

# CAPÍTULO 2

## LOGICIELS POUR LA GESTION DE PLANTATIONS FORESTIÈRES

Data de submissão: 04/01/2023

Data de aceite: 03/02/2023

### Edilson Batista de Oliveira

Embrapa Florestas - Colombo, PR  
Empresa Brasileira de  
Pesquisa Agropecuária  
Ministério da Agricultura  
Pecuária e Abastecimento – BRASIL  
Sponsor pour l'édition en Français  
Agência Brasileira de  
Cooperação (ABC)  
Ministério das Relações  
Exteriores do Brasil  
edilson.oliveira@embrapa.br  
<http://lattes.cnpq.br/5631628199397955>

**RÉSUMÉ:** Logiciels développés par l'Embrapa Forêts dénommés Sis, suivi du nom populaire de l'espèce forestière ou du genre botanique (SisEucalypto, SisPinus, SisTeca, etc.), décrivent la façon dont la forêt se développe et produit, conformément aux régimes de gestion que l'utilisateur lui-même indique. L'objectif est de guider le producteur à l'aide de technologies pour la gestion et la planification forestière, en fournissant des informations qui permettent d'optimiser la production tout en augmentant les revenus. Les utilisateurs peuvent à travers les logiciels tester chaque condition de climat et de sol, ainsi que toutes les options de gestion de la forêt, rendre des pronostics de

productions actuelles et futures, effectuer des analyses économiques, puis ne choisir que la meilleure alternative afin de la mettre en œuvre sur le terrain.

**MOTS CLÉS:** Production forestière. Assortiment. Arbres. Éclaircie. Économie.

### SOFTWARES PARA O MANEJO DE PLANTAÇÕES FLORESTAIS

**RESUMO:** Softwares desenvolvidos pela Embrapa Florestas denominados Sis, seguido do nome popular da espécie florestal ou gênero botânico (SisEucalypto, SisPinus, SisTeca, etc.), descrevem como a plantação florestal cresce e produz, de acordo com os regimes de manejo que o próprio usuário indica. O objetivo é orientar o produtor utilizando tecnologias para o manejo e planejamento florestal, fornecendo informações que otimizem a produção e aumentem a renda. Os usuários podem, através dos softwares, testar para cada clima e condição de solo, todas as opções de manejo florestal, fazer previsões de produções atuais e futuras, realizar análises econômicas e, em seguida, escolher a melhor alternativa para implementar no campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Produção florestal. Sortimento. Árvores. Desbaste. Economia.

### 1 INTRODUCTION

Les logiciels présentés sont le résultat de près de trois décennies de recherche

scientifique et ont été conçus dans le but de répondre à une forte demande émanant des producteurs forestiers, conscients que les forêts administrées sans base scientifique mèneront très certainement à une grande perte de ressources économiques et environnementales.

Le travail a reçu le soutien précieux des entreprises forestières, qui étaient à la recherche d'une technologie afin de définir des régimes de gestion appropriés pour leurs plantations, et qui ont collaboré en fournissant les bases de données des inventaires de croissance et de production de leurs forêts.

Les logiciels dénommés **Sis**, suivi du nom populaire de l'espèce forestière ou du genre botanique (**SisAraucaria**, **SisPinus**, **SisTeca**, etc.), décrivent la façon dont la forêt se développe et produit, conformément aux régimes de gestion que l'utilisateur lui-même indique.

L'objectif est de guider le producteur à l'aide de technologies pour la gestion et la planification forestière, en fournissant des informations qui permettent d'optimiser la production tout en augmentant les revenus.

Les utilisateurs peuvent à travers les logiciels tester chaque condition de climat et de sol, ainsi que toutes les options de gestion de la forêt, rendre des pronostics de productions actuelles et futures, effectuer des analyses économiques, puis ne choisir que la meilleure alternative afin de la mettre en œuvre sur le terrain.

Les logiciels disposent d'un processus agile d'entrée et d'intégration de données. Ils peuvent simuler des éclaircies des forêts avec une prévision de la croissance du peuplement et de l'assortiment du bois par classe diamétrique pour des usages multiples des arbres provenant des éclaircies et de la coupe définitive.

En quantifiant le bois produit par type d'usage industriel, le producteur peut gérer ses forêts pour une production de bois orientée vers une utilisation plus rentable.

Logiciels	Espèces
SisAcacia	<i>Acacia meamsii</i>
SisAraucaria	<i>Araucaria angustifolia</i>
SisBracatinga	<i>Mimosa scabrella</i>
SisCedro	<i>Toona ciliata</i>
SisEucalipto	<i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. urograndis</i>
SisMogno	<i>Khaya spp</i>
SisPinus	<i>P. caribaea</i> , <i>P. elliottii</i> , <i>P. taeda</i>
SisTeca	<i>Tectona grandis</i>
Planin	Analyse économique

Logiciels gratuits: <https://www.cnpf.embrapa.br/software/>

## 2 QUI UTILISE LES SYSTÈMES?

- Entreprises/Institutions exerçant de diverses activités, notamment dans la gestion et la planification stratégique de la forêt.
- Entreprise d'assistance technique rurale, les instituts environnementaux, les coopératives, les secrétariats municipaux, les syndicats et les associations ont utilisé les systèmes pour apporter une assistance technique et aider à la mise en œuvre d'actions pour encourager le reboisement.
- Universités et Centres Technologiques, dans des activités d'enseignement, recherche et vulgarisation.
- Professionnels indépendants.
- Producteurs ruraux, de façon indépendante ou par une assistance technique.

## 3 GESTION FORESTIÈRE

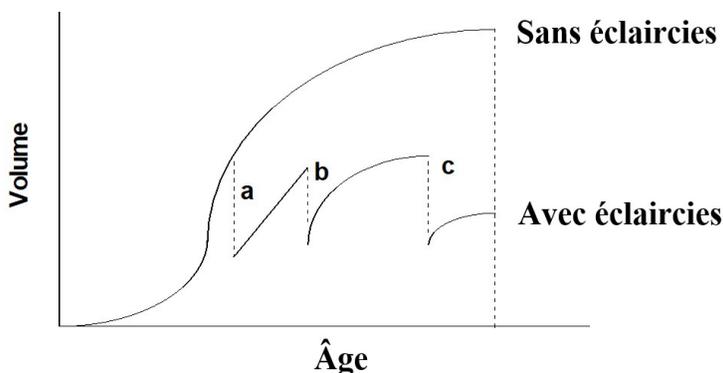
Les forêts, contrairement aux cultures agricoles, n'ont pas de systèmes de production fixes. Chaque peuplement a besoin d'une gestion spécifique, qui implique divers traitements tels que les éclaircies de différentes sortes, les intensités et périodes et les variations dans l'âge de la coupe définitive. Ces traitements peuvent varier selon des facteurs, tels que: l'objectif industriel de la production, la qualité du lieu (sol, climat), le matériel génétique, l'espacement et leur densité. Il suffit qu'un seul de ces facteurs soit modifié, pour que le régime idéal de gestion diffère lui aussi.

L'importance de ces facteurs est due à la raison suivante: au fur et à mesure que les arbres poussent dans un reboisement, la concurrence entre eux augmente concernant l'eau, la lumière et les nutriments. De ce fait, l'on procède à des éclaircies non seulement afin de réduire la concurrence excessive, mais aussi afin de prévoir un revenu anticipé au producteur. La méthode la plus répandue consiste à retirer les arbres de mauvaise qualité (e.g. les individus dominés, endommagés, blessés et/ou malades). Lorsque la compétition est plus intense, de nouvelles éclaircies doivent être réalisées, en supprimant certaines lignes et/ou des arbres, en conservant les meilleurs.

## 4 LES LOGICIELS

Pour opérationnaliser les simulateurs «**Sis**», l'utilisateur doit fournir les données d'inventaire de la forêt et les logiciels prévoient la croissance et la production, en indiquant la quantité de bois que la forêt produit, à n'importe quel âge. Ils sont capables de simuler des éclaircies et de tester n'importe quel régime de gestion forestière que l'on souhaite appliquer au niveau des peuplements .

Schéma de l'accroissement en volume en fonction de l'âge, d'une forêt avec éclaircies (a, b et c) et sans éclaircies.



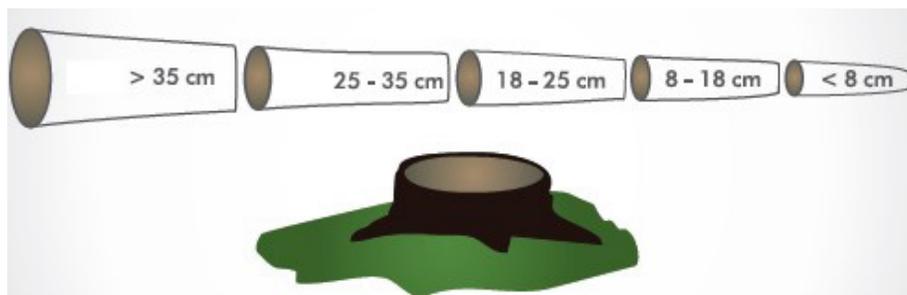
Le système aide à la prise de décision sur:

quand, combien et comment éclaircir,  
et quand procéder à la coupe définitive.

Le système indique:

L'accroissement et la production de la forêt,  
la production par classes diamétriques  
et le volume de bois par type d'utilisation industrielle

Tronc avec assortiment en fonction des types de Billons.



Les logiciels permettent de calculer la biomasse et le carbone des compartiments des arbres, en fonction des équations que l'utilisateur introduit. Il est possible, par exemple, dans le cas de l'acacia noir d'estimer le poids de l'écorce.

Pour terminer, un logiciel nommé **Planin** a été conçu. Il incorpore des méthodes d'analyse économique permettant d'obtenir une vision commune des variables biologiques et économiques, ce qui permet une configuration rapide de scénarios pour la planification de la production forestière avec une optimisation de la production de bois en plus des rendements financiers.

Le **Planin** permet de calculer des paramètres de l'évaluation économique et financière ainsi que l'analyse de sensibilité de la rentabilité à différents taux d'attractivité. Il tient compte des divers segments des coûts opérationnels de mise en œuvre, d'entretien et d'exploitation forestière. Comme résultats, il fournit des flux de trésorerie, une analyse de sensibilité et des critères d'analyse économique-financière les plus utilisés. En outre, il permet à l'utilisateur de suivre ses coûts, en publiant des rapports avec des dépenses annuelles.

#### 4.1 DONNÉES NÉCESSAIRES POUR LES SIMULATIONS

- **Configuration minimale:** Indice de station, nombre d'arbres par hectare et l'âge de la forêt.
- **Configuration complète:** Indice de station, nombre d'arbres par hectare, l'âge de la forêt et le diamètre moyen ou la surface terrière par hectare.

#### 4.2 HAUTEUR DOMINANTE ET INDICE DE STATION

La croissance des arbres est directement affectée par les caractéristiques du LIEU ou de la STATION (sol et climat). Par conséquent, l'indice de station est une mesure de la productivité potentielle de la station, c'est-à-dire, la capacité d'un espace à pouvoir permettre la croissance d'une espèce particulière.

