

UM MODELO DE PLANEJAMENTO PARA UMA
EMPRESA FLORESTAL

OLYMPIO DE ANDRADE Jr.

Orientador

Prof.Dr. Miguel Taube Netto

Dissertação apresentada ao Instituto
de Matemática, Estatística e Ciência
da Computação como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre
em Matemática Aplicada.

Julho - 1983 -

AGRADECIMENTOS

- Ao prof. Miguel Taube Netto, pela orientação deste trabalho e pela sua contribuição para realização do mesmo, através de seus trabalhos na área de plantio.
- Ao eng. Carlos Augusto de Oliveira da Cia. Siderúrgica Belgo Mineira, pela sua participação e grandes incentivos oferecidos durante a realização do mesmo.
- Aos amigos Marcos, Francisco e Eustáquio do Depto. de Processamento de Dados da CSBM, pela grande paciência e colaboração demonstradas durante a fase de processamento do modelo.
- Às Diretorias da Cia. Siderúrgica Belgo Mineira e Cia. Agrícola e Florestal Santa Bárbara.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Relevância do Trabalho	1
1.3. Localização e Origem do Problema	2
1.4. Considerações sobre o Método atual de Planejam <u>en</u> to e sobre a Filosofia do Modelo	3
2. O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR	5
2.1. Considerações Iniciais	5
2.2. O Conceito de Célula	6
2.3. Definição de Variáveis e Parâmetros	7
2.4. Equações de Evolução das Áreas Florestais.	16
2.5. Outras Equações Estabelecidas	23
2.6. Restrições do Problema	26
2.7. A Função Objetivo	30
3. RESULTADOS	32
4. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	49
5. APÊNDICE	52
6. BIBLIOGRAFIA	64

1. INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

Enfoca-se neste trabalho o problema de planejamento de investimentos e atividades agrícolas, a curto, médio e longo prazo, de uma empresa que se dedica ao plantio de eucaliptos, e a produção de carvão vegetal para fins siderúrgicos.

A solução deste problema é de fundamental importância para a empresa, e pela primeira vez nesta companhia ele é tratado com o uso de técnicas matemáticas de otimização.

Formula-se para isto um modelo de programação linear, cujo objetivo é minimizar o orçamento da empresa num certo horizonte.

Embora o modelo tenha sido elaborado para esta empresa em particular, modelos parecidos poderiam ser desenvolvidos, visando orientar programas de reflorestamento e política de incentivos na área, ou mesmo para planejar as decisões estratégicas de outras reflorestadoras, cujo objetivo final não seja a produção de carvão vegetal.

1.2. Relevância do trabalho

A necessidade de se otimizar as decisões na área fica evidenciada se considerarmos alguns pontos como:

1º) O crescimento da demanda de celulose e carvão vegetal, e ainda o enorme consumo de lenha e madeira processada, assim como as perspectivas de utilização da biomassa, determinam um grande crescimento da demanda de madeira no país para os próximos anos.

No que se refere ao setor siderúrgico, deve ser considerado que boa parcela da siderurgia nacional se faz a carvão vegetal, sendo que em alguns casos (sobretudo na fabricação de aços especiais) este é um insumo indispensável na obtenção de um aço com a composição química especificada para o caso.

Além disso, deve-se salientar que o carvão vegetal (logicamente para as empresas que utilizam apenas este re

ductor) participa com uma parcela aproximada de 40% no custo do aço produzido, considerando-se inclusive o custo da mão-de-obra direta.

- 2º) Além do aumento previsto do consumo interno a madeira e seus derivados (particularmente o carvão vegetal) se apresentam hoje como produtos para exportação de grande potencial.
- 3º) As expectativas de produção de madeira a partir das florestas plantadas atualmente, não acompanham o crescimento da demanda. Assim, pelo menos a curto e médio prazo, persiste a necessidade de complementar esta produção com material proveniente de matas nativas.
Todavia, se até hoje o desmatamento ocorreu indiscriminadamente para a formação de pastagens, áreas agrícolas, abertura de estradas, etc., deve-se ter em vista que as matas nativas disponíveis, estão cada vez mais distantes dos centros consumidores atuais, o que tende a inviabilizar a longo prazo, o uso destes recursos naturais, face ao elevado custo de transporte.
- 4º) Os investimentos na área são elevados e o tempo de retorno não é curto, dado as características dos ciclos florestais.
- 5º) Novas tecnologias florestais e na fase de processamento da madeira, estão sendo introduzidas. Como exemplo importante nesta empresa, temos a introdução de florestas densas de ciclo curto (espaçamento 2x1m) em substituição às florestas tradicionais (espaçamento 3x2m).

Estas inovações devem acontecer de forma a otimizar o uso dos recursos disponíveis e os custos operacionais decorrentes.

1.3. Localização e origem do problema

O trabalho foi desenvolvido a partir de uma solicitação da Diretoria da Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara (CAF), com sede em Belo Horizonte, que possui cerca de 180.000ha de florestas de eucalipto, distribuídas em 37 muni-

cípios de 3 estados brasileiros: Minas Gerais, Bahia e Espírito Santo.

Sua capacidade atual de produção é da ordem de 270.000 ton de carvão/ano, a qual se destina aos Alto Fornos da Cia. Siderúgica Belgo Mineira (CSBM), da qual ela é associada.

Atualmente, a produção da CAF representa apenas cerca de 45% do consumo total da CSBM. O restante desta demanda é suprido pela compra de carvão vegetal de terceiros, que geralmente são pequenos produtores de diversas regiões do estado, que produzem carvão a partir do desmatamento de cerrados e matas virgens.

A CSBM possui atualmente uma capacidade anual de produção de aço, da ordem de 800.000t, e seu consumo de carvão gira em torno de 500.000ton/ano.

1.4. Considerações sobre o método atual de planejamento e sobre a filosofia do novo modelo

Tradicionalmente, o planejamento de longo prazo da empresa tem sido elaborado, tendo-se em vista quase que exclusivamente, o atendimento da demanda de carvão da CSBM, em certos níveis pré-estabelecidos.

Neste trabalho a proposta seria considerar a empresa como um todo, formulando-se um modo de planejamento global.

Desta forma, a solução do modelo deveria indicar as regiões e as épocas, onde seriam executados cada item de planejamento, sendo que os itens considerados seriam basicamente os seguintes: investimentos em ampliação das capacidades produtivas, em aquisição de terras, operações agrícolas de reforma, adensamento, implantação e exploração florestal, bem como desativação e/ou venda de áreas atualmente em produção e a taxa global de crescimento da produção.

O objetivo foi assim obter, entre as inúmeras alternativas, uma solução global que apontasse as regiões onde seriam realizadas cada atividade, a época e o nível das mesmas, tendo-se em vista as diferentes peculiaridades de cada região e as restrições principais do problema, ou seja: disponibilidade

e fontes de recursos, atendimento da demanda de carvão da CSBM em certos níveis, possibilidade de obtenção de crédito pela empresa com fechamentos periódicos de balanço, etc., assim como a situação atual da companhia, no que diz respeito a capacidades instaladas, áreas reflorestadas por rotação, idade e região, etc., de forma a minimizar o orçamento total da empresa num horizonte de 19 anos.

Dentro desta filosofia, estariam consideradas todas as interações existentes entre as diversas decisões possíveis.

Finalmente, estabeleceu-se que o modelo tivesse característica dinâmica, isto é, conhecida a situação presente real da empresa no início de um ano, deveria ser possível realizar o seu planejamento para um horizonte completo, a partir deste ano.

2. O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

2.1. Considerações iniciais

Após o plantio, até o primeiro corte, o eucalipto é chamado de primeira rotação. Após o primeiro corte, a árvore torna a crescer, e até o segundo corte temos a segunda rotação. Analogamente temos a terceira rotação.

Logicamente, os rendimentos florestais decrescem à medida em que as rotações se passam, e torna-se necessário o replantio após uma dada rotação (usualmente a terceira).

Entretanto, como o objetivo a longo prazo é operar-se apenas com florestas densas, estão previstos três tipos de operações florestais com esta finalidade, sendo que para cada região de produção, estão definidas as operações que poderão ser executadas.

Estas operações são as seguintes:

1a.) Implantação:

Neste caso parte-se de um terreno que nunca foi plantado, procede-se o desmatamento, prepara-se o terreno e faz-se o plantio de árvores já com espaçamento 2x1. Todos os cuidados silviculturais modernos são tomados e o plantio é feito de maneira a racionalizar a manutenção e exploração florestal.

2a.) Adensamento:

Neste caso, no mesmo ano em que ocorrer o primeiro corte de uma área tradicional em qualquer rotação, procede-se ao plantio de novas mudas intercaladas entre os velhos cepos já existentes. As novas mudas crescem junto com a brotação dos velhos cepos, de maneira razoavelmente homogênea.

3a.) Reforma:

Para executar esta operação, espera-se a floresta ser explorada pela terceira vez, quando é feito o destocamento, o terreno é preparado nos moldes modernos e uma nova floresta (densa) é plantada no lugar.

A implantação pode ocorrer em terrenos que a companhia já possui atualmente, ou que serão comprados ao lon

go do horizonte de planejamento. No caso de ser feita em terreno comprado durante o horizonte, esta deverá acontecer no ano seguinte ao ano da aquisição da terra, caso contrário poderá ocorrer em qualquer ano do horizonte.

