

## ANÁLISE DO ASPECTO COMBINATÓRIO DA LOCALIZAÇÃO DINÂMICA DE CARVOARIAS EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTOS <sup>1/</sup>

Geraldo Galdino de Paula Junior <sup>2/</sup>  
Nelson Maculan <sup>3/</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

No planejamento da exploração florestal, com a finalidade de produzir carvão vegetal, um dos itens é a escolha de locais para a instalação de baterias de fornos destinadas ao carvoejamento. As baterias de fornos são infra-estruturas dotadas de recursos hídricos, dormitórios e energia elétrica, além de um conjunto de fornos dimensionados e dispostos adequadamente. Essas baterias recebem a madeira, que é processada e transformada em carvão. O produto é fornecido à indústria siderúrgica, que o utiliza como redutor na produção do aço. A instalação dessas baterias representa custos fixos, decorrentes da construção dos fornos e dos demais componentes da estrutura de produção. O transporte de madeira dos locais de exploração (talhões) para as baterias tem custos variáveis, conforme as distâncias relativas e as condições das estradas. Dada a dimensão da região reflorestada, a localização inadequada ou estática no tempo pode conduzir a custos variáveis superiores aos custos fixos de uma nova instalação.

Este trabalho propõe um método de localização dinâmica de baterias que permite ao planejador da exploração florestal, para produzir carvão vegetal, avaliar alternativas, no processo de instalação das unidades, considerando as dimensões espacial e temporal.

Na localização de facilidades em redes, não há modificação na posição das estruturas de atendimento, uma vez instaladas em locais escolhidos. São estes os problemas estáticos de localização. A questão tratada aqui foi a localização em que os pontos ou locais de instalação de facilidades podem variar discretamente com o tempo, denominado «problema dinâmico de localização». Na localização de p-medianas em rede, controla-se a regionalização da rede em que se quer instalar

<sup>1/</sup> Aceito para publicação em 5-4-1988.

<sup>2/</sup> Departamento de Matemática da UFV. 36570 Viçosa, MG.

<sup>3/</sup> COPPE e Instituto de Matemática, UFRJ. Caixa Postal 68501, CEP 21.945 Rio de Janeiro, RJ.

facilidades. Em alguns casos há uma pré-regionalização da rede, construída por algum processo natural, que não pode ser destruída pelo algoritmo de localização. Os reflorestamentos, cultivados a partir de um planejamento prévio, para consumo industrial têm características próprias, provenientes da organização e administração do plantio. Há uma regionalização da floresta em termos da idade (ou época) de corte das árvores. Isso é, qualquer sub-região de uma floresta planejada tende a ser formada de árvores homogêneas, uma vez que foram plantadas na mesma época e nas mesmas condições. Isso determina que as regiões sejam exploradas no mesmo ano. Esse fato cria uma regionalização natural da floresta planejada, sobretudo quando se trata de uma floresta regulada, isto é, que apresente produtividades homogêneas.

## 2. METODOLOGIA

Será chamado de «rede essencial» (Figura 1) um modelo da região para a qual é conduzida a otimização da instalação de facilidade. Os nós, ou vértices, da rede essencial são os pontos de demanda e, ou, oferta de bens e serviços da região. No caso de uma floresta planejada, esses nós são identificados pelos talhões em que ela é dividida e que são áreas reflorestadas de aproximadamente 50 hectares. Esses mesmos talhões podem ser pontos elegíveis para a instalação de baterias de fornos.

O conjunto de nós da rede essencial é representado por  $I$  e o conjunto de nós elegíveis por  $J$  ( $J \subseteq I$ ).

Chamam-se de «processo produtivo» as atividades desenvolvidas para a produção de algum item, incluindo a instalação de facilidades e o transporte de bens entre os pontos de oferta e demanda da rede essencial.

O conjunto  $I$  de nós da rede essencial é particionado, para fins de execução do processo produtivo, em, no máximo,  $T$  subconjuntos, que serão as sub-regiões ou sub-redes da rede essencial. A escolha dos subconjuntos que formarão uma partição de  $I$  será feita dinamicamente, através de um processo de tomada de decisões seqüenciais.

Seja  $S = \{1, \dots, T\}$  o conjunto de estágios do sistema dinâmico de decisões seqüenciais referido. Cada «estágio» é uma coleção de pontos alternativos de eventual reinício do processo produtivo.

Seja  $S_t = \{1, \dots, K(t)\}$  o conjunto dos estados do estágio  $t$ . Cada «estado» de um estágio corresponde a um ponto particular da coleção de pontos alternativos que formam o estágio.