La qualité de la **station** peut être évaluée à l'aide de la croissance en hauteur des arbres dominants (Hauteur Dominante).

La définition la plus courante est celle qui prend en considération la hauteur moyenne arithmétique des 100 plus gros bois par hectare. Une autre définition prend en compte la hauteur moyenne des 100 bois les plus hauts du peuplement ou bien la Moyenne de la hauteur de 20% des arbres possédant les diamètres les plus importants ou les plus hauts du peuplement. Dans la pratique, il est assez commun de considérer comme Hauteur Dominante, la hauteur Moyenne des quatre arbres les plus hauts ou les plus gros dans une parcelle d'échantillonnage de 400 m<sup>2</sup>.

En sciences forestières, l'indice de Station (S) a été la méthode la plus pratiquée et la plus répandue dans la détermination des classifications de qualité grâce à l'utilisation de la hauteur dominante dans un âge de référence (par exemple 15 ans). Ainsi, plus le « S » est élevé, plus la capacité de production du lieu est importante. Pour obtenir le « S » on utilise des graphiques tels que celui représenté dans la Figure 3 ou des Tableaux de Station comme dans le Tableau 1 pour le *Tectona grandis*, basé sur l'équation:

$$H = S * \exp(-4.6433 * (\text{Âge}^{-0.56} - 15^{-0.56}))$$

dans laquelle H représente la Hauteur Dominante et S l'Indice de Station.

Par exemple, au vu des informations de la croissance de *Pinus taeda*, si la Hauteur Dominante à 5 ans est de 9,0 mètres, l'Index de Station (15 ans) sera de 21,5 mètres. Si la Hauteur Dominante à 8 ans est de 12 mètres, l'IS (15 ans) sera de 18,5 m.

Tableau de classifications de station pour le *Pinus taeda*.

<b>SISPINUS</b>		<b><i>Pinus taeda</i></b>																									
		$S^{*exp}(-4,6433*(A^{\wedge}-0,56-15^{\wedge}-0,56))$																									
Âge	Indice de Station (m)																										
	$H_{dom}=IS^{*EXP}(-4,6433*(Age^{\wedge}-0,56-15^{\wedge}-0,56))$																										
	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0				
2	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1				
3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,9				
4	4,9	5,1	5,2	5,4	5,6	5,7	5,9	6,1	6,2	6,4	6,5	6,7	6,9	7,0	7,2	7,4	7,5	7,7	7,9	8,0	8,2	8,3	8,5				
5	6,3	6,5	6,7	6,9	7,1	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8	9,0	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1	10,3	10,5	10,7	10,9				
6	7,6	7,8	8,1	8,3	8,6	8,8	9,1	9,3	9,6	9,8	10,1	10,4	10,6	10,9	11,1	11,4	11,6	11,9	12,1	12,4	12,6	12,9	13,1				
7	8,7	9,0	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5	10,8	11,0	11,3	11,6	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0	14,2	14,5	14,8	15,1				
8	9,8	10,1	10,4	10,7	11,1	11,4	11,7	12,0	12,4	12,7	13,0	13,3	13,7	14,0	14,3	14,6	15,0	15,3	15,6	15,9	16,3	16,6	16,9				
9	10,7	11,1	11,4	11,8	12,1	12,5	12,8	13,2	13,6	13,9	14,3	14,6	15,0	15,3	15,7	16,1	16,4	16,8	17,1	17,5	17,8	18,2	18,6				
10	11,6	12,0	12,3	12,7	13,1	13,5	13,9	14,3	14,7	15,0	15,4	15,8	16,2	16,6	17,0	17,4	17,7	18,1	18,5	18,9	19,3	19,7	20,1				
11	12,4	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,8	15,2	15,7	16,1	16,5	16,9	17,3	17,7	18,1	18,5	19,0	19,4	19,8	20,2	20,6	21,0	21,4				
12	13,1	13,5	14,0	14,4	14,8	15,3	15,7	16,2	16,6	17,0	17,5	17,9	18,3	18,8	19,2	19,6	20,1	20,5	21,0	21,4	21,8	22,3	22,7				
13	13,8	14,2	14,7	15,2	15,6	16,1	16,5	17,0	17,5	17,9	18,4	18,8	19,3	19,7	20,2	20,7	21,1	21,6	22,1	22,5	23,0	23,4	23,9				
14	14,4	14,9	15,4	15,9	16,3	16,8	17,3	17,8	18,3	18,7	19,2	19,7	20,2	20,7	21,1	21,6	22,1	22,6	23,1	23,5	24,0	24,5	25,0				
15	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0				
16	15,6	16,1	16,6	17,1	17,6	18,1	18,7	19,2	19,7	20,2	20,7	21,3	21,8	22,3	22,8	23,3	23,8	24,4	24,9	25,4	25,9	26,4	27,0				
17	16,1	16,6	17,1	17,7	18,2	18,7	19,3	19,8	20,4	20,9	21,4	22,0	22,5	23,0	23,6	24,1	24,6	25,2	25,7	26,2	26,8	27,3	27,9				
18	16,6	17,1	17,7	18,2	18,8	19,3	19,9	20,4	21,0	21,5	22,1	22,6	23,2	23,7	24,3	24,8	25,4	25,9	26,5	27,0	27,6	28,2	28,7				
19	17,0	17,6	18,2	18,7	19,3	19,9	20,4	21,0	21,6	22,1	22,7	23,3	23,8	24,4	25,0	25,5	26,1	26,7	27,2	27,8	28,4	28,9	29,5				
20	17,5	18,0	18,6	19,2	19,8	20,4	20,9	21,5	22,1	22,7	23,3	23,9	24,4	25,0	25,6	26,2	26,8	27,3	27,9	28,5	29,1	29,7	30,3				
21	17,9	18,5	19,1	19,7	20,3	20,8	21,4	22,0	22,6	23,2	23,8	24,4	25,0	25,6	26,2	26,8	27,4	28,0	28,6	29,2	29,8	30,4	31,0				
22	18,3	18,9	19,5	20,1	20,7	21,3	21,9	22,5	23,1	23,7	24,3	25,0	25,6	26,2	26,8	27,4	28,0	28,6	29,2	29,8	30,4	31,0	31,7				
23	18,6	19,3	19,9	20,5	21,1	21,7	22,4	23,0	23,6	24,2	24,8	25,5	26,1	26,7	27,3	28,0	28,6	29,2	29,8	30,4	31,1	31,7	32,3				
24	19,0	19,6	20,3	20,9	21,5	22,2	22,8	23,4	24,1	24,7	25,3	26,0	26,6	27,2	27,9	28,5	29,1	29,8	30,4	31,0	31,6	32,3	32,9				
25	19,3	20,0	20,6	21,3	21,9	22,6	23,2	23,8	24,5	25,1	25,8	26,4	27,1	27,7	28,3	29,0	29,6	30,3	30,9	31,6	32,2	32,9	33,5				
26	19,7	20,3	21,0	21,6	22,3	22,9	23,6	24,2	24,9	25,5	26,2	26,9	27,5	28,2	28,8	29,5	30,1	30,8	31,4	32,1	32,8	33,4	34,1				
27	20,0	20,6	21,3	22,0	22,6	23,3	24,0	24,6	25,3	26,0	26,6	27,3	27,9	28,6	29,3	29,9	30,6	31,3	31,9	32,6	33,3	33,9	34,6				
28	20,3	20,9	21,6	22,3	23,0	23,6	24,3	25,0	25,7	26,3	27,0	27,7	28,4	29,0	29,7	30,4	31,1	31,7	32,4	33,1	33,8	34,4	35,1				
29	20,5	21,2	21,9	22,6	23,3	24,0	24,7	25,3	26,0	26,7	27,4	28,1	28,8	29,4	30,1	30,8	31,5	32,2	32,9	33,6	34,2	34,9	35,6				
30	20,8	21,5	22,2	22,9	23,6	24,3	25,0	25,7	26,4	27,1	27,8	28,5	29,1	29,8	30,5	31,2	31,9	32,6	33,3	34,0	34,7	35,4	36,1				

Les logiciels ont des Equations de Station remplaçables par l'utilisateur par d'autres qui sont disponibles dans la littérature ou qu'il peut lui même développer. Elles représentent les comportements moyens de la dynamique d'accroissement de chaque espèce dans les régions de plantation au Brésil. Cela ne signifie pas production moyenne car la même équation peut aussi bien décrire des petites valeurs de croissance que des valeurs élevées en fonction de l'Index de Station.

Les Tableaux de Classification de Station correspondants aux équations des logiciels sont présentés à la fin de manuel.

### 4.3 EQUATIONS DE VOLUME

Les équations les plus simples afin d'estimer le volume des arbres ou des plantations forestières sont basées sur le diamètre à 1,3 m du sol, ou DHP diamètre à

la hauteur de la poitrine (D), sur la hauteur de l'arbre (H) et sur le coefficient de forme (f), qui est obtenu à travers la division du volume réel de l'arbre par le volume d'un cylindre de diamètre D et de longueur H. Ainsi donc, le modèle d'une équation de volume (v) est:  $V = 0,7854 \cdot f \cdot D^2 H$

Plus le tronc est cylindrique, plus proche de 1,0 se trouve le coefficient de forme. Sur un araucaria d'âge avancé, il peut excéder 0,80. Comme le coefficient de forme a tendance à augmenter avec l'âge, les logiciels permettent d'inclure cette variation. Dans le SisAraucaria l'expression consacrée est  $V = 0,7854 \cdot (0,35 + 0,004 \cdot \hat{\text{Age}}) \cdot D^2 H$ . Dans ce cas, le coefficient de forme qui à 20 ans était de 0,43, pourra être de 0,51 à 40 ans.

#### 4.4 EQUATIONS D'ASSORTIMENT

Les équations d'assortiment (ou équations de défilement du fût) décrivent de façon mathématique le profil longitudinal d'un tronc. Elles permettent de construire des tables de volume pour les différentes dimensions de billes imposées par le marché. Il est possible à l'aide de ces tables, de calculer séparément par des méthodes mathématiques d'intégration partielle, le volume pour la stratification, la scierie, la cellulose et l'énergie, selon les diamètres et longueurs que l'utilisateur spécifie pour les billes.

Le modèle suivant est largement utilisé pour le calcul du volume de billes de plantations forestières:

$$\frac{d_i}{D} = b_1 \left( \frac{h_i}{H} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{H} \right)^2 + b_3 \left( \frac{h_i}{H} \right)^3 + b_4 \left( \frac{h_i}{H} \right)^4$$

Dans lequel:

$\frac{d_i}{D}$  = diamètre relatif et  $\frac{h_i}{H}$  = hauteur relative

D = DHP ou diamètre à hauteur de poitrine ( $D_{1,3m}$ ) et H = hauteur totale de l'arbre

$d_i$  = diamètre mesuré à la hauteur  $h_i$  du fût

$b_1$  à  $b_4$  = coefficients.

Sur l'écran de l'Equation d'Assortiment est sollicitée l'intégrale de celle-ci élevée au carré. Pour obtenir cette intégrale, entrer l'élément "**Autres**" présenté sur la barre supérieure du logiciel, solliciter l'option "**Equation d'Assortiment**" et un tableau préconfiguré sera disponible pour ce calcul.

