD = desvio padrão das diferenças  
SSRR = soma dos quadrados de resíduos relativos  
PR = porcentagem dos resíduos

## **9 ANEXOS**

TABELA 33 - FUNÇÕES DE AFILAMENTO AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA

Autor		Descrição
1)	Amidon e Elliot (1983)	$d_i = b_1 D_{ap} x + b_2 (h^2 - h_i^2) \left( \frac{h_i - 1,3}{h^2} \right)$
2)	Bennett e Swindel (1972)	$d_i = b_1 D_{ap} x + b_2 h (h - h_i) (h - 1,3) + b_3 (h - h_i) (h - 1,3) (h + h_i + 1,3)$
3)	Coffré (1983)	$\frac{d_i}{D_{ap}} = b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3$
4)	Forslund (1982)	$\frac{d_i}{D_{ap}} = \left( 1 - (z^{b_1}) \right)^{[1/b_2]}$
5)	Goulding e Murray (1976)	$\left( \frac{d_i}{D_{ap}} \right)^2 = b_1 y + b_2 y^2 + b_3 y^3 + b_4 y^4 + b_5 y^5$
6)	Kozak (1969)	$\left( \frac{d_i}{D_{ap}} \right)^2 = b_1 (z - 1) + b_2 (z^2 - 1)$
7)	Kozak (1988)	$d_i = b_1 D_{ap} b_2 b_3 D_{ap} \left[ \frac{1 - \sqrt{z}}{1 - \sqrt{0,2}} \right] \left( b_4 z^2 + b_5 Lr (z + 0,001) + b_6 \sqrt{z} + b_7 e^{(z)} + b_8 \frac{D_{ap}}{h} \right)$
8)	Kozak, <i>et al.</i> (1969)	$\left( \frac{d_i}{D_{ap}} \right)^2 = b_0 + b_1 z + b_2 z^2$
9)	Newnham (1988)	$\frac{d_i}{D_{ap}} = x^{1/e} \left( b_0 + b_1 x + b_2 \left( \frac{D_{ap}}{h} \right)^2 + b_3 x^2 \left( \frac{D_{ap}}{h} \right) + b_4 \sqrt{z} + b_5 D_{ap} z \right)$
10)	Ormerod (1973)	$\frac{d_i}{D_{ap}} = b_0 x^{b_1}$
11)	Pérez (1990)	$d_i = b_1 D_{ap} b_2 \left[ \frac{1 - \sqrt{z}}{1 - \sqrt{0,20}} \right] \left( b_3 z^2 + b_4 Lr (z + 0,001) + b_5 \frac{D_{ap}}{h} \right)$
12)	Prodan (1965)	$\frac{d_i}{D_{ap}} = b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + b_3 z^3 + b_4 z^4 + b_5 z^5$
13)	Prodan (1965)	$\frac{d_i}{D_{ap}} = b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + b_3 z^3 + b_4 z^4$
14)	Reed e Green (1987)	$\left( \frac{d_i}{D_{ap}} \right)^2 = b_0 (1 - z)^{b_1}$
15)	Thomas e Parresol (1991)	$\left( \frac{d_i}{D_{ap}} \right)^2 = b_1 (z - 1) + b_2 \text{seno}(b_3 \pi z) + b_4 \text{cot angente} \left( \pi \frac{z}{2} \right)$

Onde:

b1, .. bn = coeficientes de regressão

Dap = diâmetro a 1,3 m (cm)

h = altura total da árvore (m)

y =  $\frac{h - h_i}{h}$ d<sub>i</sub> = diâmetro na altura<sub>i</sub> (cm)h<sub>i</sub> = altura<sub>i</sub> (m)x =  $\frac{h - h_i}{h - 1,3}$ z =  $\frac{h_i}{h}$