$K_t$  é um estado genérico do estágio  $t$ , e  $d(K_t)$  é uma «decisão» associada ao estado genérico  $K$  do estágio  $t$ .

Seja  $D_{kt} = \{d(K_t) : K_t \in S_t, t \in S\}$  um conjunto de decisões admissíveis, que podem ser tomadas no estado  $k$  do estágio  $t$ . Em cada estado é tomada uma decisão sobre a duração (ou extensão) do processo produtivo a partir daquele ponto (estado). Cada decisão está associada a um «retorno», que corresponde ao custo mínimo de execução do processo produtivo com a duração (ou extensão) associada à decisão tomada. O custo total, quando se vai de um estágio a outro, é dado por uma «função de transição» aditiva, que dá a soma dos custos de execução do processo produtivo nos estágios considerados. Um mesmo estado e uma mesma decisão podem ocorrer em mais de um estágio. Entretanto, o estado poderá ser atingido e a decisão poderá ser tomada uma única vez no decorrer de todo o processo. Em cada estado toma-se uma única decisão. Definidos o estágio e o estado iniciais, com as correspondentes decisões associadas, diz-se que um estágio, a par-

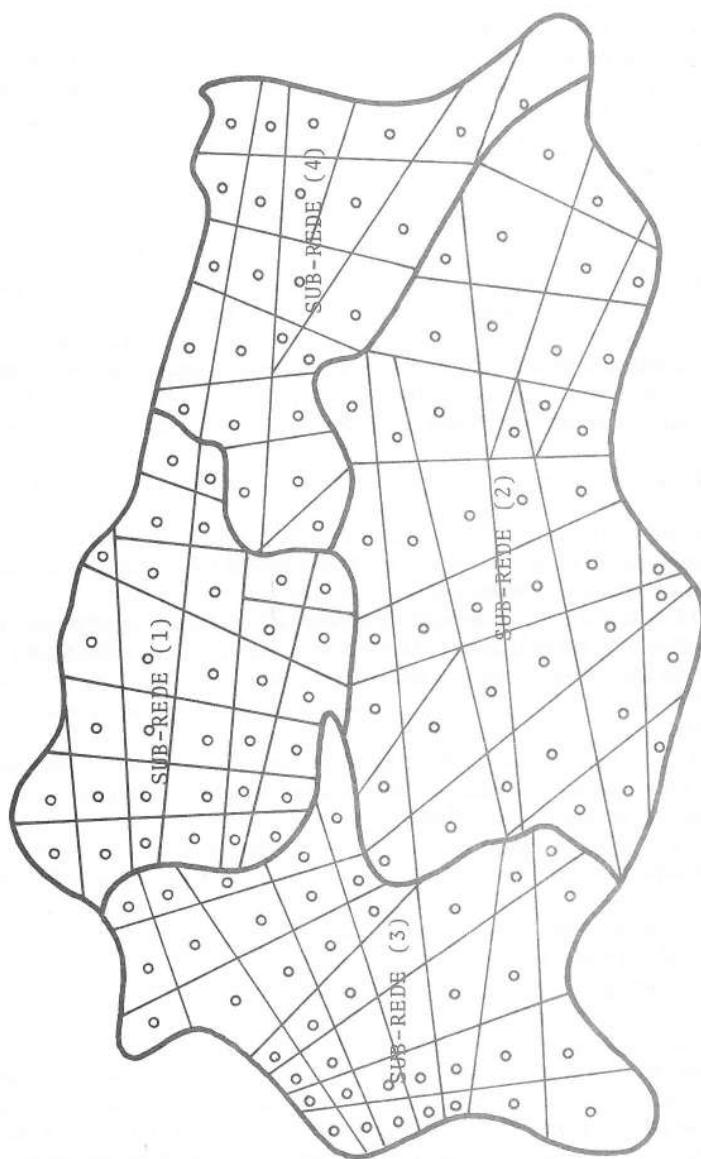


FIGURA 1

- I) Rede essencial ou mapa da região
- II) Cada ponto da rede indica um local de oferta e, ou, de demanda.

tir do segundo, foi alcançado quando algum de seus estados foi atingido depois de uma decisão tomada no estágio anterior. No processo de tomada de decisões sequenciais aqui definido, nem todos os estágios, na solução, são alcançados necessariamente. Um estado é dito terminal quando nele não é tomada nenhuma decisão e, portanto, nele cessa o processo decisório. Esse problema dinâmico de decisões sequenciais consiste em determinar, dentro de cada estágio alcançado, o estado mais indicado e, dentro do estado escolhido, se ele não é terminal, determinar a melhor decisão a ser tomada. Num estado não-terminal de um estágio considerado, toma-se uma decisão que vai conduzir a outro estado do estágio seguinte. O processo continua até que se atinja, em algum estágio, o estado terminal.