Dans la deuxième barre d'édition, appelée "**Expression**", l'équation devra être insérée et la lettre D (représentant le DHP) devra figurer en multipliant toute l'expression, comme dans l'écran précédent.

## 4.5 ECLAIRCIES

Les éclaircies permettent de réduire le nombre d'arbres par parcelle ou zone au fur et à mesure que le peuplement nécessite plus d'espacement entre les arbres. L'une des façons de pratiquer l'éclaircie consiste à maintenir les meilleurs arbres, tout en éliminant ceux ayant subi des dégâts, les arbres malades ou endommagés ainsi que ceux ayant subi des attaques intenses de ravageurs. Une éclaircie bien planifiée et exécutée peut augmenter la garantie d'obtenir un produit final de meilleure qualité, une augmentation de la rentabilité économique du peuplement ainsi que de prévoir un bénéfice économique pour le producteur.

Les éclaircies peuvent être:

- **Systématiques:** Lorsque l'on supprime les arbres d'un système fixe choisi, selon la disposition du peuplement. Par exemple, le retrait d'une rangée entière d'arbres, intercalée avec d'autres rangées qui elles demeurent intactes;
- **Sélectives:** consiste à retirer les arbres de petit diamètre du peuplement (éclaircie «par le bas»). Aussi bien le diamètre que la hauteur peuvent être utilisés comme variable lors du choix des arbres devant être retirés;
- **Mixtes:** l'on nomme de cette façon l'éclaircie durant laquelle on procède en premier lieu à une éclaircie systématique puis à une éclaircie sélective au niveau des rangées restantes.

Durant le processus de l'éclaircie, on doit promouvoir une bonne utilisation des espaces disponibles dans le peuplement, en évitant la formation de clairières. Dans ce cas, il faut maintenir les arbres les plus petits et qui présentent un potentiel de croissance. Lors de la décision à prendre quant à l'âge, au type d'intensité de l'éclaircie à appliquer, on doit prendre en compte plusieurs facteurs et, notamment, les objectifs de production et la maximisation de la rentabilité économique. Chaque peuplement peut requérir une gestion particulière y compris au niveau des éclaircies et des variations de l'âge de la coupe définitive. La gestion la plus appropriée, par le biais d'éclaircies, varie en fonction de facteurs, tels que : a) la qualité de la station (sol, climat); b) le matériel génétique planté; c) l'espacement initial du semis; d) la densité actuel; et e) l'objectif de la production. Lorsque l'un de ces facteurs est modifié, le régime idéal de gestion change également.

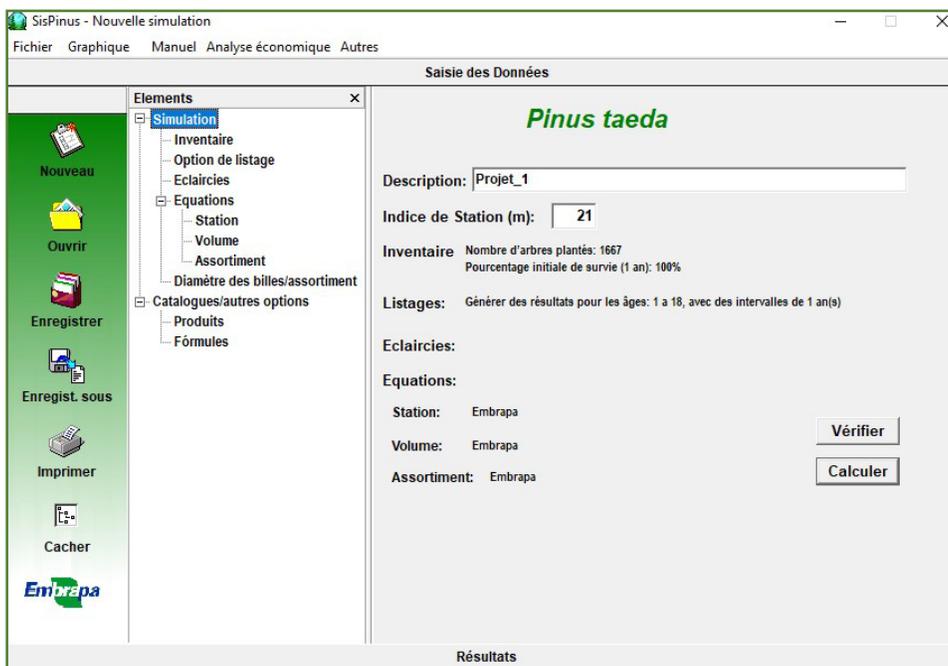
## 5 LES LOGICIELS: ÉTAPE PAR ÉTAPE

### 5.1 SIMULATION

En ouvrant le logiciel apparaît l'écran **Simulation** présentant un résumé des informations qui seront traitées. Il contient des éléments qui permettent d'accéder à tous les écrans de saisie de données.

Situé en haut et à gauche de l'écran, la barre d'outils possède pratiquement toutes les commandes de menu et simplifie la réalisation des tâches les plus fréquentes. Elle est sensible au contexte et en fonction de celui-ci, peut avoir certains de ses boutons cachés.

Les boutons positionnés horizontalement permettent un échange rapide entre les contextes **Saisie des Données** Saisissez **Résultat**. Un clic sur le bouton correspondant effectue le changement immédiatement.



La première étape pour la saisie des données consiste à informer **L'indice de Station** dans la zone de texte correspondante. Cet **indice** est la base de l'encadrement du logiciel par rapport au potentiel de production de la forêt, pour générer des résultats corrects, aussi bien au niveau des mauvaises stations que des bonnes.

Il est possible d'établir une brève description en vue de l'identification du travail. Le bouton **Vérifier**, à droite de l'écran, permet d'effectuer une vérification des données, en informant si elles sont correctes même avant qu'elles ne soient pas traitées. Le bouton **Calculer** procède à la vérification et aux calculs.

Dans la partie inférieure de l'écran, la barre **Résultats** génère les tableaux et graphiques issus des données introduites.

## 5.2 INVENTAIRE

L'élément **Inventaire** se trouve tout de suite en dessous de **Simulation**.

Informez les données du peuplement, à partir desquels l'on souhaite réaliser la simulation ainsi que le niveau d'homogénéité de celui-ci.

The screenshot shows the 'SisPinus - Nouvelle simulation' window. The 'Saisie des Données' (Data Entry) section is active, with the 'Inventaire' (Inventory) tab selected. The 'Inventaire' section contains three radio button options for tree density and diameter, with the third option selected. The input fields are as follows:

- Nombre d'arbres plantés par hectare: Density (trees per hectare): [ ] Pourcentage initiale de survie: [ ]
- Nombre d'arbres par hectare à un âge déterminé: Density (trees per hectare): [ ] Âge de l'inventaire: [ ]
- Nombre d'arbres par hectare et surface ou diamètre quadratique moyen: Density (trees per hectare): 1520 Âge de l'inventaire: 5  Surface terrier: [ ]  Diamètre quadratique moyen: 15

Below these options, the 'Niveau d'homogénéité des arbres (1 à 10):' (Tree homogeneity level) is set to 5, with three radio button options:  Homogénéité faible = 1 à 4,  Homogénéité moyenne = 5 à 9, and  Homogénéité haute = 8 à 10.

On doit choisir l'une des trois formes de l'inventaire disponible. L'Indice de Station est toujours essentiel.

- **Nombre d'arbres plantés par hectare» :**

Cette option suppose que les données fournies correspondent à une forêt nouvellement plantée, c'est-à-dire, qu'elle n'a pas encore subi de processus de croissance. Saisir le nombre d'arbres plantés par hectare et le pourcentage de survie durant la première année de vie. Ce dernier paramètre a un effet uniquement sur le nombre initial d'arbres et n'a aucune implication directe à d'autre moment de la vie de la forêt.

- **Nombre d'arbres par hectare à un âge déterminé» :**

Les données d'inventaire disponibles sont: nombre d'arbres par hectare et l'âge du peuplement. En utilisant cette option, l'option antérieure sera désactivée.

- **Nombre d'arbres par hectare et surface terrière ou diamètre quadratique moyen à un âge déterminé**

Les données d'inventaire disponibles sont : nombre d'arbres par hectare, âge du peuplement et la surface terrière ou diamètre quadratique moyen. Cette option est la plus complète donnant lieu à des pronostics d'une plus grande précision et d'exactitude.

- **Indice d'homogénéité du semis:**

Varie de 1 à 10. Il s'agit d'un paramètre qui permet la flexibilité dans la méthode à utiliser pour la description de l'homogénéité. Il peut reposer sur des mesures statistiques (par exemple, variance et coefficient de variation) ou toute mesure empirique, comme les notes de 1 à 10. Les semis clonaux n'ont pas toujours valeur 10 car l'index comporte en plus de la variabilité génotypique, la variabilité dans la station.

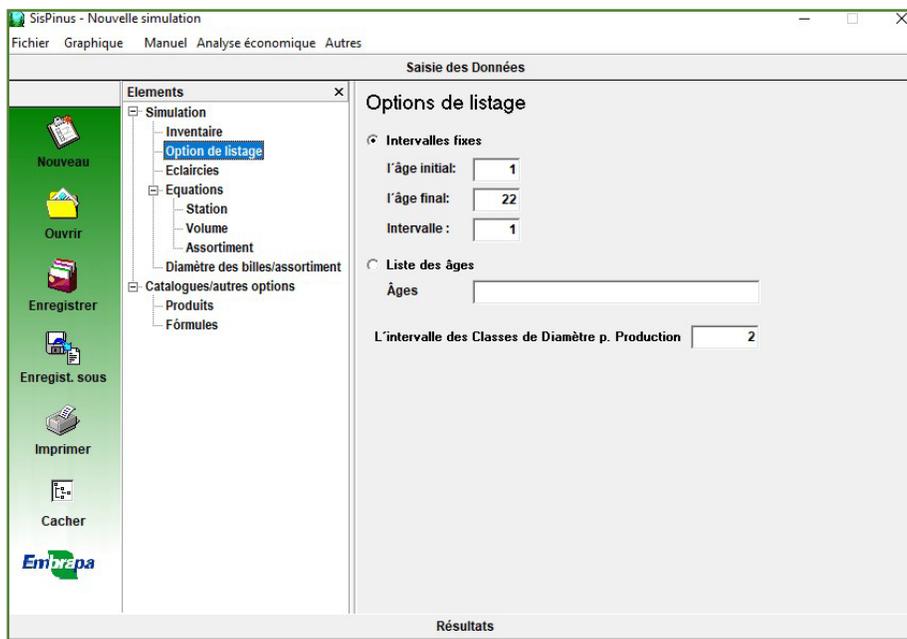
### 5.3 OPTIONS DE LISTAGE

Sur cet écran, il faut informer les âges pour lesquels vous souhaitez obtenir des résultats.

Deux options pour la génération du listage sont disponibles. Dans la première option, informez L' **Âge initial** (ou de l'inventaire) et l' **Âge Final**. (Récolte finale). Le début du listage sera toujours à partir de l'âge de l'inventaire ce qui veut dire que le logiciel ne montrera pas les âges précédents.