TABELA 34 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA

Distribuição	Descrição da função de distribuição de probabilidade
Beta	$f(d) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha) \Gamma(\beta)} \frac{(d-a)^{\alpha-1} (b-d)^{\beta-1}}{(b-a)^{\alpha+\beta-1}}; \quad a \leq d \leq b; \quad a \geq 0$
Gamma	$f(d) = \frac{d^{\alpha-1} e^{-\frac{d}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}; \quad d \geq 0$
Log-Normal	$f(d) = \frac{1}{d \sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(d)-\mu}{\sigma} \right)^2}; \quad d > 0$
Normal	$f(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{d-\mu}{\sigma} \right)^2}; \quad d > 0$
S <sub>B</sub> de Johnson	$f(d) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(d-\varepsilon)(\varepsilon+\lambda-d)} e^{\left( -\frac{1}{2} \left( \gamma + \delta \ln \left( \frac{d-\varepsilon}{\varepsilon+\lambda-d} \right) \right)^2 \right)}; \quad 0 < \varepsilon < d < \varepsilon + \lambda; \quad \lambda > 0$ $-\infty < \gamma < +\infty; \quad \delta > 0$
Weibull 2P	$f(d) = \frac{c}{b} \left( \frac{d}{b} \right)^{c-1} e^{-\left( \frac{d}{b} \right)^c}; \quad d \geq 0; \quad b > 0; \quad e \quad c > 0$
Weibull 3P	$f(d) = \frac{c}{b} \left( \frac{d-a}{b} \right)^{c-1} e^{-\left( \frac{d-a}{b} \right)^c}; \quad 0 \leq a \leq d \leq \infty; \quad b > 0; \quad e \quad c > 0$

TABELA 35 – MÉTODOS DE AJUSTE UTILIZADOS EM CADA DISTRIBUIÇÃO

Distribuição	Método de ajuste	Estimadores
Beta	Momentos (B1)	$\alpha = \frac{(\bar{d}-a)((b-\bar{d})(\bar{d}-a)-\sigma^2)}{\sigma^2(b-a)}$ $\beta = \frac{(b-\bar{d})((b-\bar{d})(\bar{d}-a)-\sigma^2)}{\sigma^2(b-a)}$ <p>a = Limite inferior primeira classe diamétrica b = Limite superior última classe diamétrica</p>
	Momentos (B2) SCOLFORO (1998)	a = Diâmetro mínimo b = Diâmetro máximo
Gamma	Momentos (G1) SCOLFORO (1998)	$\alpha = \frac{\bar{d}^2}{\sigma^2}$ $\beta = \frac{\sigma^2}{\bar{d}}$
	Máxima verossimilhança (G2) (NELSON, 1964)	$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3} \left( \text{Ln}(\bar{d}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Ln}(d_i) \right)}}{4 \left( \text{Ln}(\bar{d}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Ln}(d_i) \right)}$ $\beta = \frac{\bar{d}}{\alpha}$
Log Normal	Momentos ou máxima verossimilhança SCOLFORO (1998)	$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Ln}(d_i)$ $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \text{Ln}(d_i)^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n \text{Ln}(d_i) \right)^2}{n-1}}$
Normal	Momentos ou máxima verossimilhança SCOLFORO (1998)	$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$ $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n d_i \right)^2}{n-1}}$
S <sub>B</sub> de Johnson	Máxima verossimilhança (SB1) SCOLFORO (1998)	<p>Para ε e λ conhecidos</p> $f_i = \text{Ln} \left( \frac{d_i - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - d_i} \right)$ $\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i$ $\sigma_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n f_i \right)^2}{n-1}}$