O adensamento será realizado em áreas onde as florestas tradicionais são mais novas (de primeira ou segunda rotação) que já foram implantadas com padrões florestais relativamente modernos, que possuem uma topografia pouco acidentada e já são bastante mecanizadas.

A reforma está prevista para as regiões de produção mais antigas, onde as florestas tradicionais são de uma maneira geral, mais velhas e menos racionais, e a topografia é bem mais acidentada. Estas áreas se encontram mais próximas da Usina. Esta operação seria executada em qualquer ano após o ano da terceira exploração. Caso ela não ocorresse no ano seguinte ao da exploração, a terra ficaria arrendada (gerando receitas de arrendamento) até uma época oportuna para venda ou para execução da reforma. Se a terra permanecesse arrendada até o final do horizonte, ela seria considerada como disponível para venda, a partir do ano seguinte ao da exploração.

2.2. O conceito de célula

Conforme já foi dito, as áreas de plantio e produção da empresa encontram-se bastante espalhadas. Assim, as características de custos operacionais, demanda de investimentos para um mesmo tipo de operação, rendimentos florestais, capacidades instaladas inicialmente, preços de compra e venda de terra, etc., assim como as operações previstas para cada região, são às vezes substancialmente diferentes.

Por isto, as inúmeras frentes de produção da empresa foram agrupadas em 15 regiões, que foram chamadas de "células".

Para cada célula estaria definido o tipo de operação a ser realizada (citada no item anterior), se seria permitida a compra e/ou venda de terras, arrendamento, etc., assim como os parâmetros de custos, rendimentos, etc..

Foram estabelecidos 3 conjuntos de células (C_1 , C_2 , C_3), sendo que para cada um dos três ficaram definidos basicamente os seguintes pontos:

* Conjunto C_1 (4 células):

- . Permitida a compra e venda de terras durante o horizonte.
- . São previstas operações de adensamento.
- . São previstas operações de implantação, em terras compradas durante o horizonte ou que já são de propriedade da empresa.

* Conjunto C_2 (10 células)

- . Permitida apenas a venda de terras.
- . São previstas operações de reforma.
- . São previstas operações de implantação em áreas que já são de propriedade da empresa.
- . É previsto o arrendamento das áreas que não sofrerão reforma logo após a terceira exploração, a partir do ano seguinte ao da exploração.

* Conjunto C_3 (1 célula):

- . Não é permitida nem a compra nem a venda de terras.
- . Não é prevista nenhuma operação com a finalidade de obtenção de florestas densas.
- . Não são previstos novos plantios ou replantios de florestas tradicionais. Por outro lado, as condições de solo e clima da região, indicam que as rotações seguintes à segunda, que poderão ocorrer dentro do horizonte considerado, apresentarão os mesmos rendimentos e custos operacionais da 2a. rotação.

2.3. Definição de variáveis e parâmetros.

Ao definirmos as variáveis e posteriormente equacionarmos o modelo, poderíamos considerar uma condição inicial genérica, isto é, considerar que para cada célula, no início do ano 1, tivéssemos áreas tradicionais e densas em todas as rotações e idades possíveis. Isto, entretanto, acarretaria um crescimento desnecessário do modelo.

Além disto, como não estão previstos novos plantios de florestas tradicionais, não tem sentido definirmos variáveis, como por exemplo $T(c, i, 1, 1)$ (vide definições item 2.3.1) para $i \geq 2$, assim como uma série de outras.

Por fim, para efeito de definição das variáveis e sem outras implicações, consideramos que cada uma das células do conjunto C_k , possui a situação inicial de uma célula fictícia correspondente a este conjunto. Esta célula fictícia é tal que:

$$\begin{aligned} & \{ \text{rotações existentes no início do ano } 1, \text{ na célula} \\ & \text{fictícia correspondente ao conjunto } C_k \} = \\ & = \bigcup_{c \in C_k} \{ \text{rotações existentes no início do ano } 1, \text{ na} \\ & \quad \text{célula } \underline{c} \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \{ \text{Idades em cada rotação, existentes no início do ano} \\ & \text{ } 1, \text{ na célula fictícia correspondente ao conj. } C_k \} = \\ & = \{ h, h+1, \dots, g \} \end{aligned}$$

onde: $h(r)$: idade mínima existente em rotação \underline{r} no início do ano 1, no conjunto C_k .

$g(r)$: idade máxima existente em rotação \underline{r} no início do ano 1, no conjunto C_k .

Estas considerações não invalidam a característica dinâmica do modelo.

2.3.1. Definição das variáveis

$T(c, i, r, j)$: Área de floresta tradicional existente na célula \underline{c} no início do ano \underline{i} , de rotação \underline{r} , com \underline{j} anos de idade.

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i \in IT(c, r)$$

$$j \in JT(c, i, r)$$

$TV(c,i,r)$: Área de floresta tradicional existente na célula c no início do ano i , de rotação r , com idade superior a idade máxima normal para corte.

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i \in IFV(c,r)$$

$D(c,i,r,j)$: Área de floresta densa existente na célula c no início do ano i , de rotação r , com j anos de idade.

$$c \in C_{1,2}$$

$$r \in RD(c)$$

$$i \in ID(c,r)$$

$$j \in JD(c,i,r)$$

Para $r=1$; esta variável se refere apenas às áreas densas provenientes de implantação e reforma. Para $r \neq 1$ ela se refere às áreas de florestas densas a partir de qualquer tipo de operação.

$AD(c,i,j)$: Área de floresta densa, proveniente de adensamento, em 1a. rotação, existente na célula c , no início do ano i , com j anos de idade.

$$c \in C_1$$

$$i \in IA(c)$$

$$j \in JA(c,i)$$

$TE(c,i,r,j)$: Área de floresta tradicional a ser explorada na célula \underline{c} , durante o ano \underline{i} , de rotação \underline{r} com \underline{j} anos de idade.

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i \in IET(c,r)$$

$$j \in JET(c,i,r)$$

$DE(c,i,r,j)$: Área de floresta densa a ser explorada na célula \underline{c} , durante o ano \underline{i} , de rotação \underline{r} com \underline{j} anos de idade.

$$c \in C_{1,2}$$

$$r \in RD(c)$$

$$i \in IED(c,r)$$

$$j \in JED(c,r)$$

$ADE(c,i,j)$: Área de floresta adensada de 1a. rotação, a ser explorada na célula \underline{c} , durante o ano \underline{i} , de rotação \underline{r} com \underline{j} anos de idade.

$$c \in C_1$$

$$i \in IEA(c)$$

$$j \in JEA(c,i)$$

$AA(c,i)$: Área a ser adensada na célula \underline{c} no ano \underline{i} .

$$c \in C_1$$

$$i \in \bigcup_r \{IET(c,r) \cup IFV(c,r)\}$$

$AC(c,i)$: Área a ser comprada na região da célula c durante o ano i que sofrerá operação de implantação no ano $i+1$.

$$c \in C_1$$

$$i=1,17$$

$IPDVI(c,i)$: Área da célula c que sofrerá implantação durante o ano i , que é parte de uma área pré-destinada a implantação ou venda durante o horizonte.

$$c \in C_{VI_{1,2}} \subset C_{1,2}$$

$$i=1,18$$

$VPDVI(c,i)$: Área a ser vendida na célula c , no ano i da mesma área disponível anterior.

$$c \in C_{VI_{1,2}} \subset C_{1,2}$$

$$i=1,19$$

$VPDV(c,i)$: Área a ser vendida na célula c no ano i , de uma área totalmente estabelecida para venda durante o horizonte.

$$c \in C_{VD_{1,2}} \subset C_{1,2}$$

$$i=1,19$$

$V(c,i,a)$: Área da célula c , a ser vendida no ano a que é parte da área explorada no ano i .

$$c \in C_1$$

$$i \in \bigcup_r IET(c,r)$$

$$a=i+1, i+2, \dots, \pi(c,i)$$

De um modo geral, $\pi(c,i) = i+1$, sendo para alguns anos igual a $i+3$.

A idéia foi permitir que uma área explorada no ano i , pudesse ser vendida e ge-

rasse disponibilidade de recursos para investimentos para os anos $i+1, i+2, \dots, \pi(c,i)$.

A terra estaria ociosa até ser vendida.

$TARR(c,i)$: Área total arrendada no fim do ano \underline{i} , na célula \underline{c} .

$c \in C_2$

$i \in IAR(c)$

$VTARR(c,i)$: Área a ser vendida na célula \underline{c} , no ano \underline{i} que é parte da área total que estava arrendada ou foi explorada no ano $i-1$.

$c \in C_2$

$i \in IAR(c)$

$RF(c,i)$: Área a ser reformada na célula \underline{c} , durante o ano \underline{i} .

$c \in C_2$

$(i-1) \in IET(c,3) / i \leq 19$

$PC(c,i)$: Produção total de carvão na célula \underline{c} , durante o ano \underline{i} .

$c \in C_{1,2,3}$

$i = 1, 19$

$ACT(i)$: Produção total de alcatrão vegetal da empresa durante o ano \underline{i} .