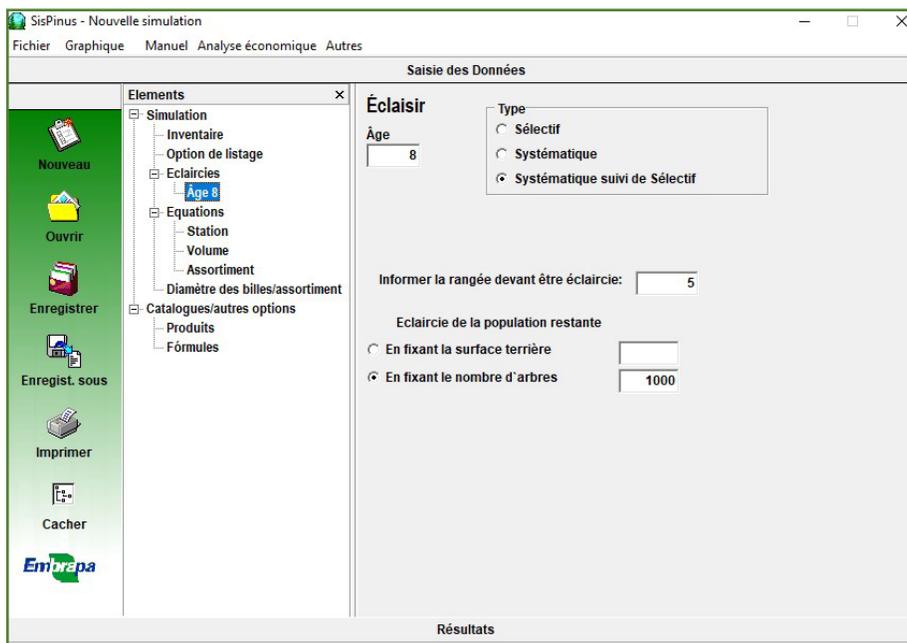
Dans l'écran qui apparaît dans la séquence, sont sollicités les Résultats qui vont du semis (Âge initial = 1) à la récolte finale (Âge Final = 22), d'année en année (**Intervalle =1**). Au cas où l'on souhaiterait obtenir des intervalles plus importants comme par exemple tous les trois ans, informer (Intervalle = 3) Pour obtenir des Résultats d'âges isolés, utiliser l'option "**Liste des âges**" et indiquer les âges en les séparant par des espace ou bien une virgule.

Sur le même Ecran, indiquer **L'intervalle des Classes de Diamètre pour la Production**. La valeur informée définira les classifications de DHP du Tableau d'Assortiment de la Production de l'élément "**Résultat**". La valeur "2" indique que des tableaux d'assortiment par classification de DPH seront générés tous les 2 cm.



## 5.4 ECLAIRCIES

Sur l'écran "**Eclaircies**" apparaissent pour la première fois les fonctions de navigations qui seront utilisées également sur d'autres écrans du logiciel en relation avec des formulaires ou des listes de registres.



Informar l'Âge, le Type et l'Intensité de l'éclaircie souhaitée.

L'indication de l'intensité de l'éclaircie peut être faite par **"Surface Terrière"**, ou **"Nombre d'Arbres par Hectare"**. Dans les deux cas, indiquer ce qui doit rester après l'éclaircie, c'est-à-dire, informer de ce qui devra rester et non pas ce qui devra être éclairci.

Si l'option du **"Type de l'éclaircie"** est **"Systématique suivi de sélectif"**, en premier lieu **"Informar la rangée devant être éclaircie"**. Puis informer ce qui devra rester après l'application de l'éclaircie sélective sur les rangées qui n'ont pas été retirées. Sur l'écran précédent, la valeur 5 indique l'éclaircie d'une rangée entière toutes les cinq rangées. La valeur 1000 représente le chiffre des arbres restants, soit ceux qui ne seront pas éclaircis.

Après la réalisation du traitement, si l'éclaircie est modifiée, un résumé des résultats de l'éclaircie précédente sera présenté sur le même écran.

Pour inclure les autres éclaircies, revenir sur l'écran précédent et cliquer à nouveau sur **"+"** et pour exclure sur **"-"**.

## 5.5 EQUATIONS

Dans cet élément, il faut spécifier les équations que vous souhaitez utiliser dans les calculs.

Les boutons à droite de chaque équation vous permettent d'accéder aux équations stockées dans le **"Catalogue des Formules"**

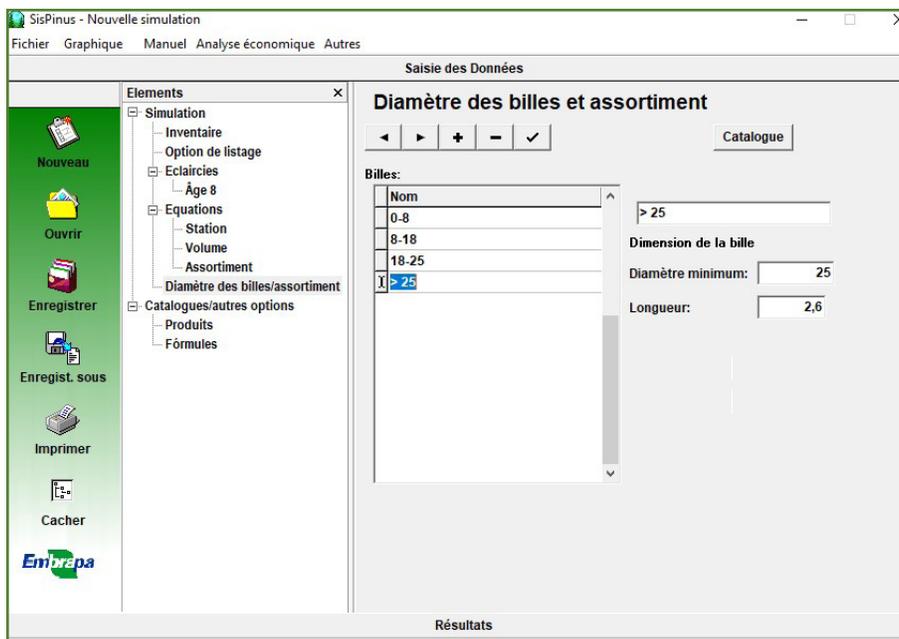
Pour vérifier ou modifier le modèle qui est utilisé, cliquer avec la souris sur le bouton à droite de chaque élément, et les écrans suivants seront affichés:

## 5.6 DIAMÈTRE DES BILLES DE BOIS ET L'ASSORTIMENT

Cet élément permet que la production des éclaircies et de la récolte finale soient classées à travers la segmentation des arbres en billes pour de différents produits, avec les dimensions indiquées par l'utilisateur.

Pour ajouter ou retirer les **"types de billes"**, utiliser le navigateur en cliquant sur **"+"** ou sur **"-"**, comme expliqué dans l'élément **"Eclaircies"**.

Indiquer les noms des produits que vous souhaitez (Ex: laminage, scierie, cellulose, énergie) et les dimensions de chacun des souhaits: **"Diamètre de l'Extrémité la plus petite (cm)"**, et **"Longueur de la bille (mètre)"**.



Si l'un des types de bille ne possède pas de contrainte dimensionnelle (habituellement Energie), mettre la valeur 0 (Zéro) dans les champs du **“Diamètre et Longueur de la Bille”**. Si ce n'est spécifié, le logiciel ne présentera pas la production de la « pointe » de l'arbre, mais cela sera toujours inclus dans la production totale présentée dans les tableaux d'éclaircies et de la récolte finale.

Le bouton **“Catalogue”**, dans le coin supérieur droit, offre des options pour importer **“Types de bille”**, d'un catalogue précédemment enregistré. En cliquant dessus, vous pouvez voir une liste avec les noms de tous les types disponibles. Pour importer un type, il suffit de sélectionner parmi la liste et cliquer sur «OK». Pour l'importation de tous en une seule opération, il suffit de cliquer **“Tous”**.

Pour toute modification à enregistrer, vous devez cliquer sur **“enregistrer”** ou **“enregistrer sous”**. Dans le cas contraire, elle sera supprimée lorsque le logiciel sera finalisé.

## 5.7 CATALOGUES

L'élément **“Catalogues”** permet d'insérer et de modifier **“Formules”** et **“Produits”** en maintenant les mêmes enregistrées afin qu'elle soient rapidement accessibles et utilisées dans les traitements. Cet enregistrement constitue une méthode organisée et souple pour travailler avec beaucoup de produits et d'équations. Un nombre illimité d'options peut être maintenu, pour satisfaire aux conditions spécifiques de chaque œuvre de simulation.

Les changements dans le catalogue ne sont pas utilisés dans la simulation actuelle. Pour qu'elles apparaissent dans la simulation, il est nécessaire de recourir au bouton **“Catalogue”**, mentionné dans les éléments précédents.

Les procédures pour insérer, exclure et modifier les produits et formules dans cet élément sont semblables à ceux de l'élément.

## 5.8 CARBONE

Les logiciels présentent la quantification du Carbone issue des équations publiées dans des travaux scientifiques et techniques (tableau ci-dessous). En outre, l'utilisateur peut appliquer les nouvelles équations, principalement parce que le tableau de la croissance présente des variables comme le DHP et la hauteur des arbres, qui font habituellement partie des modèles.

Logiciel et Espèce	Equations pour l'estimation de C (tC) Facteur de Conversion de C pour CO <sub>2</sub> = 3,6667
<b>SisAcacia</b> <i>Acacia mearnsii</i> De Wild	(Vol+33%).(Biomasse sèche: 0,41).(C:0,4248) Basé sur Saidelles et al., 2009
<b>SisAraucaria</b> <i>Araucária angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	(Vol+53%).(Biomasse sèche 0,41).(C:0,43) Basé sur Watzlawick et al., 2003
<b>SisBracatinga</b> <i>Mimosa scabrella</i> Benth	(Vol+43%).(Biomasse sèche: 0,48).(C:0,44) Basé sur Machado et al., 2006
<b>SisEucalipto</b> <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	(Vol+25%)x(DB: 0,49)x(C: 0,42) Basé sur Silva, 1996
<b>SisPinus</b> <i>Pinus taeda</i> L.	(0,0001-0,0040.D+0,0193.D <sup>2</sup> H+0,5728 I).(C:0,41) Corte et Sanquetta, 2007
<b>SisTeca</b> <i>Tectona grandis</i> L.F.	(Vol+30%) x (DB:0,53)x(C:0,41) Basé sur Rondon, 2006, Gouveia et Ângelo, 2002

Vol. = Volume du tronc avec écorce; C = Teneur en Carbone (tC); D = DHP (cm), H = Hauteur totale (m); I = Âge (années), DB: Densité Basale.

## 5.9 RÉSULTATS

Cliquer sur l'option **“Résultats”** présentée sur la partie inférieure de l'écran pour générer les simulations. Para revenir, cliquer sur **“Saisie des Données”** sur la partie supérieure de l'Ecran.

- **Exemple 1 – Pinus taeda**

Compte tenu de l'écran suivant, se référant au semis de 1667 arbres par hectare, l'Indice de Station de 22 mètres, pour une récolte à 22 ans.