TABELA 35 – MÉTODOS DE AJUSTE UTILIZADOS EM CADA DISTRIBUIÇÃO

Distribuição	Método de ajuste	Continuação Estimadores
S <sub>B</sub> de Johnson	Máxima verossimilhança (SB1) SCOLFORO (1998)	$\delta = \frac{1}{\sigma f}$ $\gamma = -\frac{\bar{f}}{\sigma f}$
	Momentos (SB2) JOHNSON e KITCHEN (1971)	<p>Para <math>\varepsilon</math> e <math>\lambda</math> conhecidos</p> $\mu' = \frac{\bar{d} - \varepsilon}{\lambda}$ $\sigma' = \frac{\sigma}{\lambda}$ $\delta \approx \frac{\mu'(1-\mu')}{\sigma'} + \frac{\sigma'}{4} \left( \frac{1}{\mu'(1-\mu')} - 8 \right)$ $\gamma \approx \delta \operatorname{Lr} \left( \frac{1-\mu'}{\mu'} \right) + \frac{0,5-\mu'}{\delta}$
	Knoebel-Burkhart (SB3) KNOEBEL e BURKHART (1991)	<p><math>\varepsilon</math> = Diâmetro mínimo -1,3  <math>\lambda</math> = Diâmetro máximo - <math>\varepsilon</math> + 3,8</p> $\delta = \frac{Z_{95}}{\operatorname{Lr} \left( \frac{D_{95} - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - D_{95}} \right) - \operatorname{Lr} \left( \frac{D_{50} - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - D_{50}} \right)}$ $\gamma = -\delta \operatorname{Lr} \left( \frac{D_{50} - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - D_{50}} \right)$
	Moda (SB4) HAFLEY e BUFORD (1985)	<p>Para <math>\varepsilon</math> e <math>\lambda</math> conhecidos</p> $\delta \approx \frac{\lambda}{4\sigma}$ $\gamma = \frac{2d_m - 2\varepsilon - \lambda}{\lambda\delta} - \delta \operatorname{Lr} \left( \frac{d_m - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - d_m} \right)$
	Regressão linear (SB5) ZHOU e McTAGUE (1996)	<p>Para <math>\varepsilon</math> e <math>\lambda</math> conhecidos  <math>D_i = 0,1; 0,2 \dots, 0,8; 0,9</math></p> $f_i = \operatorname{Lr} \left( \frac{D_i - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - D_i} \right)$ $Z_i = \frac{D_i - \bar{d}}{\sigma}$ $\delta = \frac{\sum_{i=1}^9 f_i Z_i - \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 f_i \sum_{i=1}^9 Z_i}{\sum_{i=1}^9 f_i^2 - \frac{1}{9} \left( \sum_{i=1}^9 f_i \right)^2}$ $\gamma = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 Z_i - \delta \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 f_i$
Weibull 2P	Máxima verossimilhança (W2P1) SCOLFORO (1998)	$n = c \left( \frac{\sum_{i=1}^n d_i^c \operatorname{Ln}(d_i)}{\sum_{i=1}^n d_i^c} - \sum_{i=1}^n \operatorname{Ln}(d_i) \right)$

TABELA 35 – MÉTODOS DE AJUSTE UTILIZADOS EM CADA DISTRIBUIÇÃO

Distribuição	Método de ajuste	Conclusão Estimadores
Weibull 2P	Máxima verossimilhança (W2P1) SCOLFORO (1998)	$b = c \sqrt[n]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^c}$
	Percentis (w2P2) BAILEY e DELL (1973)	$D_i = 0,2 \text{ e } 0,8$ $x_i = \text{Ln}(-\text{Ln}(1-i))$ $y_i = \text{Ln}(D_i)$ $c = \frac{\sum_{i=1}^2 x_i^2 - \frac{1}{2} \left( \sum_{i=1}^2 x_i \right)^2}{\sum_{i=1}^2 x_i y_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 x_i \sum_{i=1}^2 y_i}$ $b = e^{\left( \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 y_i - \frac{1}{c} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 x_i \right)}$
	Momentos (W2P3) SCOLFORO (1998)	$\frac{\sigma}{\bar{d}} = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1+\frac{2}{c}\right) - \left[\Gamma\left(1+\frac{1}{c}\right)\right]^2}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{c}\right)}$ $b = \frac{\bar{d}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{c}\right)}$
Weibull 3P	Máxima verossimilhança (W3P1) Adaptação de SCOLFORO (1998)	Seja a conhecida então $d_i' = d_i - a$ ; e aplica-se as fórmulas de W2P1
	Percentis (W3P2) Adaptação de SCOLFORO (1998)	Seja a conhecida então $d_i' = d_i - a$ ; e aplica-se as fórmulas de W2P2
	Momentos (W3P3) Adaptação de SCOLFORO (1998)	Seja a conhecida então $d_i' = d_i - a$ ; e aplica-se as fórmulas de W2P3