$i = 1, 19$

- IC(c,i) : Investimento para ampliação da capacidade anual de carvoejamento e exploração da madeira na célula \underline{c} , feito no ano \underline{i} .
 $c \in C_{1,2,3}$
 $i=1,19$
- IA(i) : Investimento para ampliação da capacidade anual de produção de alcatrão da empresa, feito no ano \underline{i} .
 $i=1,19$
- DC(i) : Somatório de determinados custos operacionais da empresa no ano \underline{i} , tradicionalmente denominados como "Despesas com Carvão".
 $i=1,19$

2.3.2. Parâmetros do problema:

- CMT(c,r,j) : Custo de manutenção anual de 1ha de floresta tradicional em rotação \underline{r} , idade \underline{j} , na célula \underline{c} .
- CMD(c,r,j) : Custo de manutenção anual de 1ha de floresta densa, em rotação \underline{r} , idade \underline{j} , na célula \underline{c} , com excessão daquelas provenientes de adensamento, em 1a. rotação.
- CMA(c,j) : Custo de manutenção anual de 1 ha de floresta densa proveniente de adensamento, em 1a. rotação na célula \underline{c} , com idade \underline{j} .
- CTMEPF(c,r,j) : Somatório dos seguintes custos: manutenção florestal no ano da exploração + exploração florestal + produção de carvão + frete do carvão produzido, da célula \underline{a} à usina; referentes a 1 ha de floresta tra

dicional em rotação \underline{r} , idade \underline{j} , na célula \underline{c} .

- CDMEPF(c, r, j) : Custo de manutenção anual de 1 ha de floresta densa, em rotação \underline{r} , com idade \underline{j} , na célula \underline{c} , com excessão daquelas provenientes de adensamento em la. rotação.
- CAMEPF(c, j) : Custo de manutenção anual de 1 ha de floresta densa proveniente de adensamento, em la. rotação, na célula \underline{c} , com idade \underline{j} .
- CTEPF(c, j) : Somatório dos seguintes custos: exploração florestal + produção de carvão + frete do carvão produzido, da célula à usina; referentes a 1 ha de floresta tradicional em la. rotação, idade \underline{j} , na célula \underline{c} .
- CDEPF(c, j) : Somatório dos seguintes custos: exploração florestal + produção de carvão + frete do carvão produzido, da célula à usina; referentes a 1 ha de floresta densa, em la. rotação, idade \underline{j} , na célula \underline{c} , que não seja proveniente de adensamento.
- CTME1(c) : Custo por ha da manutenção florestal aplicada à área explorada de floresta tradicional em la. rotação, no ano da exploração, na célula \underline{c} .
- CDME1(c) : Custo por ha da manutenção florestal aplicada à área explorada de floresta densa não proveniente de adensamento em la. rotação, no ano da exploração, na célula \underline{c} .

- CIP(c) : Custo de implantação de 1 ha de floresta densa na célula c.
- CAD(c) : Custo de adensamento de 1 ha na célula c.
- CRF(c) : Custo de reforma de 1 ha de floresta na célula c.
- PCVT(c) : Preço de compra e venda de 1 ha de terra na região da célula c.
- RARR(c) : Receita gerada por 1 ha de terra arrendada, durante um ano na célula c.
- RAC : Receita proveniente da comercialização do alcatrão vegetal. Para estabelecer este valor, o alcatrão foi considerado como substituto do óleo combustível consumido na usina.
- COC : Custo incorrido por ton. anual de capacidade de produção de carvão ociosa, em qualquer célula.
- $\rho(t,c,r,j)$: Rendimento florestal (em ton. de carvão obtido/ha explorado) de floresta tradicional, na célula c, em rotação r, com idade j.
- $\rho(d,c,r,j)$: Rendimento florestal (em ton. de carvão obtido/ha explorado) para florestas densas (de qualquer procedência).

2.4. Equações de evolução das áreas florestais

Estas equações estabelecem a evolução das áreas florestais por rotação e idade, para cada célula, a partir de uma configuração inicial, e em função dos valores assumidos pelas variáveis de decisão que estabelecem o nível das atividades da empresa a cada ano.

2.4.1.

$$T(c, i+1, r, j+1) = T(c, i, r, j) - TE(c, i, r, j)$$

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i \in IET(c, r) / i \neq \text{Max } IET(c, r)$$

$$j \in JET(c, i, r) / j \neq v$$

$$v = \text{Max } \bigcup_i JET(c, i, r)$$

2.4.2.

$$TV(c, i+1, r) = TV(c, i, r) - TVE(c, i, r) + \\ + [T(c, i, r, v) - TE(c, i, r, v)]$$

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i \in IFV(c, r) / i \neq \text{Max } IFV(c, r)$$

Quando $w = \text{Min } IFV(c, r) \neq 1$, devemos estabelecer ainda:

$$TV(c, w, r) = T(c, w-1, r, v) - TE(c, w-1, r, v)$$

2.4.3.

$$TE(c,i,r,v) \leq T(c,i,r,v)$$

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i \in IET(c,r) / i < \text{Max IFV}(c,r)$$

Quando $w = \text{Min IFV}(c,r) \neq 1$, é desnecessário estabelecer esta restrição para $i = w - 1$.

$$TVE(c,i,r) \leq TV(c,i,r)$$

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i \in IFV(c,r) / i < \text{Max IFV}(c,r)$$

desnecessária para $i > \text{Max IET}(c,r)$

2.4.4.

$$TE(c,i,r,v) = T(c,i,r,v)$$

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i \in IET(c,r) / i \geq \text{Max IFV}(c,r)$$

2.4.5.

$$TE(c,i,r,j) \leq T(c,i,r,j)$$

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i = 19$$

$$j \in JET(c,i,r) / j \neq v$$

2.4.6.

$$TV(c,i,r) = TVE(c,i,r)$$

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i = \text{Max IFV}(c,r)$$

2.4.7.

$$T(c,i,r,j) = T(c,i+k,r,j+k)$$

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$r \in RT(c)$$

$$i \in IT(c,r)$$

$$j \in JT(c,i,r) / j < z ; p/ i=1$$

$$j = '1 ; p/ i \neq 1$$

$$k = 1,2,\dots / j+k \leq z \wedge i+k \leq 19$$

$$z = \text{Min } \bigcup_i JET(c,i,r)$$

2.4.8.

$$T(c,i+1,r+1,1) = TVE(c,i,r) + \sum_{j \in JET} TE(c,i,r,j)$$

$$c \in C_2$$

$$r \in RT(c) / r < 3$$

$$i \in IET(c,r) \cup IFV(c,r) / i \neq 19$$

2.4.9.

$$T(c,i+1,2,1) = \sum_{R \in RT} \sum_{j \in JET}$$

$$TE(c,i,r,j) + \sum_{R \in RT} TVE(c,i,r)$$

$$c \in C_3$$

$$i \in \bigcup_r \{IET(c,r) \cup IFV(c,r)\} / i < 19$$

Pelos motivos já expostos, para efeito de equacionamento, uma área deste conjunto de células em 2a. rotação, ao ser explorada, resultará em floresta de 2a. rotação com 1 ano de idade, no ano seguinte.

2.4.10.

$$D(c,i+1,r,j+1) = D(c,i,r,j) - DE(c,i,r,j)$$

$$c \in C_{1,2}$$

$$r \in RD(c)$$

$$i \in IED(c,r) / i \neq m$$

$$j \in JED(c,i,r) / i \neq n$$

$$m = \text{Max } IED(c,r)$$

$$n = \text{Max } \bigcup_i JED(c,i,r)$$

2.4.11.

$$DE(c,i,r,n) = D(c,i,r,n)$$

$$c \in C_{1,2}$$

$$r \in RD(c)$$

$$i \in IET(c,r)$$

2.4.12.

$$DE(c,i,r,j) \leq D(c,i,r,j)$$

$$c \in C_{1,2}$$

$$r \in RD(c)$$

$$i = 19$$

$$j \in JED(c,i,r) / j \neq n$$

2.4.13.

$$D(c, i, r, j) = D(c, i+k, r, j+k)$$

$$c \in C_{1,2}$$

$$r \in RD(c)$$

$$i \in ID(c, r)$$

$$j \in JD(c, i, r) / j < u ; p / i=1$$

$$j = 1 ; p / i \neq 1$$

$$r = 1, 2, \dots / j+k \leq u$$

$$u = \text{Min } \bigcup_i JED(c, i, r)$$

2.4.14.

$$AD(c, i+1, j+1) = AD(c, i, j) - ADE(c, i, j)$$

$$c \in C_1$$

$$i \in IEA(c) / i \neq p$$

$$j \in JEA(c, i) / i \neq q$$

$$p = \text{Max } IEA(c)$$

$$q = \text{Max } JEA(c, i)$$

2.4.15.

$$ADE(c, i, q) = AD(c, i, q)$$

$$c \in C_1$$

$$i \in IEA(c)$$

2.4.16.

$$ADE(c, i, j) \leq AD(c, i, j)$$

$$c \in C_1$$

$$i = 19$$

$$j \in JEA(c, i) / j \neq q$$

2.4.17.

$$AD(c,i,j) = AD(c,i,j+k)$$

$$c \in C_1$$

$$i \in IA(c)$$

$$j \in JEA(c,i) / j < t ; p/ i=1$$

$$j = 1 ; p/ i \neq 1$$

$$k = 1,2,\dots / j+k \leq t$$

$$t = \text{Min } \bigcup_i JEA(c,i)$$

2.4.18.

$$D(c,i+1,2,1) = \sum_{r \in RD} \sum_{j \in JED}$$

$$DE(c,i,r,j) + \sum_{j \in JEA} ADE(c,i,j)$$

$$c \in C_1$$

$$i \in \bigcup_r IED(r,c) \cup IEA(c)$$

Por motivos técnicos e pelo desconhecimento do comportamento preciso das florestas densas (de qualquer procedência), a partir da segunda rotação, considerou-se que as rotações que se seguem à segunda rotação, apresentariam o mesmo rendimento florestal, custos, etc., da segunda rotação. Por isto, para efeito de equacionamento, uma área densa de segunda rotação ao ser explorada, resultará em uma nova área de segunda rotação, com 1 ano de idade, no ano seguinte.