Pour calculer la production résultante, on utilise une classe de diamètre de 2 cm, en distribuant le bois qui en résulte parmi les produits suivants:

Destinação do bois	Longueur (m)	Diamètre minimum (cm)
Scierie I	2,6	25
Scierie II	2,6	18
Cellulose	2,6	8
Energie	Sans restriction	Sans restriction

Les résultats montrent les variables qui décrivent la structure de la plantation forestière. Tous les résultats sont à un hectare. La Surface terrière se réfère à la somme des domaines transversaux de tous les arbres, compte tenu des DHP pour les calculs. L' A.A.M est l'accroissement annuel moyen, obtenu en divisant la production totale par L'âge. Cette production prend en compte la somme du volume de l'âge du calcul avec les volumes déjà éclaircis.

SisPinus - Nouvelle simulation

Fichier Graphique Manuel Analyse économique Autres

Saisie des Données

Résultats

**TABLEAU DE CROISSANCE ET PRODUCTION (Pinus taeda)**

Description: Projet\_2  
 Indice de Station: 22,0  
 Densité (arbres par hectare): 1667  
 Pourcentage de survie (1<sup>er</sup> an): 95 %

Âge	Hauteur Domin.	Arbres/Ha	Diamètre Moyen	Hauteur Moyen	Surface Terrière	Volume	L.M.A.	TCO2
1	0,6	1584	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
2	2,6	1584	2,4	2,2	0,7	0,7	0,3	0,4
3	4,9	1584	5,8	4,2	4,2	7,6	2,5	5,0
4	7,1	1584	9,0	6,2	10,0	26,8	6,7	17,7
5	9,1	1584	11,6	8,0	16,8	58,1	11,6	38,3
6	10,9	1583	13,8	9,7	23,7	98,4	16,4	64,8
7	12,6	1582	15,6	11,1	30,2	144,5	20,6	95,2
8	14,1	1581	17,1	12,5	36,2	194,2	24,3	127,9
9	15,5	1578	18,3	13,7	41,7	245,6	27,3	161,8
10	16,8	1574	19,4	14,8	46,7	297,6	29,8	196,1
11	18,0	1568	20,4	15,9	51,2	349,2	31,7	230,0
12	19,1	1560	21,2	16,8	55,3	399,6	33,3	263,3
13	20,2	1550	22,0	17,7	58,9	448,3	34,5	295,4
14	21,2	1539	22,7	18,5	62,1	495,0	35,4	326,1
15	22,1	1526	23,3	19,3	65,0	539,3	36,0	355,3
16	23,0	1511	23,8	20,0	67,5	581,1	36,3	382,8
17	23,8	1496	24,4	20,7	69,7	620,2	36,5	408,6
18	24,6	1479	24,8	21,4	71,5	656,8	36,5	432,7
19	25,4	1461	25,2	22,0	73,1	690,7	36,4	455,0
20	26,1	1442	25,6	22,5	74,5	722,0	36,1	475,6
21	26,8	1422	26,0	23,1	75,6	750,8	35,8	494,6
22	27,4	1403	26,4	23,6	76,5	777,2	35,3	512,0

**ASSORTIMENT DE ARBRES - RÉCOLTE FINALE (22 ANS)**

Classes DHP	Arb./Ha	Hauteur Moyen	Volume	> 25 cm	18-25 cm	8-18 cm	< 8 cm
14,0-16,0	2	17,1	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0
16,0-18,0	15	18,6	2,8	0,0	0,0	2,5	0,3
18,0-20,0	56	19,9	13,6	0,0	0,0	12,8	0,8
20,0-22,0	127	21,0	39,5	0,0	11,2	25,0	3,2
22,0-24,0	209	22,1	81,5	0,0	39,4	39,1	3,0
24,0-26,0	269	23,0	129,3	0,0	82,3	40,6	6,4
26,0-28,0	279	23,9	162,5	41,2	81,6	36,4	3,2
28,0-30,0	231	24,8	160,3	70,5	65,1	20,2	4,5
30,0-32,0	144	25,8	117,7	69,0	28,6	19,0	1,2
32,0-34,0	59	26,7	56,4	32,1	18,3	5,0	0,9
34,0-36,0	12	27,7	12,9	8,8	2,5	1,3	0,3
<b>Total</b>		<b>23,6</b>	<b>777,2</b>	<b>221,6</b>	<b>329,0</b>	<b>202,0</b>	<b>24,0</b>

- **Enregistrer**

Les résultats peuvent être sauvegardés dans un fichier texte, dans l'extension «rtf», compatible avec le logiciel d'édition de texte. Il suffit de cliquer simplement sur le bouton approprié dans la barre verte.

En vérifiant le tableau des résultats, compléter ou en partie, vous pouvez copier et coller dans les fichiers de l'édition ou les tableaux de calcul. Chaque valeur reste dans une cellule, permettant la réalisation de calculs supplémentaires.

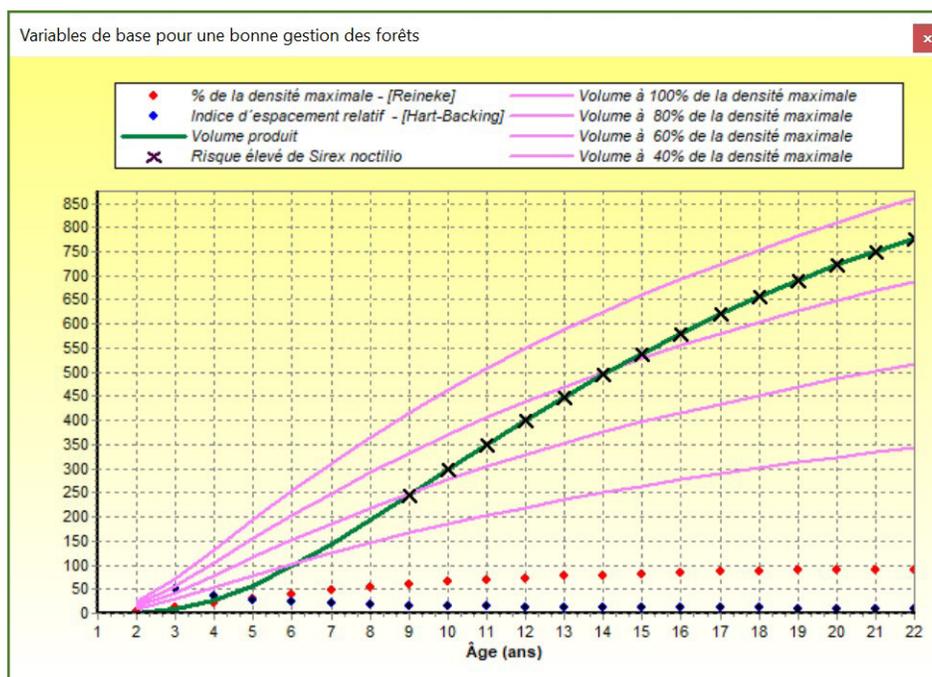
- **Imprimer**

Pour imprimer, il suffit de cliquer sur le bouton de l'imprimante dans la barre verte.

## 5.10 GRAPHIQUE

Un **“Graphique”** avec d'autres variables peut être obtenu en cliquant sur l'élément situé dans la partie supérieure de l'écran. Les lignes de croissances et les indices présentés ont pour fonction d'aider à la définition de la gestion optimale de la forêt. Pour l'imprimer, utiliser la touche «Print Screen» et coller dans le fichier du logiciel qui permet d'éditer le texte.

Le modèle de graphique généré par SisPinus, compte tenu de l'exemple, sans éclaircie et avec coupe définitive à 22 ans sera:



- **Lignes roses** = volumes potentiels à 40, 60, 80 et 100% de la densité maximale.
  - **Ligne verte** = Volume total produit.
  - **Points rouges** = Pourcentage de la densité maximale qui peut être atteinte par le peuplement - (Modèle de Reineke);
  - **Points bleus** = Indice d'espacement relatif (Indice de Hart-Becking);
  - Marquages sur X = indication du risque élevé de dommages causés par la guêpe perce-bois (Disponible sur SisPinus).
- **Indice de Hart-Becking ou Indice d'Espacement Relatif – (%)**

L'Indice de Hart-Becking ( $S\%$ ) est le rapport entre l'espacement moyen entre les arbres ( $EM$ ) et la hauteur dominante ( $H$ ):

$$S(\%) = 100 \cdot \frac{EM}{H}$$

L'espacement moyen entre les arbres ( $EM$ ) peut être calculé à l'aide de l'expression:

$$EM = \sqrt{\frac{10000}{N}}$$

dans lequel  $N$  représente le nombre d'arbres par hectare.

L'indice  $S(\%)$  possède une grande application dans la détermination des poids dans les éclaircies, dans la gestion pour la prévention d'incendies de forêt et les ravageurs ainsi que dans la structuration de systèmes d'Intégration Agriculture-élevage-Forêt.

- **Pourcentage de la Densité Maximale du Peuplement – (Reineke)**

Le modèle de Reineke, ajusté pour les plantations surstockées dans les régions productrices du Brésil, génère une courbe qui représente la densité maximale que le peuplement aura dans une condition d'occupation complète ou stock complet. Le graphique généré par les logiciels décrits ci-après présente le pourcentage d'occupation du site du peuplement analysé. Une valeur de 100 % indique que le site est totalement stocké, c'est-à-dire avec la capacité de production maximum. Au niveau du graphique généré pour l'exemple, on observe qu'à 6 ans, le peuplement occupe 46 % du site et continue d'augmenter dans les âges suivants. À 9 ans, l'occupation a atteint 70 %, cependant, à partir de cet âge, le programme révèle l'existence d'un risque élevé d'attaque de guêpe perce-bois, ce qui amène à recommander la réalisation de d'éclaircies préventives. Le risque d'attaque de la guêpe perce-bois repose sur les caractéristiques de peuplement favorables à l'insecte, comme la concurrence excessive entre les arbres qui provoque un affaiblissement prononcé et la mortalité des dominés.

- **Diagramme de Gestion de la Densité de Peuplement - DGDP**

Le DGDP présente des interconnexions mathématiques entre les différentes variables du peuplement forestier, impliquant, en fait, le nombre d'arbres par hectare, la surface terrière et le diamètre moyen des arbres. Ils permettent le suivi de la densité de la population, en fonction de l'ampleur des variables de croissance. Ce suivi permet de définir des intensités et époques optimales d'éclaircie, l'adéquation des niveaux de compétition en fonction des objectifs de la production de bois, ce qui permet d'optimiser l'utilisation du site. Il y a des modèles qui comprennent, en outre, la hauteur dominante.

Un Diagramme de Gestion de la Densité est construit et fondé sur une courbe de densité maximale et à partir de celle-ci d'autres courbes par proportion, qui serviront de références pour l'occupation du site par les arbres.

Pour la définition de la courbe de densité maximale, et ce malgré toutes les avancées en biométrie, la méthode de Reineke (1933) reste une référence. Pour sa mise en œuvre, la courbe de densité maximale doit être calculée à partir des mensurations de peuplements avec densité pleine. Le modèle est :

$$N = \text{Exp} (a + \text{Ln}(Dg))$$

Dans lequel N est le nombre d'arbres par hectare et Dg représente le diamètre quadratique moyen.