Onde:

$\alpha, \beta$	=	parâmetros da distribuição Beta ou Gamma
$\mu, \sigma$	=	parâmetros da distribuição Log-Normal ou Normal
$\delta, \varepsilon, \gamma, \lambda$	=	parâmetros da distribuição SB Johnson
$a, b, c$	=	parâmetros da distribuição Weibull
$\bar{d}$	=	diâmetro médio da amostra
$\sigma^2$	=	variância dos diâmetros da amostra
$n$	=	quantidade total de diâmetros na amostra
$d_i$	=	i-ésimo diâmetro da amostra ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
$Z_i$	=	valor normal padrão correspondente ao diâmetro do percentil $i$
$D_i$	=	diâmetro do percentil $i$
$d_m$	=	moda dos diâmetros da amostra
$\Gamma$	=	função Gamma

TABELA 36 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ACUMULADA

Distribuição	Descrição
Beta	$F(d) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta) d^\alpha \text{hypergeom}([\alpha, 1 - \beta], [1 + \alpha], d)}{\Gamma(\alpha) \Gamma(\beta)}$
Gamma	$F(d) = \frac{\text{Gammauno} + \text{Gammadados}}{\Gamma(\alpha)}$
	Gammauno = $\frac{d^\alpha \left(\frac{1}{\beta}\right)^\alpha \left(\frac{d}{\beta}\right)^{-\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{d}{2\beta}} \text{WhittakerM}\left(\frac{\alpha}{2}, \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{2}, \frac{d}{\beta}\right)}{\alpha(1 + \alpha)}$
	Gammadados = $\frac{\beta d^{\alpha-1} \left(\frac{1}{\beta}\right)^\alpha \left(\frac{d}{\beta}\right)^{-\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{d}{2\beta}} \text{WhittakerM}\left(\frac{\alpha}{2} + 1, \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{2}, \frac{d}{\beta}\right)}{\alpha}$
Weibull 2p	$F(d) = 1 - e^{-\left(\frac{d}{b}\right)^c}$
Weibull 3p	$F(d) = 1 - e^{-\left(\frac{d-a}{b}\right)^c}$

Onde:

- $\alpha, \beta$  = coeficientes da distribuição Beta ou Gamma
- $a, b, c$  = coeficientes da distribuição Weibull
- $F(d)$  = função de distribuição acumulada
- $\Gamma$  = Função Gamma

$$\text{hypergeom}(n, d, z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\prod_{l=1}^p \left(\frac{\Gamma(n[l] + k)}{\Gamma(n[l])}\right)^{*} z^k}{\prod_{l=1}^q \left(\frac{\Gamma(d[l] + k)}{\Gamma(d[l])}\right)^{*} k!}$$

$(i = 1 \dots p) \quad n = [n_1, n_2, \dots, n_p]$   
 $(i = 1 \dots q) \quad d = [d_1, d_2, \dots, d_q]$

$$\text{WhittakerM}(\mu, \nu, z) = e^{-\frac{z}{2}} z^{\frac{1}{2} + \nu} \text{Hypergeom}\left[\left[\frac{1}{2} + \nu - \mu\right], [1 + 2\nu], z\right]$$