2.4.19.

$$\alpha AA(c,i) + \sum_{a=i+1}^{\pi(c,i)} V(c,i,a) =$$

$$= \alpha \left(\sum_{r \in RT} \sum_{j \in JET} TE(c,i,r,j) + \sum_{r \in RT} TVE(c,i,r) \right)$$

$$c \in C_1$$

$$i \in \bigcup_r \{IET(c,r) \cup IFV(c,r)\}$$

$\alpha > 1$; $\bar{\epsilon}$ é um fator que corrige a diferença existente entre uma área de eucalipto cultura e a área total ocupada.

2.4.20.

$$TARR(c,i-1) + \alpha \cdot (TVE(c,i-1,3) + \sum_{j \in JET} TE(c,i-1,3,j)) -$$

$$- VTARR(c,i) - \beta \cdot RF(c,i) = TARR(c,i)$$

$$c \in C_2$$

$$i \in IAR(c)$$

$TARR(c,0)$: Representaria, quando fosse o caso, uma área disponível para arrendamento, venda ou reforma, no início do horizonte.

$\beta < 1$: Fator que corrige a diferença entre a área total ocupada por uma floresta tradicional e a parcela desta área que seria aproveitada para reforma.

2.4.21.

$$\gamma \cdot AC(c, i-1) + IPDVI(c, i) = D(c, i+1, 1, 1)$$

$$c \in C_1$$

$$i = 1, 18$$

$\gamma < 1$: fator relativo ao aproveitamento de uma área para implantação.

2.4.22.

$$AA(c, i) = AD(c, i+1, 1)$$

$$c \in C_1$$

$$i \in \bigcup_r \{IET(c, r) \cup IFV(c, r)\} / i \neq 19$$

2.4.23.

$$D(c, i+1, 1, 1) = RF(c, i) + IPDVI(c, i)$$

$$c \in C_2$$

$$i = 1, 2, \dots, 18$$

2.5. Outras equações estabelecidas

2.5.1. Equações que calculam a produção de carvão em uma célula, ano a ano, em função das áreas exploradas:

$$\begin{aligned} PC(c, i) = & \sum_r \sum_j \rho(t, c, r, j) \cdot TE(c, i, r, j) + \\ & + \rho(d, c, r, j) \cdot DE(c, i, r, j) + \sum_j \rho(d, c, 1, j) \cdot \\ & \cdot ADE(c, i, j) + \sum_r \rho(d, c, r, v) \cdot TVE(c, i, r) \end{aligned}$$

$$c \in C_{1,2,3}$$

$$i = 1, 19$$

2.5.2. Equações que calculam uma série de custos operacionais da empresa, ano a ano, conhecidos como despesas com carvão:

$$\begin{aligned}
 DC(i) = & \sum_{c \in C_{1,2,3}} \left[\sum_{\substack{r \in RT \\ r \neq 1}} \sum_{j \in JT-JET} CMT(c,r,j) \cdot \right. \\
 & \cdot T(c,i,r,j) + \sum_{j \in JET} CMT(c,r,j) \cdot [T(c,i,r,j) - \\
 & - TE(c,i,r,j)] + CMT(c,r,v) \cdot [TV(c,i,r) - \\
 & \cdot TVE(c,i,r)] + \sum_{j \in JET} CTMEPF(c,r,j) \cdot TE(c,i,r,j) + \\
 & + CTMEPF(c,r,v) \cdot TVE(c,i,r) \} + \sum_{j \in JET} CTEPF(c,j) \cdot \\
 & \cdot TE(c,i,1,j) + CTEPF(c,v) \cdot TVE(c,i,r) \Big] + \\
 & + \sum_{c \in C_{1,2}} \left[\sum_{\substack{r \in RD \\ r \neq 1}} \sum_{j \in JD-JED} CMD(c,r,j) \cdot D(c,i,r,j) + \right. \\
 & + \sum_{j \in JED} CMD(c,r,j) \cdot [D(c,i,r,j) - DE(c,i,r,j)] + \\
 & + \sum_{j \in JED} CDMEPF(c,r,j) \cdot DE(c,i,r,j) \} + \\
 & + \sum_{j \in JED} CDEPF(c,j) \cdot DE(c,i,1,j) \Big] + \\
 & + \sum_{c \in C_1} \left[\sum_{j \in JA-JEA} CMA(c,j) \cdot AD(c,i,j) + \right. \\
 & + \sum_{j \in JEA} CMA(c,j) \cdot [AD(c,i,j) - ADE(c,i,j)] + \\
 & + \sum_{j \in JEA} CAMEPF(c,j) \cdot ADE(c,i,j) \Big]
 \end{aligned}$$

2.5.3. Equações que determinam as despesas com áreas em primeira rotação (consideradas como investimentos), a cada ano.

$$\begin{aligned}
 DAIR(i) = & \sum_{c \in C_{1,2,3}} \left[\sum_{j \in JT-JET} CMT(c,1,j) \cdot \right. \\
 & \cdot T(c,i,1,j) + \sum_{j \in JET} CMT(c,1,j) \cdot \left[T(c,i,1,j) - \right. \\
 & \left. \left. - TE(c,i,1,j) \right] + \sum_{j \in JET} CTME1(c,j) \cdot TE(c,i,1,j) \right] + \\
 & + \sum_{c \in C_{1,2}} \left[\sum_{j \in JD-JED} CMD(c,1,j) \cdot D(c,i,1,j) + \right. \\
 & + \sum_{j \in JED} CMD(c,1,j) \cdot \left[D(c,i,1,j) - DE(c,i,1,j) \right] + \\
 & \left. + \sum_{j \in JED} CDME1(c,j) \cdot DE(c,i,1,j) \right]
 \end{aligned}$$

2.5.4. Equações que determinam o investimento feito ano a ano:

$$\begin{aligned}
 INVE(i) = & DAIR(i) + IA(i) + \sum_{c \in C_{1,2,3}} IC(c,i) + \\
 & CIP(c) \cdot (IPDVI(c,i) + AC(c,i-1)) + CAD(c) \cdot \\
 & \cdot AA(c,i) + CRF(c) \cdot RF(c,i) + PCVT(c) \cdot AC(c,i)
 \end{aligned}$$

2.5.5. Receitas em cada ano, disponíveis para investimentos:

$$\begin{aligned}
 RCT(i) = & \sum_{c \in C_1} PCVT(c) \cdot \left[VPDVI(c,i) + \right. \\
 & \left. + \sum_a V(c,i,a) \right] + \sum_{c \in C_2} PCVT(c) \cdot (VTARR(c,i) + \\
 & \left. + VPDVI(c,i) + VPDV(c,i) \right] + \sum_{c \in C_2} RARR(c) \cdot \\
 & \cdot TARR(c,i) + RAC \cdot ACT(i)
 \end{aligned}$$

2.6. Restrições do Problema

2.6.1. Da produção de carvão vegetal em relação a capacidade anual instalada de carvoejamento e exploração florestal:

$$PC(c,i) \leq CC(c,i) = CC(c,o) + \eta \cdot \sum_{m=1}^i IC(c,m)$$

onde:

$CC(c,i)$: capacidade de carvoejamento e exploração, na célula c , disponível para o ano i .

η : ampliação da capacidade/CR\$ investido.

2.6.2. De atendimento da demanda de carvão CSBM em níveis pre estabelecidos:

$$f1,i \cdot DCSBmi \leq \sum_{c \in C_{1,2,3}} P(c,i) \leq f2,i \cdot DCSBmi$$

onde:

DCSBM_i : Demanda CSBM de carvão, prevista para o ano i

f_{1,2,i} : Fatores que estabelecem o nível de atendimento da demanda.

2.6.3. De produção de alcatrão em relação a produção de carvão no ano:

$$ACT(i) \leq 0,08 \cdot \sum_{c \in C_{1,2,3}} PC(c,i)$$

2.6.4. De produção de alcatrão em relação a capacidade instalada de recuperação de alcatrão até o ano:

$$ACT(i) \leq CAO + K \cdot \sum_{n=1}^i IA(i)$$

onde:

CAO : Capacidade de produção de alcatrão no início do ano 1.

K : Ampliação da capacidade de recuperação/CR\$ investido.

2.6.5. Quanto a disponibilidade de áreas virgens já de propriedade da Cia. no início do horizonte, destinadas a implantação ou venda.

$$\sum_{i=1}^{18} VPDVI(c,i) + \frac{1}{\gamma} IPDVI(c,i) \leq ADVI(c)$$

onde: $c \in C_{1,2}$

ADVI(c) : Área disponível para a finalidade descrita.