La courbe de densité maximale permet d'initier la construction du diagramme, à partir des variations des diamètres quadratiques de référence.

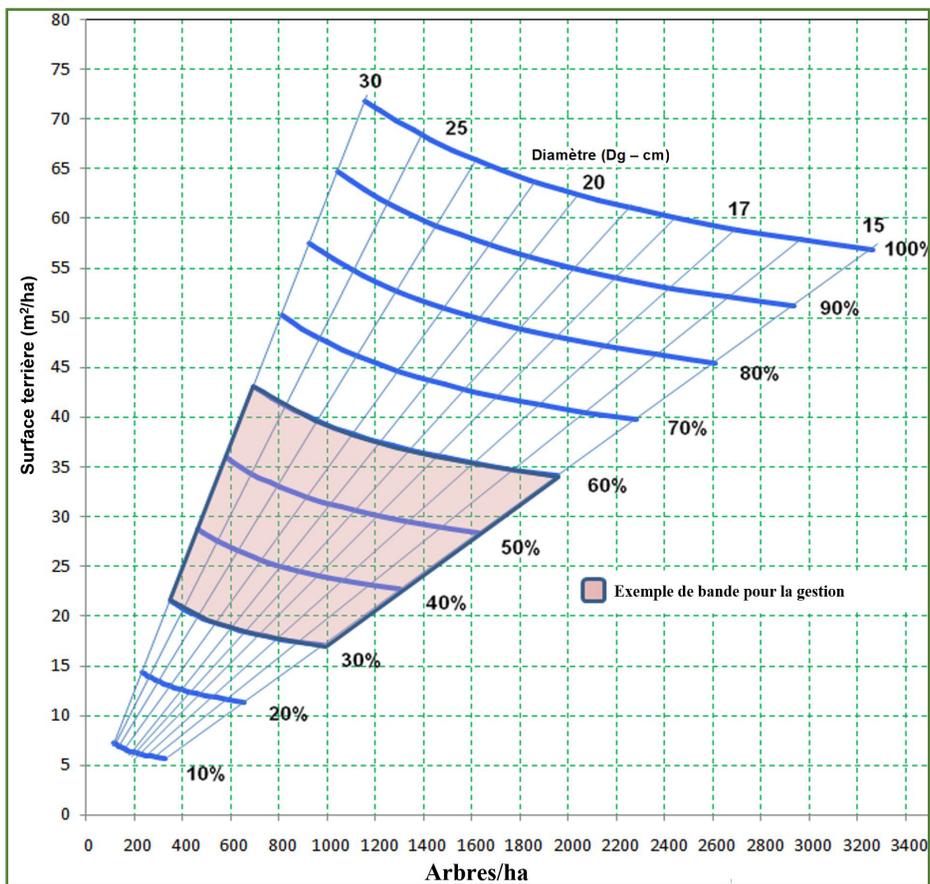
Dans SisPinus, pour le Pinus taeda, l'équation utilisée a été obtenue à partir de divers peuplements ayant donné lieu à la construction du logiciel sachant que:

$$N = \text{Exp} (12,1333 - 1,4933\text{Ln}(Dg))$$

Qui se traduit par le diagramme suivant. L'Indice de Densité de la Plantation (Indice de Reineke), qui est obtenu à travers l'utilisation du Dg de 25 cm, a été de 1520.

La bande de gestion recommandée par différents auteurs, pour la production de grumes, prédomine avec des valeurs proches de 60% du stock maximum allant jusqu'à une limite inférieure fixée à 30% du stock maximum. En maintenant le peuplement dans cette gamme de densité, les arbres posséderont des caractéristiques des dominants donc grands et avec un fût bien formé.

On considère qu'au-dessus de la bande, il y a une compétition excessive et qu'en dessous il reste de l'espace avec un gaspillage conséquent des ressources du site. Au sein de la bande, l'option pour éclaircir la ligne supérieure ou inférieure dépendra de l'objectif de la production. Si l'objectif est d'avoir une plus petite production de billes avec des rotations plus courtes, les éclaircies devront être maintenues plus proche de la ligne de 60 %.

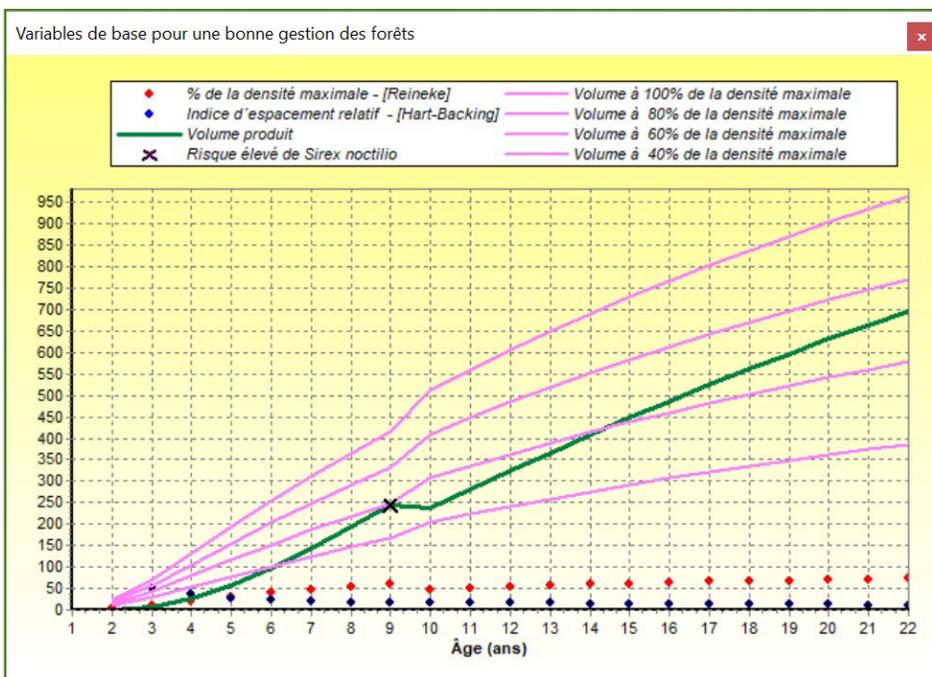


- **DGDP dans les Logiciels**

L'intégration du DGDP avec les simulateurs décrits dans ce manuel permet que les variables présentes dans le diagramme soient traitées conjointement avec d'autres variables de croissance et de production qui ont une grande influence sur la densité du peuplement, en particulier la Hauteur Dominante et la Hauteur Moyenne. Avec cela, la dynamique et les interactions des différentes variables peuvent être suivies pour chaque âge, accompagnant le pronostic de croissance et de production.

Le DGDP va donc prendre en compte la Hauteur dominante et la Hauteur moyenne, la Mortalité, le Diamètre moyen, la Surface terrière et le Volume. En outre, les logiciels fournissent tout déploiement de bois récolté par classes de diamètre et classes de hauteur, ainsi que l'assortiment à usage industriel.

En considérant, par exemple, une éclaircie sélective à 9 ans, laissant 1000 arbres, le graphique généré par le simulateur sera:



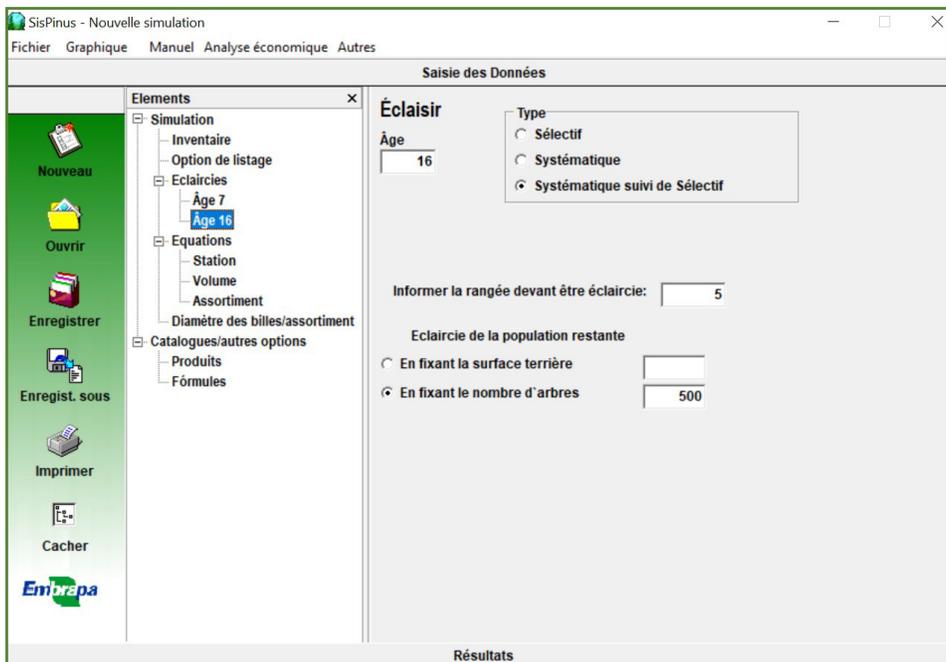
Avec l'éclaircie, l'Accroissement Annuel Moyen (AAM) sera réduit de 2,55% (35,3m<sup>2</sup> à 34,4m<sup>2</sup>). Cependant, les billes au-dessus de 25cm de diamètre auront une augmentation de 42,1% (221,6m<sup>3</sup> à 314,8m<sup>3</sup>).

- **Exemple 2**

Cet exemple utilisera des données d'un inventaire au lieu de données de semis telles qu'utilisées dans l'exemple 1. L'espèce est le *Pinus taeda* avec 5 ans d'âge. La hauteur dominante est de 10,0 mètres ce qui selon le tableau de classification de station (page 45), donne lieu à un indice de station de 21,5m. Le nombre d'arbres par hectare est de 1500, le diamètre quadratique moyen est de 13cm et le niveau d'homogénéité du semis est de 5.

On souhaite effectuer une première éclaircie mixte à neuf ans d'âge, systématique soit une toute les cinq lignes suivi d'une éclaircie sélective jusqu'à ce qu'il ne reste que 1.000 arbres. Une seconde éclaircie sera sélective à 13 ans, laissant 400 arbres et la récolte finale à 22 ans.

Les deux figures ci-dessous montrent comment seront les données de l'inventaire et les éclaircies.



Les résultats sont présentés dans les figures à suivre.

Âge	Hauteur Domin.	Arbres/ha	Diamètre Moyen	Hauteur Moyen	Surface Terrière	Volume	I.M.A.	tCO2
5	9,7	1500	13,0	8,7	19,9	74,0	14,8	48,8
6	11,7	1499	15,2	10,4	27,2	121,8	20,3	80,2
7	13,4	1498	17,0	12,0	34,0	175,6	25,1	115,7

Éclaircir 498 arbres.