TABELA 37 - FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA

	Função	Descrição	Modificação
1)	Curtis	$h = b_0 e^{\left(\frac{b_1}{Dap}\right)}$	
2)	Emrovic	$h = b_0 \left(\frac{Dap}{1+Dap}\right)^{b_1}$	
3)	Henricksen	$h = b_0 + b_1 \text{Ln}(Dap)$	
4)	Michaillof	$h_{-1,3} = b_0 e^{\left(\frac{-b_1}{Dap}\right)}$	
5)	Näslund	$h_{-1,3} = \frac{Dap^2}{(b_0 + b_1 Dap)^2}$	
6)	Prodan	$h_{-1,3} = \frac{Dap^2}{b_0 + b_1 Dap + b_2 Dap^2}$	$h_{-1,3} = \frac{Dap^2}{b_0 + b_1 Dap}$
7)	Stoffells	$h = b_0 Dap^{b_1}$	
8)	Trorey	$h = b_0 + b_1 Dap + b_2 Dap^2$	$h = b_0 + b_1 Dap$
9)		$h = b_0 + b_1 Dap$	
10)		$h = b_0 + b_1 e^{\left(\frac{-Dap}{100}\right)}$	
11)		$h = b_0 + b_1 \frac{1}{Dap+1}$	
12)		$h = b_0 + b_1 \frac{Dap}{Dap+1}$	
13)		$h = b_0 + b_1 \frac{Dap+1}{Dap}$	
14)		$h = b_0 + b_1 \sqrt{Dap}$	
15)		$h = b_0 + b_1 \frac{1}{\sqrt{Dap}}$	

TABELA 38 - FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA

	Função	Descrição	Modificação
1)	Chapman-Richards	$H_{dom} = b_0 \left( 1 - b_1 e^{(-b_2 \text{idade})} \right)^{\frac{1}{1-b_3}}$	
2)	Prodan	$H_{dom} = \frac{\text{idade}^2}{b_0 + b_1 \text{idade} + b_2 \text{idade}^2}$	
3)	Schumacher	$H_{dom} = b_0 e^{\left( \frac{-b_1}{\text{idade}} \right)}$	
4)	Schumacher	$H_{dom} = b_0 e^{\left( \frac{-b_1}{\text{idade}^{b_2}} \right)}$	
5)	Thomasius	$H_{dom} = b_0 e^{(b_1 \text{Ln}(\text{idade}) + b_2 (\text{Ln}(\text{idade}))^2)}$	$H_{dom} = b_0 e^{(b_1 \text{Ln}(\text{idade}))}$
6)		$H_{dom} = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{idade})$	
7)		$H_{dom} = b_0 + b_1 \text{idade} + b_2 \text{idade}^2$	
8)		$H_{dom} = b_0 + b_1 \text{idade} + b_2 \text{idade}^3$	
9)		$H_{dom} = b_0 + b_1 \sqrt{\text{idade}} + b_2 \text{idade}$	$H_{dom} = b_0 + b_1 \sqrt{\text{idade}}$
10)		$H_{dom} = b_0 + b_1 \text{idade} + b_2 \text{idade}^2 + b_3 \sqrt{\text{idade}}$	$H_{dom} = b_0 + b_1 \sqrt{\text{idade}}$
11)		$H_{dom} = b_0 + b_1 \text{idade} + b_2 \frac{1}{\text{idade}}$	
12)		$H_{dom} = b_0 e^{\left( b_1 \frac{1}{\text{idade}} + b_2 \left( \frac{1}{\text{idade}} \right)^2 \right)}$	
13)		$H_{dom} = b_0 e^{\left( b_1 \frac{1}{\text{idade}} + b_2 \left( \frac{1}{\text{idade}} \right)^2 + b_3 \left( \frac{1}{\text{idade}} \right)^3 \right)}$	$H_{dom} = b_0 e^{\left( b_1 \frac{1}{\text{idade}} + b_2 \left( \frac{1}{\text{idade}} \right)^2 \right)}$
14)		$H_{dom} = e^{\left( b_0 + \frac{b_1}{\text{idade} + 1} \right)}$	
15)		$H_{dom} = b_0 \text{idade}^{b_1}$	

TABELA 39 - FUNÇÕES DE VOLUME AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA

	Função	Descrição	Modificação
1)	Berkhout	$V = b_0 Dap^{b_1}$	
2)	Dissescu	$V = b_0 + b_1 Dap^2$	
3)	Dissescu	$V = b_1 Dap + b_2 Dap^2$	
4)	Hohenald	$V = b_0 + b_1 Dap + b_2 Dap^2$	
5)	Honer	$V = \frac{Dap^2}{b_0 + b_1 \frac{1}{h}}$	
6)	Kopezky	$V = b_0 + b_1 g$	
7)	Meyer	$V = b_0 + b_1 Dap + b_2 Dap^2 + b_3 Dap h + b_4 Dap^2 h$	$V = b_0 + b_1 Dap^2 + b_2 Dap^2 h$
8)	Ogaya	$V = Dap^2 (b_0 + b_1 h)$	
9)	Prodan	$V = b_0 Dap^{b_1} \ln(Dap)^{b_2} h^{b_3} \ln(h)^{b_4}$	$V = b_0 \ln(Dap)^{b_1} h^{b_2} \ln(h)^{b_3}$
10)	Schumacher	$V = b_0 Dap^{b_1} h^{b_2}$	
11)	Spurr	$V = b_0 + b_1 Dap^2 h$	
12)	Stoat	$V = b_0 + b_1 Dap^2 + b_2 Dap^2 h + b_3 h$	$V = b_0 + b_1 Dap^2 + b_2 Dap^2 h$
13)	Stoat	$V = b_0 + b_1 Dap^2 + b_2 Dap^3 + b_3 h + b_4 \frac{1}{h}$	$V = b_0 + b_1 Dap^3 + b_2 h + b_3 \frac{1}{h}$
14)	Takata	$V = \frac{Dap^2 h}{b_0 + b_1 Dap}$	
15)		$V = b_1 Dap^2 (h - 1,3)$	



TABELA 40 – INDICADORES ECONÔMICOS - FINANCEIROS

Indicador	Descrição
Valor Presente das Receitas	$VPR = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+j)^t}$
Valor Presente das Despesas	$VPD = \sum_{t=0}^n \frac{D_t}{(1+j)^t}$
Relação Benefício Custo	$RB / C = \frac{VPR}{VPD}$
Valor Presente Líquido	$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{R_t - D_t}{(1+j)^t}$
Valor Uniforme Líquido	$VUL = VPL \frac{j(1+j)^n}{(1+j)^n - 1}$
Valor Esperado da Terra	$VET = VPL \frac{(1+j)^n}{(1+j)^n - 1}$
Taxa Interna de Retorno (j*)	$\sum_{t=0}^n \frac{R_t - D_t}{(1+j^*)^t} = 0$







TABELA 45 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII RCUGA

Categoria	Atividades	Descrição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Despesa	Florestais	Colheita													209742
		Construção de caminhos												331155	
		Construção de cercos	69069												
		Controle de maleza		35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000				
		Controle de pragas		5304	5304	5304	5304	5304	5304	5304	5304	5304	5304	5304	
		Irrigação	30000	36000	36000	36000	36000	36000	36000	36000	36000	36000	36000	36000	
		Plantação	244560												
		Poda		2433	3336	7228	9730	11954							
		Preparação do solo	90000												
	Agrícolas	Semeadura beterraba açucareira	369242												
		Semeadura de milho		306930											
	Pecuárias	Compra de gado				252500									
		Fertilização da pradaria						59900	59900	59900	59900				
		Inseminação artificial					11282	11282	11282	11282	11282	11282	11282		
		Instalação de gado				24150									
		Instalação pradaria				275000									
		Manejo do gado				31051	31051	31051	31051	31051	31051	31051	31051		
		Manutenção do cerco elétrico									3250				
Receita	Florestais	Volume sortimento 1													320
		Valor sortimento 1													14660
		Volume sortimento 2													16
		Valor sortimento 2													10160
	Agrícolas	Produção beterraba açucareira		30											
		Valor beterraba açucareira		21100											
		Produção milho				11									
		Valor milho			9440										
	Pecuárias	Peso bezerro					153	153	153	144	117	81	36		
		Valor bezerro					600	600	600	600	600	600	600		
		Peso vaca					0	22,5	22,5	157,5	135	180	22,5		
		Valor vaca					460	460	460	460	460	460	460		
		Peso forragem							3722	3722	3722				
		Valor forragem							26,5	26,5	26,5				