2.6.6. Quanto à disponibilidade de áreas predeterminadas para venda durante o horizonte:

$$\sum_{i=1}^{19} \text{VPDV}(c,i) \leq \text{APDV}(c)$$

$$c \in \text{CVD}_{1,2}$$

onde:

APDV(c) : Área total disponível para venda

2.6.7. Limite para a compra total de terras:

$$\sum_c \sum_i \text{AC}(c,i) \leq \text{LAC}$$

2.6.8. Limite de investimentos anuais:

$$\text{INVE}(i) \leq \text{RCT}(i) + \text{EMP}(i)$$

EMP(i) : Quantia máxima, disponível através de empréstimo, permitido para o ano i.

Esta restrição permite um certo endividamento da empresa, que deve ser liquidado dentro do período orçamentário (A,B).

2.6.9. Fechamento de um balanço periódico: Investimento/Receitas + Recursos.

$$\sum_{i=A}^B \text{INVE}(i) \leq \sum_{i=A}^B \text{RCT}(i) + \text{REC}(A,B)$$

REC(A,B) : Recurso financeiro CSBM disponível para o período (A,B).

$$(\text{REC}(A,B) < \sum_{i=A}^B \text{EMP}(i))$$

2.7. A Função Objetivo

Para este trabalho, foram otimizadas as seguintes funções:

2.7.1.

$$Z1 = \sum_{i=1}^{19} \frac{1}{(1+\theta)^{i-1}} \{INVE(i) + DC(i) - RAC .$$

$$. ACT(i) - \sum_{c \in C_2} RARR(c) . TARR(c,i) + \sum_{c \in C_{1,2,3}} COC .$$

$$. [CC(c,i) - PC(c,i)] \}$$

2.7.2.

$$Z2 = \sum_{i=1}^{19} \sum_{c \in C_{1,2,3}} [CC(c,i) - PC(c,i)]$$

sujeito a:

$$Z1 - \sum_{i=1}^{19} \frac{COC}{(1+\theta)^{i-1}} \sum_{c \in C_{1,2,3}} [CC(c,i) - PC(c,i)] \leq Z1X$$

onde:

Z1X é o valor ótimo de Z1 na solução 2.7.1.

2.7.3.

$$\begin{aligned}
 Z3 = & \sum_{i=1}^{19} \frac{1}{(i+\theta)^{i-1}} \{DC(i) - RAC \cdot ACT - \\
 & - \sum_{c \in C_2} RARR(c) \cdot TARR(c,i) + \sum_{c \in C_{1,2,3}} COC \left[CC(c,i) - \right. \\
 & \left. - PC(c,i) \right] \}
 \end{aligned}$$

sujeito às limitações de investimentos já estabelecidas.

2.7.4.

Z2

sujeito a:

$$\begin{aligned}
 Z3 - & \sum_{i=1}^{19} \frac{COC}{(i+\theta)^{i-1}} \sum_{c \in C_{1,2,3}} \left[CC(c,i) - \right. \\
 & \left. - PC(c,i) \right] \leq Z3X
 \end{aligned}$$

onde:

Z3X é o valor ótimo de Z3 na solução 2.7.3.

3. RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados foram retirados diretamente das listagens obtidas do computador (onde logicamente, cada variável definida neste trabalho é apresentada com seu respectivo valor) e são expostos de maneira resumida, que entretanto nos permite perfeitamente acompanhar e analisar a solução ao longo de todo o horizonte, em cada região da companhia.

Não foi desenvolvida uma saída especial para os resultados nas listagens, por considerar-se desnecessário nesta fase do trabalho.

As listagens encontram-se disponíveis em posse do autor.

Item de Planejamento	Ano																				
	Célula	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Invest. Ampliação Capacidade Carvoejamento e Exploração Florestal. [IC(c,i)] (CR\$ x 10 ⁶)	1	87.3	172.3	60.3	21.9			348.2				95.5	278.2				39.8				
	2		1.0		182.8	49.9															
	3							122.7		83.0				133.0							
	4			108.4	349.9																
	5	5.2																			
	6																				
	7	20.7																			
	8					24.4											21.3	9.0			
	9	14.5																			
	10	77.3																			
	11	3.3					2.3							6.0			27.9	9.7			
	12							5.2										16.8			
	13					73.7								26.9				46.9			
	14													22.7				87.1			
	15	15.5		27.6																	
E		223.8	173.9	182.8	582.2	150.3	5.2	470.9		83.0		95.5	466.8			49.2	209.3				
Invest. Ampliação Capacidade Prod. Alcatrão. [IA(i)] (CR\$ x 10 ⁶)		302.3	20.5	32.0	38.8	39.7	44.8	51.2	39.7	19.2	43.2	17.9	26.9	25.6	25.6	25.6	68.3				
Outros Invest. (Reforma, Implantação, Adensamento. Compra terras, despesas c/ áreas la. rota - ção) (CR\$ x 10 ⁶)		175.2	89.8	438.8		297.1	436.1	851.1	670.7	337.4	979.6	561.9	1224.5	181.3	330.4	329.4	274.4				
Invest. totais [INVE(i)] (CR\$ x 10 ⁶)		701.3	384.2	653.6	918.1	626.1	901.1	1192.8	377.1	1081.8	605.1	1337.9	675.0	356.0	355.0	322.2	277.6				
Despesas c/carvão [DC(i)] (CR\$ x 10 ⁶)		2915	3089	3483	3640	3884	4855	5391	5639	6106	6657	6913	7227	7037	8205	8041	8416	8406	8564	8618	

Solução 2.7.1

Item de Planejamento	Ano		Célula																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Produção de carvão por célula $[PC(c,i)]$ (ton x 10 ³)	1	63.3	92.6	102.8	106.5	28.7	106.5	165.5	165.5	165.5	165.5	181.7	228.9	228.9	226.9	228.9	235.6	235.6	235.6	235.6	
	2		.2	.2	31.2	39.6	39.6	.3	21.8	34.2	20.3	19.3	25.2	35.9	20.3	19.3	25.2	35.9	20.3	19.3	
	3								20.8	20.8	34.9	34.9	22.3	57.4	57.4	57.4	57.4	57.4	55.2	57.4	41.8
	4			18.4	77.7	77.7	32.7	21.5	17.2	30.9	72.3	77.7	41.5	35.6	72.3	73.9	45.3	35.6	72.3	73.9	
	5	7.3	7.3	7.3	4.4	4.4	4.3	7.3	6.5	5.7		6.0	3.6	1.4	2.3	3.7					
	6	4.3	4.3	3.9	2.3	4.2	1.1	4.3	3.8		3.7	3.2	4.3	4.3	4.0	4.3		4.3		4.3	4.3
	7	28.9	28.5	28.5	23.8	17.0	13.6	28.5	28.5	12.5	23.4	22.4	28.5	18.9	20.8	28.5	28.5	28.5	28.5	17.3	28.5
	8	32.0	32.0	13.0	32.0	36.2	36.2	5.6	28.1	28.3	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	39.8	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3
	9	7.5	7.5	7.5	5.4			5.9	3.7	7.5	6.2	5.9	4.5		1.6	3.5	7.5	7.5	7.5		
	10	15.9	10.0				7.2	6.8	11.6		8.3	2.0		10.9		10.1	10.9	7.7			11.3
	11	14.6	14.6	14.6	11.9	15.0	15.0	13.4	7.6	15.0	15.0	15.0	16.0	16.0	16.0	20.7	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3
	12	47.0	13.6	60.0		45.0	60.9	60.9	60.9	60.9	60.9	47.2	1.4	22.0	34.1	60.9	63.7	63.7	63.7	63.7	63.7
	13	14.0	32.0	13.9	9.6	53.5	53.5	53.5	49.3	53.5	48.5	53.5	58.1	58.1	58.1	58.1	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
	14	11.5	19.5	14.5	7.5	17.7	19.5	19.5	19.5	15.5	17.1	15.6	23.3	23.3	23.3		38.1	38.1	38.1	38.1	38.1
	15	13.1	13.1	15.5	20.2	20.2	4.0	20.2	20.2	15.9	1.9	20.2	20.2	20.2	15.8		20.2	20.2	20.2	20.2	15.8
Produção total da Cia.(ton x 10 ³)		259.0	275.0	300.0	328.0	359.0	394.0	434.0	465.0	480.0	514.0	528.0	549.0	569.0	589.0	609.0	662.0	662.0	662.0	662.0	
Produção de alcatrão no ano $[ACT(i)]$ (ton x 10 ³)		20.7	22.0	24.0	26.2	28.7	31.5	34.7	37.2	38.4	41.1	42.2	43.9	45.5	47.1	48.7	53.0	53.0	53.0	53.0	