Âge	Hauteur Domin.	Arbres/ha	Diamètre Moyen	Hauteur Moyen	Surface Terrière	Volume	I.M.A.	tCO2
8	15,5	999	20,0	14,1	31,5	190,9	28,7	125,8
9	17,0	998	21,5	15,4	36,2	239,8	30,9	158,0
10	18,4	997	22,8	16,6	40,5	289,3	32,8	190,6
11	19,7	995	23,9	17,7	44,5	338,9	34,3	223,3
12	20,9	992	24,8	18,8	48,1	388,0	35,6	255,6
13	22,0	989	25,7	19,7	51,4	436,2	36,5	287,4
14	23,1	985	26,5	20,7	54,4	483,2	37,3	318,3
15	24,1	981	27,2	21,5	57,1	528,7	37,8	348,3
16	25,1	976	27,9	22,3	59,6	572,7	38,2	377,3

Éclaircir une rangée d'arbres tous les 5 rangs. Puis,  
Éclaircir 280 arbres.

Âge	Hauteur Domin.	Arbres/ha	Diamètre Moyen	Hauteur Moyen	Surface Terrière	Volume	I.M.A.	tCO2
17	25,9	500	30,0	24,4	35,2	369,1	37,5	243,2
18	26,8	499	30,9	25,1	37,3	403,4	37,4	265,8
19	27,7	499	31,7	25,9	39,3	436,8	37,1	287,7
20	28,5	498	32,4	26,6	41,0	469,2	36,9	309,1
21	29,3	498	33,1	27,3	42,7	501,0	36,7	330,1
22	30,0	497	33,7	28,0	44,3	532,1	36,4	350,6

SisPinus - Nouvelle simulation

Fichier Graphique Manuel Analyse économique Autres

Saisie des Données

Résultats

ÉCLAIRCIES

Âge	Volume retiré	tCO2	Volume restant
7	38,7	25,5	136,9
16	230,1	151,6	342,6

ASSORTIMENT DE ARBRES - ÉCLAIRCIE (7 ANS)

Classes DHP	Arb./Ha	Hauteur Moyen	Volume	> 25 cm	18-25 cm	8-18 cm	< 8 cm
5,0-10,0	3	9,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
10,0-15,0	320	10,9	21,8	0,0	0,0	17,5	4,3
15,0-20,0	174	12,1	16,7	0,0	0,0	15,6	1,1
20,0-25,0	1	12,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0
<b>Total</b>		<b>11,4</b>	<b>38,7</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>33,2</b>	<b>5,5</b>

ASSORTIMENT DE ARBRES - ÉCLAIRCIE (16 ANS)

Classes DHP	Arb./Ha	Hauteur Moyen	Volume	> 25 cm	18-25 cm	8-18 cm	< 8 cm
15,0-20,0	1	28,2	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0
20,0-25,0	214	20,5	79,7	0,0	40,8	33,1	5,7
25,0-30,0	209	22,3	108,4	29,2	56,5	18,4	4,4
30,0-35,0	50	23,9	39,7	24,5	9,5	4,8	0,8
35,0-40,0	2	26,3	2,1	1,7	0,2	0,2	0,0
<b>Total</b>		<b>22,3</b>	<b>230,1</b>	<b>55,4</b>	<b>107,0</b>	<b>56,7</b>	<b>11,0</b>

ASSORTIMENT DE ARBRES - RÉCOLTE FINALE (22 ANS)

Classes DHP	Arb./Ha	Hauteur Moyen	Volume	> 25 cm	18-25 cm	8-18 cm	< 8 cm
25,0-30,0	40	25,7	30,7	7,3	18,1	4,1	1,1
30,0-35,0	315	28,0	311,0	171,3	100,9	31,2	7,6
35,0-40,0	134	29,0	175,6	135,5	26,8	11,6	1,8
40,0-45,0	9	30,1	14,8	12,4	1,7	0,6	0,1
<b>Total</b>		<b>28,0</b>	<b>532,1</b>	<b>326,5</b>	<b>147,6</b>	<b>47,5</b>	<b>10,6</b>

## 6 LA BASE STATISTIQUE DES LOGICIELS

Les systèmes ont été construits en se basant sur des distributions probabilistes. Ainsi, au lieu de modèles de régression classique, on a travaillé sur une projection d'année par année de la structure de chaque forêt, impliquant plusieurs paramètres simultanément.

Les distributions probabilistes utilisées ont été  $S_B$  et  $S_B$  bivariée ( $S_{BB}$ ). La distribution  $S_B$  décrit la distribution marginale de la variable diamètre ou hauteur des arbres d'un peuplement à des différents âges et  $S_{BB}$  décrit la distribution conjointe de ces variables.

Les données du champ proviennent de parcelles d'inventaires continus grâce à des partenariats établis avec des producteurs forestiers, ce qui a permis d'obtenir des estimations des paramètres de la distribution pour chaque espèce, selon les différentes conditions du sol, l'âge et l'espacement entre les arbres.

La fonction de distribution  $S_B$  est exprimée par:

$$f(x) = \frac{\delta\lambda}{\sqrt{2\pi}(x-\xi)(\xi+\lambda-x)} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{(x-\xi)}{(\xi+\lambda-x)}\right)\right]^2\right\},$$

La construction de la distribution  $S_{BB}$  est basée sur la distribution  $S_B$ , avec la distribution Normale bivariée.

Compte tenu D et H la DHP et la hauteur totale des arbres, respectivement, on obtient:

$$z_D = \gamma_D + \delta_D \ln\left(\frac{x_D - \xi_D}{\lambda_D + \xi_D - x_D}\right) \quad \text{et} \quad z_H = \gamma_H + \delta \ln\left(\frac{x_H - \xi_H}{\lambda_H + \xi_H - X_H}\right)$$

Dans laquelle  $z_D$  e  $z_H$  ont une Distribution Normale bivariée avec corrélation  $\rho$ .

$$f(z_D, z_H) = \left[2\pi(1 - \rho^2)^{1/2}\right]^{-1} \exp\left[-\frac{1}{2}(1 - \rho^2)^{-1}(z_D^2 - 2\rho z_D z_H + z_H^2)\right],$$

Les paramètres  $\xi_D$  et  $\xi_H$  représentent, respectivement, les valeurs minimales de D et H dans la population;  $\lambda_D$  et  $\lambda_H$  représentent les amplitudes de D et H. Les paramètres  $\gamma_D, \gamma_H, \delta_D$  et  $\delta_H$  ne peuvent pas être liée à des caractéristiques individuelles du boisement, mais à travers des expressions:

$$\hat{\delta} = \frac{\lambda}{4\sigma_x} \quad \hat{\gamma} = \frac{2x_m - \xi - \lambda}{\lambda\delta} - \delta \ln\left(\frac{x_m - \xi}{\lambda + \xi - x_m}\right)$$

dans laquelle:

$\sigma_x$  = écart type de x (x = H ou D) et  $x_m$  = mode de x.

La valeur de  $X_m$  est définie par la valeur de x qui satisfait l'expression:

$$\frac{2(x - \xi)}{\lambda} - 1 = \delta \left[ \gamma + \delta \ln\left(\frac{x - \xi}{\lambda + \xi - x}\right) \right]$$

Pour l'élaboration du modèle de croissance et de production, les estimations des paramètres ont été associées par le biais de fonctions au nombre d'arbres par hectare (S) et à la hauteur dominante ( $H_D$ ) ou l'âge du peuplement, à l'aide du modèle de Richards:

$$\text{Paramètre d'intérêt} = f_1(S) \{1 - \exp[H_D f_2(S)]\}^{f_3(S)}$$

Equations pour l'estimation des paramètres de la distribution  $S_{BB}$ .

1.  $H_D = \exp\left\{a_1\left[(1/A)^{b_1} - (1/15)^{b_1}\right]\right\}IS$
2.  $H_m = H_D(a_2 + b_2A)$
3.  $H_1 = H_D a_3 [1 - \exp(-b_3A)]$
4.  $s_H = a_4 [1 - \exp(-b_4A)]^{c_4}$
5.  $D_D = a_5 [1 - \exp(-b_5H_D)]^{c_5}$
6.  $D_m = D_D a_6 [1 - \exp(-b_6H_D)]$
7.  $D_1 = D_D a_7 [1 - \exp(-b_7H_D)]^{c_7}$
8.  $s_D = a_8 [1 - \exp(-b_8H_D)]^{c_8}$
9.  $\rho(Z_D, Z_H) = a_9 + b_9 \cos(c_9 H_D) + d_9 H_D$

IS = Indice de station, A = Âge du peuplement

$H_D$  = Hauteur dominante,  $D_D$  = Diamètre dominante

$H_m$  e  $D_m$  = mode des hauteurs et des diamètres

$H_1$  e  $D_1$  = hauteur minimum et diamètre minimum

$s_H$  e  $s_D$  = écarts-types des hauteurs et des diamètres

$a_i, b_i$  e  $c_i$  (i = 1,2...9) Il s'agit d'équations pour chaque paramètres qui ont comme variable dépendante, le nombre d'arbres par hectare (S).

### Distribution $S_D$ ( $Z_D$ et $Z_H$ ) et Distribution $S_{bb}$ ( $Z_D, Z_H$ )

$$Z_D = \gamma_D + \delta_D \ln\left(\frac{X_D - \varepsilon_D}{\lambda_D + \varepsilon_D - X_D}\right) \dots\dots Z_H = \gamma_H + \delta_H \ln\left(\frac{X_H - \varepsilon_H}{\lambda_H + \varepsilon_H - X_H}\right)$$

Mode des Diamètres
Diamètre minimum
Mode des Hauteurs
Hauteur minimum

Écart-type des Diamètres
Amplitude des Diamètres
Écart-type des Hauteurs
Amplitude des Hauteurs

$$f(Z_D, Z_H) = \left[2\pi(1-\rho^2)^{1/2}\right]^{-1} \exp\left[-\frac{1}{2}(1-\rho^2)^{-1}(Z_D^2 - 2\rho Z_D Z_H + Z_H^2)\right]$$

Corrélation (DH)

On trouvera la description détaillée de cette méthodologie dans les références Schreuder et Hafley (1977), Hafley et Schreuder (1977), Hafley et Buford (1985), Oliveira (1995).

## 7 ANALYSE ÉCONOMIQUE – PLANIN

Accéder au logiciel Planin, utilisé pour le calcul des paramètres de l'évaluation économique et financière et l'analyse de sensibilité de la rentabilité à des différents taux d'attractivité. Il prend en compte les divers segments des coûts opérationnels de l'implantation, la maintenance et la récolte. Avec ce programme, vous obtenez les flux de trésorerie, les analyses de sensibilité et les critères d'analyse économique les plus utilisés. En outre, il permet à l'utilisateur de suivre leurs coûts, en délivrant des rapports de dépenses annuelles.

Le manuel complet de Planin est accessible dans le logiciel. Ici, seuls certains écrans sont présentés montrant leur structure de base.