Solução 2.7.1

Item de Planeja - Célula mento		Ano																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Áreas a serem adquiridas [AC(c,i)] (ha)	1					295	3037	2580	560	3350	2563	444									
	2																				
	3																				
	4																				
Áreas a serem vendidas (ha)	1																				
	2																				
	3																				
	4																				
	5										1220										
	6										38										
	7																				
	8										427										
	9																				
	10																				
	11										2843										
	12										6964										
	13																				
	14																				
Vendidas	2			1422																	
	8			2730																	
	12			9001																	
(ha)	1																				
	2			7598																	
	4			3132																	
	12			6943																	
Σ		30826										11492									
Áreas que estão arrendadas no ano. [TARR(c,i)] (ha)	5								194	618			369	602	693	833	1058	1058	1058	1058	
	6									47				152	425	500	759	792	792	792	
	7					255	255	750	1075		543			1399	1542	2882	3101	4862	5566	6716	
	8	2082	2484	2868	2868	2868	3297	1908	2291	919	607		569	1662	2092	2527	2527	5125	5641	6647	
	9															105	322	797	1881	1830	
	10								435						274	274	274	941	941	941	
	11	1999	2986	2986	3204	3759	3053	2948	3310	2295	366					231	231	1480	1737	2488	
	12	685	1820	2640	2640	2640	3746	5910	8453	8453	3610			91	1437	3577	3891	7850	11858	15924	
	Σ		4766	7290	7290	8712	9522	10351	11516	15758	12332	5142		938	3906	6463	10929	12163	22825	29474	36396

Item de Planeja- mento	Ano		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Célula																				
Invest. Amplia- ção Capacidade Carvoejamento e Exploração Flo- restal. $[IC(c, i)]$ (CR\$ x 10 ⁶)	1		87.3	32.3		241.8			60.3	60.9	89.3		55.7	197.2		114.1	91.3	57.5			
	2			75.5		76.2															
	3								116.0		75.9	40.9		89.9							
	4			143.6		191.6															
	5			5.2																	
	6																				
	7			20.6																	
	8																		23.2		
	9			14,5																	
	10			77.3																	
	11			3.1																17.3	7.8
	12																			21.4	
	13							72.7							43.1					44.1	
	14																			87.4	
	15			34.6																	12.0
Σ			242.6	251.4		590.6	72.7		176.3	60.9	165.2	40.9	55.7	330.2		114.1	91.3	250.9	19.8		
Invest. Amplia- ção Capacidade Prod. Alcatrão. $[IA(i)]$ (CR\$ x 10 ⁶)			312.3	20.5	32.0	35.8	39.7	44.8	51.2	39.7	19.2	43.5	17.9	26.9	25.6	25.6	25.6	68.5			
Outros Invest. (Reforma, Impan- tação, Adensamen- to. Compra ter- ras, despesas c/áreas la. rota- ção) (CR\$ x 10 ⁶)			168.8	141.6	657.2	324.5	472.2	1047.2	704.2	634.	653.3	315.	1264.4	619.2	875.7	417.6	209.3	0	0	60.4	489.7
Invest. totais $[INVE(i)]$ (CR\$ x 10 ⁶)			723.7	413.5	689.2	869.9	584.6	1092.	931.7	734.6	837.7	399.4	1338.	976.3	901.3	557.3	326.2	319.4	19.8	60.4	489.7
Despesas c/carvão $[DC(i)]$ (CR\$ x 10 ⁶)			2925	3200	3483	3673	3988	4766	5521	5729	6160	6627	6840	7187	6947	8099	7999	8469	8499	8557	8631

Solução 2.7.2

Item de Planejamento	Ano																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Produção de carvão por célula $\overline{PC}(c, i)$ (ton x 10 ³)	1	63.3	68.8	68.8	109.7	55.1	109.7	120.0	130.3	145.4	145.4	154.9	188.3	188.3	207.7	223.1	232.9	232.9	232.9	232.9	
	2	12.3	12.3	25.2	25.2	25.2	25.2	23.7	23.7	25.1	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
	3							19.7	19.7	32.5	39.5	39.5	54.7	54.7	54.7	54.7	54.7	54.7	54.7	54.7	46.8
	4		24.3	24.3	56.8	56.8	32.7	34.1	53.7	54.6	56.8	56.8	56.8	56.8	56.8	56.8	56.8	56.8	56.8	56.8	56.8
	5	7.3	7.3	7.3		4.4	5.4	5.7	6.0	1.0	6.0	7.1	5.0	6.2	7.3	6.5	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
	6	3.9	4.3	4.3	2.3	4.2	1.2	4.3	3.3		3.9	4.3	4.3	3.8	4.3	3.8	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
	7	28.5	28.5	28.5	23.8	17.7	15.6	25.8	26.3	17.8	28.5	28.5	19.7	26.5	28.5	27.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5
	8	32.0	32.0	20.4	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	36.0	36.0	36.0	36.0
	9	7.5	7.5	7.5	5.4		2.6	5.1	1.6	7.5	6.2	5.9	4.5	2.3	4.4		7.5	7.5	7.5	7.5	4.4
	10	15.9	7.2	2.7		0.6	12.7		8.9	3.0	6.8	10.2		4.2	0.7	15.0	8.3	4.9	4.9	15.9	
	11	14.5	14.5	14.5	12.6	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	17.5	18.8	18.8	18.8	
	12	45.7	7.3	60.0	9.6	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	47.6	60.0	60.0	60.0	63.6	63.6	63.6	63.6	
	13	12.6	25.2	18.7	26.8	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	60.6	60.6	60.6	60.6	69.0	69.0	69.0	69.0	
	14	11.5	19.5	14.5	7.5	19.5	19.5	19.5	15.3	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	14.7	34.3	34.3	34.3	34.3	
	15	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	9.5	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	12.9	14.6	16.4	18.4	18.4	18.4	
Produção total da Cia (ton x 10 ³)	259	275	300	328	359	394	434	465	480	514	528	549	569	589	609	662	662	662	662		
Produção de alcatrão no ano $\overline{ACT}(i)$ (ton x 10 ³)	20.7	22.0	24.0	26.2	28.7	31.5	34.7	37.2	38.4	41.1	42.2	43.9	45.5	47.1	48.7	53.0					

Item de Planejamento	Ano		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	Célula																					
Áreas a serem adquiridas	1									1015	3452		3729	2420	3547							
	2																					
	3																					
	4																					
Áreas a serem vendidas (ha)	ΣV(c,i,a) a	1																				
		2																				
		3																				
		4																				
	VTARR(c,i)	5											76									
		6																				
		7																				
		8											2871									
		9																				
		10																				
		11											4026									
		12											3032									
		13																				
		14																				
VPDV(c,i)	2			1422																		
	8			2730																		
	12			9001																		
VPDVI(c,i)	1																					
	2			7598																		
	4			3132																		
	12			6943																		
Σ			30826					10005					28									
Áreas que estão arrendadas no ano.	5																228	228	228	228	228	
	6																18	295	295	295	295	
	7																788	2337	2404	4144	5214	
	8	2082	2378	1586	1993	255	1881	1444	1622	2554	2554	458			750	1602	1958	1958	4011	5169	5909	
	9																		482	995	1365	
	10																		509	667	667	
	11	1999	2805	2861	3079	3077	2482	2535	2799	3060	250							264	264	1109	1599	2228
12	685	1738	2052	2052	2640	3249	4064	3787	4733	2428				2223	3697	7303	7467	10728	12417	15924		
Σ		4766	6921	6499	7124	7853	7175	8221	9140	10347	3136	28		2973	6105	12385	12616	21506	26584	32573		

Item do Planeja- mento	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	Célula																				
Invest. Amplia- ção Capacida- de Carvoeja- mento e Explo- ração Florestal $\overline{IC}(c, i)$ (CR\$ x 10 ⁶)	1	87.3	160.6	11.4				234.5	245.0			87.4	47.6				478.0				
	2				186.3	47.4															
	3								140.7	31.3				16.3							
	4			108.4	349.9																
	5	5.2																			
	6																				
	7	20.6																			16.7
	8						27.3														2.7
	9	14.5																			
	10	77.3																			
	11	3.3						52.7					2.1								53.9
	12																				
	13						50.6	48.1						41.2				30.8		89.9	74.7
	14													12.1				57.9			
	15			58.8																	
Σ		208.2	160.6	178.6	536.2	125.3	100.8	375.2	276.3			89.5	117.2				566.7		89.9	148.0	
Invest. Amplia- ção Capacida- de Prod. Al- catrão $\overline{IA}(i)$ (CR\$ x 10 ⁶)		312.32	20.5	32.0	42.6	32.9	96.0		39.7	19.2	43.5	17.9	26.9	25.6	25.6	25.6	68.5				
Outros Invest. (Reforma, Implan- tação, Adensa- mento. Compra ter- ras, despesas c/áreas la. ro- tação)(CR\$ x 10 ⁶)		165.3	550.1	694.1	435.2	81.7	1087.2	967.8	853.	220.8	249.1	1244.6	1206.9	1378.4	1140.4	302.4			9.8	466.8	
Invest. totais $\overline{INVE}(i)$ (CR\$ x 10 ⁶)		685.8	731.2	904.7	1014.0	239.9	1284.0	1343.0	1169.0	240.0	292.6	1352.0	1351.0	1404.0	1166.0	328.0	635.2		99.7	614.8	
Despesas c/car- vão $\overline{DC}(i)$ (CR\$ x 10 ⁶)		2897	3079	3472	3608	3883	4765	5169	5745	5807	6403	6702	6987	6704	7887	7785	8358	8266	8502	8505	

Item do Planejamento	Ano Célula	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		Invest. Ampliação Capacidade Carvoejamento e Exploração Florestal.	1	87.3		90.9	104.5			172.3		40.6		132.4	136.0	83.7	141.6	90.1	156.5	
IC(c, i) (CR\$ x 10 ⁶)	2		72.5		76.2															
	3						45.1	107.8												
	4		107.5	0.8	272.7															
	5		5.2																	
	6																			
	7		20.6																	
	8					17.1	10.2													
	9		14.5																	
	10		77.3																	
	11		3.3					4.8	6.2											
	12																			
	13						96.3							43.0				53.7		
	14																	74.0		
	15		34.6																	
	Σ		242.8	180.0	91.7	470.5	106.5	49.9	286.3		40.6		132.4	179.0	83.7	141.6	90.1	284.2		
Invest. Ampliação Capacidade Prod. Alcatrão. IA(i) (CR\$ x 10 ⁶)		312.0	20.5	32.0	75.5		44.8	51.2	39.7	19.2	43.5	17.9	103.7				68.5			
Outros Invest. (Reforma, Implantação, Adensamento, Compra Terras, despesas c/ áreas de la. rotação) DC(i) (CR\$ x 10 ⁶)		114.4	294.4	840.3	302.6	442.7	1160.3	942.5	547.1	487.4	230.7	1200.7	1010.3	1281.3	983.4	283.4			95.9	441.9
Invest. totais INVE(i) (CR\$ x 10 ⁶)		669.2	494.9	964.0	848.6	549.2	1255.0	1280.0	586.8	547.2	274.2	1351.0	1293.0	1365.0	1125.0	373.5	352.7		95.9	441.9
Despesas c/carvão DC(i) (CR\$ x 10 ⁶)		2903	3151	3488	3634	3888	4784	5250	5807	6161	6558	6810	7077	7090	7737	7856	8449	8467	8526	8628

Solução 2.7.4.

Item do Planejamento	Ano																				
	Célula	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Produção de carvão por célula [PC(c,i)] (ton x 10 ³)	1	63,3	63,3	78,7	96,4	32,2	96,4	125,6	125,6	132,5	132,5	154,0	155,0	178,0	192,2	296,2	231,9	258,0	258,0	258,0	
	2		12,2	12,2	25,2	25,2	25,2	23,0	23,9	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
	3							7,7	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	22,5
	4		18,2	18,4	64,6	64,6	32,7		49,0	64,6	64,6	64,6	64,6	64,6	64,6	64,6	64,6	64,6	64,6	64,6	64,6
	5	7,3	7,3	7,3		5,4	5,0	7,3		4,4	7,3	7,3	4,8	5,3	4,9	6,5	7,3	7,3	3,7	7,3	
	6	3,9	4,3	4,3	2,3	4,2	1,1	4,3	3,0	1,2	4,0	4,3	2,5	4,3	4,3	3,8	4,3	4,3	4,3	4,3	
	7	28,5	28,5	28,5	23,8	19,3	21,8	28,5	28,3	10,6	28,5	28,5	27,9	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	
	8	32,0	22,8	20,4	34,9	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	
	9	7,5	7,5	7,5	5,4		2,3	7,5	3,8	2,7	7,5	7,5	3,0	5,7	2,9		7,5	7,5	7,5	3,4	
	10	15,9	9,9			3,7	8,3	5,7		6,8	12,3	3,6	3,6	5,3	4,5	12,0	5,6	5,6	9,2	13,1	
	11	14,6	14,6	14,6	11,9	14,6	15,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	
	12	19,8	37,7	60,0	13,3	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
	13	38,4	12,8	17,3	26,4	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3	64,6	64,6	64,6	64,6	73,7	73,7	73,7	73,7	
	14	11,5	19,5	14,5	7,5	19,5	19,5	19,5	18,8	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	32,1	32,1	32,1	32,1	
	15	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	4,7	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	14,9	14,9	14,0	16,4	16,4	16,4	
Produção total da Cia (ton x 10 ³)		259	275	300	328	359	394	434	465	480	514	528	549	569	589	609	662	662	662	662	
Produção de alcatrão no ano [ACT(i)] (ton x 10 ³)		20,7	22,0	24,0	26,2	28,7	31,5	34,7	37,2	38,4	41,1	42,2	43,9	45,5	47,1	48,7	53,0	53,0	53,0	53,0	

Item do Planejamento	Célula	Ano																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Áreas a serem adquiridas AC(c,i) (ha)	1						2717	813	3984		4181	4354	5575	723						
	2																			
	3																			
	4																			
Áreas a serem vendidas ΣV(c,i,a)	1								2532		1737				3263					
	2																			
	3																			
	4																			
VTARR(c,j)	5										334					277				
	6										96					222				
	7															3362				
	8										2546					2544				
VPDV(c,i)	9																			
	10																			
	11					2673					1284					642				
	12					1366					2894					7554				
(ha)	13																			
	2			1422																
	8			2730																
	12			9001																
VPDVI(c,i)	1					2383														
	2			7598																
	4					1146														
	12			6943																
Σ			28315		7568					7154				14601						
Áreas que estão arrendadas no ano. [TARR(c,i)] (ha)	5																			
	6																			
	7														136		176	903	1443	1788
	8	2082	2668	800	642	161	585	847	1168	1729					807			2285	2285	3419
Σ	9																	544	954	1020
	10																	363	363	363
	11	1999	2986	2542	2613	597		190	492	781							285	931	1177	1722
	12	685	2031	2052	2052	1882	2575	1517	2538	3484	1284			1061	2711		1723	3459	6824	7895
Σ		4766	7685	5394	5307	2640	3160	2554	4198	5994	1284			1061	3654		2184	8485	13046	16207

4. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Este modelo é particularmente útil para situações de transição. É o caso em que se encontra esta empresa atualmente, onde grandes mudanças tecnológicas estão sendo introduzidas, além de ser previsto um grande aumento de produção para os próximos anos.

Nestas circunstâncias, torna-se por vezes extremamente difícil se determinar a época, o lugar e a magnitude dos investimentos a serem feitos, utilizando-se apenas os critérios tradicionais, uma vez que existem grandes interações entre as decisões possíveis, e nem sempre é possível avaliar todas as implicações futuras de uma certa decisão. Neste aspecto o modelo é bastante útil.

Além disto este modelo serve também para se analisar a viabilidade de certos planos financeiros, cujas implicações se deseja conhecer.

Outro ponto importante é a característica dinâmica do modelo, pois, dado a uma série de fatores aleatórios que vão acontecendo durante o ano, no início do ano seguinte geralmente não se tem a situação planejada, e torna-se necessário um novo planejamento.

A função objetivo usada foi motivo de muitas discussões e optou-se por uma função que representasse basicamente o orçamento total da empresa no horizonte considerado.

O objetivo foi minimizar o orçamento pois, sendo a CAF uma empresa cuja produção de carvão vegetal destina-se unicamente ao consumo da CSBM, é de interesse das duas companhias que este carvão seja produzido a um custo mínimo, e não (como é mais comum) que seja maximizada a diferença entre receitas de vendas e despesas.

Além disso, como não foi possível se obter uma previsão da evolução dos preços de mercado do carvão, ao longo do horizonte, as restrições de suprimento da demanda estabelecem apenas um nível de produção CAF, e não o suprimento total da CSBM, considerando-se a possibilidade de parte do carvão ser adquirido de terceiros.

Com relação a estes aspectos, deve ser comentado tam -

bém, que uma grande dificuldade encontrada foi definir a "filosofia geral" do modelo, ou seja, o que era bom para a empresa, o que deveria ser otimizado, etc..

O modelo não considerou uma inovação tecnológica importante que é a introdução dos fornos de carvoejamento contínuo. O motivo foi que, para este caso, já é necessário um tratamento de programação inteira.

A consideração de linearidade de alguns custos, na verdade é uma aproximação, sobretudo para os custos de operações que vizam a obtenção de florestas densas.

Na formulação apresentada neste trabalho, uma série de variáveis e equações podem ser eliminadas por substituição simples. Isto foi feito antes do processamento do modelo.

Um outro aspecto é a enorme quantidade de detalhes que este problema envolve, sendo um grande número deles omitidos nesta apresentação.

O modelo foi processado utilizando-se o programa produto MPSX da IBM e possui aproximadamente 4500 variáveis, e um nº semelhante de restrições. O tempo para uma rodada completa está na ordem de 300 min CPU.

Um grande obstáculo que vinha sendo encontrado quanto a aplicação prática das soluções obtidas, eram as grandes oscilações, ano a ano, das produções de carvão por célula.

A primeira tentativa no sentido de atenuar este inconveniente foi penalizar a capacidade ociosa de produção na função objetivo.

Entretanto, somente esta providência não foi suficiente e após uma série de análises, verificou-se que o motivo principal destas ocorrências era o Max IFV(c) adotado. Relaxando-se esta condição, isto é, aumentando-se o Max IFV(c), este problema foi praticamente contornado.

No entanto, a solução foi considerada factível somente após processar-se o modelo nas condições 2.7.2., onde procurou-se minimizar estas oscilações dentro das condições ótimas de custos, já encontrada.

A implementação dos resultados obtidos a partir da solução do modelo, enfrenta uma série de problemas operacionais e políticos.

Como exemplo de problema operacional podemos citar o fato das áreas de uma mesma célula, indicadas para sofrerem algum tipo de operação florestal, num certo período, não serem áreas contíguas, o que muitas vezes inviabiliza a realização da operação prevista.

Em termos políticos, a solução envolve-se com decisões do tipo ativação, desativação, aumento da produção em certas áreas, etc; o que tem logicamente grandes implicações políticas.