Planin - Nouveau projet

Fichier Graphique Manuel Autres

Saisie de données

Elements

- Projets
  - Productions
    - Éclairir à l'âge - 7 ans
    - Éclairir à l'âge de 16 ans
    - Récolte fin. à l'âge de 22 ans
  - Coûts
- Catálogos/Autres options
  - Produits
  - Coûts

**Production**

Âge

Origine

**Produits**

Produits	Volume	Prix
< 8 cm	10,6	R\$ 66,00
▶ 8 - 18 cm	47,5	R\$ 90,00
18 - 25 cm	147,6	R\$ 180,00
> 25 cm	326,5	R\$ 280,00

Résultat

Rapport de coûts

Planin - Nouveau projet

Fichier Graphique Manuel Autres

Saisie de données

Elements

- Projets
  - Productions
    - Éclaircir à l'âge - 7 ans
    - Éclaircir à l'âge de 16 ans
    - Récolte fin. à l'âge de 22 ans
  - Coûts
- Catálogos/Autres options
  - Produits
  - Coûts

Nouveau

Ouvrir

Enregistrer

Enregist. sous

Imprimer

Cacher

Embrapa

### Coûts

Catálogo / Autres coûts

Nome	Unité	Type de Coût	Custo
Coût de l'ha	\$/ha	Unitaire	R\$ 0,00
Plantation	\$/ha	Unitaire	R\$ 15.000,00
Tr. annuels	\$/ha	Annuel	R\$ 0,00
Routes	\$/ha	Unitaire	R\$ 0,00
Replantation	\$/ha	Unitaire	R\$ 0,00
Entretien	\$/ha	Annuel	R\$ 0,00
CT.Ravageus	\$/ha	Annuel	R\$ 0,00

Deux clics pour changer | "\$/ha + Unitaire" est un coût Initial

### Coûts annuels (\$/ha)

Idade	Custo
1	R\$ 420,00
2	R\$ 560,00
3	R\$ 1.130,00
4	R\$ 250,00
5	R\$ 250,00
6	R\$ 250,00
7	R\$ 250,00
8	R\$ 250,00
9	R\$ 250,00
10	R\$ 250,00
11	R\$ 250,00
12	R\$ 250,00
13	R\$ 250,00
14	R\$ 250,00
15	R\$ 250,00
16	R\$ 250,00
17	R\$ 250,00
Résultat	

Rapport de coûts

Planin - Nouveau projet

Fichier Graphique Manuel Autres

Saisie de données

Résultat

PLANIN © Embrapa

### Flux de Recettes et Coûts pour la Récolte Finale à 22 ans

Année	Recette (\$)	Coûts (\$)	Recette Présente (\$)	Coût Présente (\$)
0	0,00	15.000,00	0,00	15.000,00
1	0,00	5.420,00	0,00	5.211,54
2	0,00	560,00	0,00	517,75
3	0,00	1.130,00	0,00	1.004,57
4	0,00	250,00	0,00	213,70
5	0,00	250,00	0,00	205,48
6	0,00	250,00	0,00	197,58
7	3.369,00	250,00	2.560,16	189,98
8	0,00	250,00	0,00	182,67
9	0,00	250,00	0,00	175,65
10	0,00	250,00	0,00	168,89
11	0,00	250,00	0,00	162,40
12	0,00	250,00	0,00	156,15
13	0,00	250,00	0,00	150,14
14	0,00	250,00	0,00	144,37
15	0,00	250,00	0,00	138,82
16	40.601,00	250,00	21.677,21	133,48
17	0,00	250,00	0,00	128,34
18	0,00	250,00	0,00	123,41
19	0,00	250,00	0,00	118,66
20	0,00	250,00	0,00	114,10
21	0,00	250,00	0,00	109,71
22	122.962,60	250,00	51.894,73	105,49

Salvar

Imprimir

Planin - Nouveau projet

Fichier Graphique Manuel Autres

Saisie de données

Résultat

**Paramètres qui NE TIENNENT PAS compte de la valeur du capital au fil du temps**

Production Totale (m3/ha)	801,10
Production Annuelle Moyenne (m3/ha)	36,41
Recette Totale	166.932,60
Coût Total	26.860,00
Recette Totale Nette	140.072,60
Recette Totale Moyenne (\$/année)	7.587,85
Coût Total Moyenne (\$/année)	1.220,91
Recette Nette Moyenne (\$/année)	6.366,94
Rapport Recette/Coût	6,21
Rapport Recette moyenne/Coût	0,28
Prix Moyen de la Production (\$/m3)	208,38
Coût Moyen de la Production (\$/m3)	33,53
Recette Nette moyenne (\$/m3)	174,85

**Paramètres qui TIENNENT compte de la valeur du capital au fil du temps**

Taux d'actualisation	4,00%
Valeur Actuelle des Recettes	76.122,10
Valeur Actuelle des Coûts	24.652,86
Valeur Actuelle Nette	51.469,24
Valeur Actuelle Nette Annualisée	3.561,61
Rapport Bénéfice/Coût	3,09
Taux de Rentabilité Interne	10,73%
Valeur Future des Recettes	180.403,20
Valeur Future des Coûts	58.425,28
Valeur Future Nette	121.977,92
Val. Espérée du Fonds (F. Faustmann)	89.040,25
Prix Moyen de la Production (\$/m3)	201,97
Coût Moyen de la Production (\$/m3)	65,41
Rentabilité Nette	208,78%

Rapport de coûts

Planin - Nouveau projet

Fichier Graphique Manuel Autres

Saisie de données

Résultat

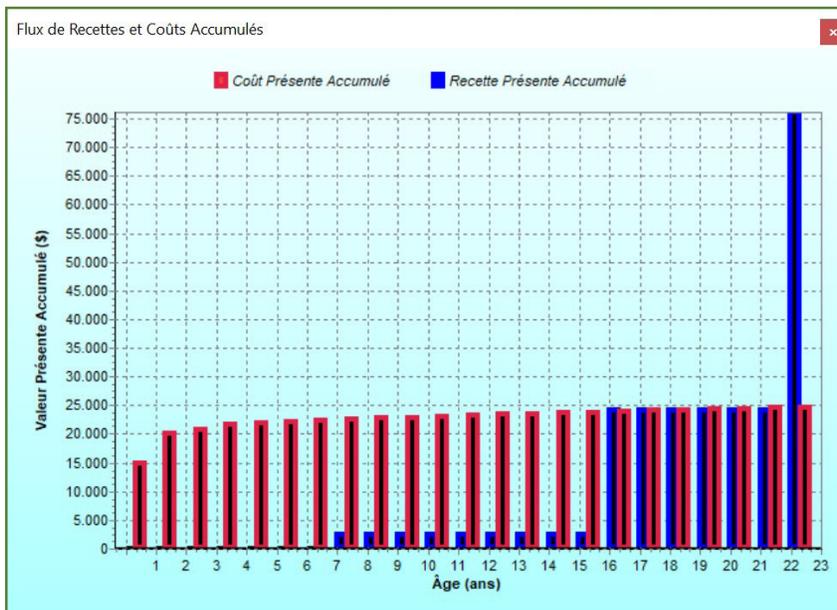
**Analyse de sensibilité pour le taux d'actualisation (% a.a.)**

Taux d'actualisation	V. Prés. Recettes	V. Prés. Coûts	V. Prés. Nette	V. P. N. Annualisée	Rap. Bénéfice/Coût
1,00	136.555,41	26.191,92	110.363,49	5.613,50	5,21
2,00	112.045,56	25.610,35	86.435,21	4.894,95	4,38
3,00	92.213,77	25.101,18	67.112,59	4.211,14	3,67
4,00	76.122,10	24.652,86	51.469,24	3.561,61	3,09
5,00	63.028,82	24.255,92	38.772,90	2.945,60	2,60
6,00	52.345,76	23.902,52	28.443,24	2.362,09	2,19
7,00	43.605,28	23.586,19	20.019,09	1.809,84	1,85
8,00	36.434,63	23.301,57	13.133,06	1.287,46	1,56
9,00	30.535,86	23.044,17	7.491,69	793,41	1,33
10,00	25.670,25	22.810,24	2.860,01	326,06	1,13
11,00	21.646,04	22.596,64	-950,60	-116,27	0,96
12,00	18.309,81	22.400,73	-4.091,92	-535,27	0,82
13,00	15.533,86	22.220,26	-6.686,40	-932,62	0,70
14,00	13.220,31	22.053,33	-8.833,03	-1.309,97	0,60
15,00	11.286,29	21.898,34	-10.612,04	-1.668,91	0,52

**Analyse de sensibilité p. Coût de la Production (\$/ha) avec taux d'actualisation de 4,00% a.a.**

Val. Prés. Coûts (\$/ha)	V. Prés. Nette	V. P. N. Annualisée	Rentabilité Nette (%)	Rap. Bénéfice/Coût
13.559,07	62.563,03	4.329,29	461,41	5,61
14.791,72	61.330,38	4.243,99	414,63	5,15
16.024,36	60.097,74	4.158,69	375,04	4,75
17.257,00	58.865,10	4.073,39	341,11	4,41
18.489,65	57.632,45	3.988,10	311,70	4,12
19.722,29	56.399,81	3.902,80	285,97	3,86
20.954,93	55.167,17	3.817,50	263,27	3,63
22.187,58	53.934,52	3.732,20	243,08	3,43
23.420,22	52.701,88	3.646,91	225,03	3,25
24.652,86	51.469,24	3.561,61	208,78	3,09
25.885,50	50.236,60	3.476,31	194,07	2,94
27.118,15	49.003,95	3.391,02	180,71	2,81
28.350,79	47.771,31	3.305,72	168,50	2,69
29.583,43	46.538,67	3.220,42	157,31	2,57
30.816,08	45.306,02	3.135,12	147,02	2,47

Rapport de coûts



## RÉFÉRENCES

Corte, A.P.D, Sanquetta, C.R. (2007). Quantificação do estoque de carbono fixado em *Pinus* na área de domínio da floresta ombrófila mista no Paraná. *Cerne*, Lavras, v. 13, n. 1, p. 32-39.

Gouveia, V.M., Ângelo. H. (2002). Análise econômica do serviço de fixação de e armazenamento de carbono por um povoamento de *Tectona grandis* L. f. *Brasil Florestal*, v. 21, n. 74.

Hafley, W.L.; Buford, M.A. (1985). A bivariate model for growth and yield prediction. **Forest Science**, v. 31, n. 1, p. 237-47.

Hafley, W.L.; Schreuder, H.T. (1977). Statistical distribution for fitting diameter and height data in even-aged stand. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 7, p. 481-487.

Oliveira, E.B. de, (1995). **Um sistema computadorizado de prognose de crescimento e produção de *Pinus taeda* L. com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo**. Curitiba. Univ. Fed. do Paraná. 126p. Tese Doutorado.

Rondon, E. V. (2006). Estudo de biomassa de *Tectona grandis* L.f. sob diferentes espaçamentos no estado de Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 337-341.

Saidelles, F.L.F.; Caldeira, M.V.W.; Schumacher, M.V.S.; Balbinot, R. (2009). Uso de equações para estimar o carbono orgânico em plantações de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Árvore**. Viçosa. v.33, n.5, p. 907-915.

Schreuder, H.T.; Hafley, W.L. (1977). A useful bivariate distribution for describing stand structure of tree heights and diameter. **Biometrics**. V. 33, P. 471-7.

Silva, H.D. (2006). **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex- maiden) em diferentes idades**. UFPR, Tese de Doutorado. 101p.

Watzlawick, L.F., Sanquetta, C.R., Arce, J., Balbinot, R. (2003). Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**. v.1, n.2, p. 63-68.