Neste aspecto (como também em outros) o problema permite e carece de uma série de análises, o que foi e vem sendo feito.

No mais, trata-se de uma ferramenta útil para o gerenciamento de atividades na área.

APÊNDICE A

Definição dos conjuntos do item 2.3.1:

1. $RT(c)$: Conjunto das rotações de florestas tradicionais, possíveis de ocorrerem durante o horizonte na célula \underline{c} .

$$RT(c) = \{ 1, 2 \} \quad ; \quad c \in C_{1,3}$$

$$= \{ 1, 2, 3 \} \quad ; \quad c \in C_2$$

2. $IT(c,r)$: Conjunto dos anos do horizonte onde é possível existir florestas tradicionais na célula \underline{c} , em rotação \underline{r} , com idade não superior a idade máxima normal para corte.

$\begin{matrix} c \\ r \end{matrix}$	$c \in C_1$	$c \in C_2$	$c \in C_3$
1	1, 2, ..., 5	1, 2, ..., 6	-
2	1, 2, ..., 6	1, 2, ..., 18	1, 2, ..., 19
3	1, 2	1, 2, ..., 19	-

3. $JT(c,i,r)$: Conjunto das idades não superiores à máxima normal para corte, possíveis de existirem no ano \underline{i} , em rotação \underline{r} , na célula \underline{c} .

$r \setminus i$	c	$c \in C_1$	$c \in C_2$	$c \in C_3$
1	1	2,3,...,6	3,4,...,8	5,6
	2	3,4,...,6	4,5,...,8	6
	3	4,5,6	5,6,...,8	-
	4	5,6	6,7,8	-
	5	6	7,8	-
	6	-	8	-
2	1	1,2,3	1,2,...,8	1
	2	2,3,4	1,2,...,8	1,2
	3	3,4,5	1,2,...,8	1,2,3
	4	4,5,6	"	1,2,...,4
	5	5,6	"	1,2,...,5
	6	6	"	1,2,...,6
	7/11	-	"	"
	12	-	2,3,...,8	"
	13	-	3,4,...,8	"
	14	-	4,5,...,8	"
	15	-	5,6,...,8	"
	16	-	6,7,8	"
	17	-	7,8	"
18	-	8	"	
19	-	-	1,2,...,6	
3	1/15	-	1,2,...,8	-
	16	-	2,3,...,8	-
	17	-	3,4,...,8	-
	18	-	4,5,...,8	-
	19	-	5,6,...,8	-

4. RD(c) : Idem definição item 1; florestas densas.

$$RD(c) = \{1,2\} \quad c \in C_{1,2}$$

5. ID(c,r) : Idem definição item 2; florestas densas.

c \ r	c ∈ C ₁	c ∈ C ₂
1	1,2,...,16	1,2,...,19
2	3,4,...,19	3,4,...,19

6. JD(c,i,r) : Idem definição item 3; florestas densas.

r \ c \ i	c ∈ C ₁	c ∈ C ₂	
1	1	1,2,3	1,2,3
	2	1,2,...,4	1,2,...,4
	3	1,2,...,5	1,2,...,5
	4/11	1,2,...,6	1,2,...,6
	12	2,3,...,6	1,2,...,6
	13	3,4,...,6	1,2,...,6
	14	4,5,6	1,2,...,6
	15	5,6	1,2,...,6
	16	6	1,2,...,6
	17/19	-	1,2,...,6
2	3	1	1
	4	1,2	1,2
	5	1,2,3	1,2,3
	6	1,2,...,4	1,2,...,4
	7/19	1,2,...,5	1,2,...,5

7. IA(c) : Idem definição item 2; florestas adensadas em la. rotação.

$$IA(c) : \{1,2,\dots,16\} \quad c \in C_1$$

8. JA(c,i) : Idem definição item 3; florestas adensadas em la. rotação.

i \ c	c ∈ C ₁
1	1,2,3
2	1,2,...,4
3	1,2,...,5
4/11	1,2,...,6
12	2,3,...,6
13	3,4,...,6
14	4,5,6
15	5,6
16	6

9. IFV(c,r) : Conjunto dos anos do horizonte onde é possível e será permitida a existência de florestas com idade superior a idade máxima normal para corte, na célula c, em rotação r.

r \ c	c ∈ C ₁	c ∈ C ₂	c ∈ C ₃
1	1,2,...,10	1,2,...,10	1,2,...,10
2	5,6,...,10	1,2,...,10	7,8,...,10
3	-	1,2,...,10	-

10. $IET(c,r)$: Conjunto dos anos do horizonte onde é possível existir áreas tradicionais em idade de exploração, não superior a máxima normal, em rotação \underline{r} , na célula \underline{c} .

$\begin{array}{c} c \\ r \end{array}$	$c \in C_1$	$c \in C_2$	$c \in C_3$
1	1,2,...,5	1,2,...,6	1,2
2	2,3,...,6	1,2,...,18	1,2,...,19
3	-	1,2,...,19	-

11. $JET(c,i,r)$: Conjunto das idades das áreas tradicionais disponíveis para exploração na célula \underline{c} , no ano \underline{i} , em rotação \underline{r} , que não passaram da idade máxima normal para corte.

r	c	$c \in C_1$	$c \in C_2$	$c \in C_3$
	i			
1	1	4,5,6	6,7,8	5,6
	2	"	"	6
	3	"	"	-
	4	5,6	"	-
	5	6	7,8	-
	6	-	8	-
2	1	-	6,7,8	-
	2	4	"	-
	3	4,5	"	-
	4	4,5,6	"	4
	5	5,6	"	4,5
	6	6	"	4,5,6
	7/16	-	"	"
	17	-	7,8	"
	18	-	8	"
	19	-	-	"
3	1/19	-	6,7,8	-

12. IED(c,r) : Idem definição item 10; florestas densas.

r	c	$c \in C_1$	$c \in C_2$
	i		
1		2,3,...,16	2,3,...,19
2		6,7,...,19	6,7,...,19

13. JED(c,i,r) : Idem definição item 11; florestas densas.

r	c		$c \in C_1$	$c \in C_2$
	i			
1		2	4	4
		3	4,5	4,5
		4/14	4,5,6	4,5,6
		15	5,6	"
		16	6	"
		17/19	-	"
2		6	4	4
		7/19	4,5	4,5

14. IEA(c) : Idem definição item 10; florestas adensadas em 1a. rotação.

$$IEA(c) : \{2,3,\dots,16\} ; c \in C_1$$

15. JEA(c,i) : Idem definição item 11; florestas adensadas em 1a. rotação.

i	c		$c \in C_1$
		2	4
		3	4,5
		4/14	4,5,6
		15	5,6
		16	6

16. $CVI_{1,2}$: Conjuntos de células onde existem áreas disponíveis para venda ou implantação no início do horizonte.

CVI_1 : {1,2,4}

CVI_2 : { 12 }

17. CVD : Conjunto de células onde existem áreas pré-determinadas para venda.

CVD_1 : { 2 }

CVD_2 : {8,12}

18. IAR(c) : Conjunto dos anos do horizonte onde podem existir áreas arrendadas na célula c .

IAR(c) : {1,2,...,19} ; $c \in C_2$

Célula	Conjunto C ₁ /Floresta Densa ; 1a. Rotação					
	Idade (anos)					
	1	2	3	4	5	6
1	648	-	197	-	-	-
2	2000	432	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	1729	1053	-	-	-	-
Conjunto C ₁ /Floresta Adensada ; 1a. Rotação						
1	2325	369	51	-	-	-
2,3,4	-	-	-	-	-	-
Conjunto C ₂ /Floresta Densa ; 1a. Rotação						
8	1000	-	-	-	-	-
13	1000	-	129	-	-	-
Demais	-	-	-	-	-	-
Conjunto C ₂ /Floresta Adensada ; 1a. Rotação						
5 a 14	-	-	-	-	-	-

2. Áreas disponíveis para arrendamento, reforma ou venda no conjunto C_2 , durante o horizonte, a partir do início do ano 1. $[TARR(c,o)]$

Célula	TARR(c,o) (ha)
8	2028
11	1999
12	685
13	1807
Demais	-

3. Áreas pré-determinadas para venda e implantação durante o horizonte, disponíveis a partir do ano 1 $[ADVI(c)]$.

Célula	ADVI(c) (ha)
1	1985
2	7598
4	3132
12	6943

4. Áreas pré-determinadas para venda durante o horizonte $[APDV(c)]$

Célula	APDV(c) (ha)
2	1422
8	2730
12	9001

5. Capacidade anual por célula, de produção de carvão e exploração florestal, já instalada no início do ano 1.

Célula	Capacidade Inicial (t/ano)
1	48500
2	-
3	-
4	-
5	6400
6	4300
7	25000
8	32000
9	5000
10	2800
11	14000
12	60000
13	41000
14	19500
15	10500

6. Capacidade inicial de produção de alcatrão : 1200 t/ano

BIBLIOGRAFIA

MOKHTAR, S. BAZARAA; JOHN, J. JARVIS, Linear Programming and Network Flows.

MIGUEL TAUBE NETTO e ROSEANE GARCIA, Um Modelo para Planejamento de Diferentes Culturas, Anais do Simpósio Anual da SOBRAPO, 1980.

MIGUEL TAUBE NETTO, Um Modelo para Plantio de Cana, UNICAMP, 1980.