Seja  $\bar{S} \subseteq S$ .  $\bar{S}$  é o conjunto dos estágios alcançados no decorrer do processo, até que o estado terminal seja atingido.

Para a escolha da melhor participação de  $I$  entre partições alternativas, o conjunto  $I$  será decomposto em uma coleção de subconjuntos, não necessariamente disjuntos, cada um deles associado a uma decisão,  $d(K_t)$ . Assim,  $I^{d(K_t)}$  é o subconjunto de  $I$  associado à  $d(K_t)$ -ésima decisão tomada no estado  $K$  do estágio  $t$ . Com isso, na solução do problema, estabelece-se um subconjunto  $\bar{S} \subseteq S$ , de tal modo que

$$I = \bigcup_{t \in \bar{S}} I^{d(K_t)}, I^{d(K_\alpha)} \cap I^{d(K_\beta)} = \emptyset \text{ para todo } \alpha \neq \beta, \alpha \in \bar{S}, \beta \in \bar{S}, \quad (2.1)$$

ou seja, escolhem-se, na coleção de subconjuntos em que foi decomposto o conjunto  $I$ , alguns subconjuntos, de maneira que se forme uma partição de  $I$ . Além disso, o «retorno»  $Z_{d(K_t)}$  da decisão  $d(K_t)$  será dado pela solução do problema.

$$P_{d(K_t)} : Z_{d(K_t)} = \min \sum_{i \in I^{d(K_t)}} \sum_{j \in J} C_{ij} X_{ij} + \sum_{j \in J} f_j Y_j \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1, \quad i \in I^{d(K_t)} \quad (2.3)$$

$$1 \leq \sum_{j \in J} Y_j \leq p_{d(K_t)} \quad (2.4)$$

$$0 \leq X_{ij} \leq 1, \quad i \in I^{d(K_t)}, j \in J \quad (2.5)$$

Este é o problema generalizado de localização não-capacitada de  $p$ -medianas em rede.

A decisão  $d(K_t)$  tomada no estado  $k$  do estágio  $t$  corresponde à transferência do processo produtivo para a sub-rede  $I^{d(K_t)}$ , cujo custo ótimo de execução, em termos de localização de facilidades e transporte de bens, é dado por  $Z_{d(K_t)}$ . Além disso, o processo produtivo será executado com a oferta de bens restrita à sub-rede  $I^{d(K_t)}$  e com as facilidades instaladas em pontos de  $J \subseteq I$ , em número não superior a  $p_{d(K_t)}$ .

Se  $Y_j = 1$  na solução,  $j \in J$  será um vértice mediano e nele será instalada uma facilidade com custo fixo  $f_j$ , destinada a demandar produtos ofertados pelos pontos da sub-rede  $I^{d(K_t)}$ ;  $Y_j = 0$ , caso contrário.

$X_{ij} = 1$ ,  $i \in I^{d(K_t)}$ ,  $j \in J$ , se a oferta do nó  $i$  for destinada a suprir a demanda da facilidade instalada na mediana  $j$ ;  $X_{ij} = 0$ , caso contrário.

$C_{ij}$  é o custo operacional de transporte entre o nó  $i \in I^{d(K_t)}$  e o nó  $j \in J$ .

As restrições (2.3) garantem, para cada nó  $i \in I^d(K_t)$ , alguma facilidade  $j \in J$  que o atenda.

A restrição (2.4) obriga a escolha de, pelo menos, uma e, no máximo,  $p_d(K_t)$  medianas na rede essencial para o atendimento dos nós da sub-rede  $I^d(K_t)$ , relativa à decisão tomada no estado  $K$  do estágio  $t$ , no processo dinâmico de decisões seqüenciais.

As restrições (2.5) não permitem o atendimento dos nós  $i \in I^d(K_t)$  por nenhum vértice não-mediano da rede essencial.

### 2.1. Rede Dinâmica de Recobrimento (rdr)

Cada um dos valores  $Z_{d(K_t)}$ , custos das decisões  $d(K_t)$ , provenientes da solução de cada um dos problemas  $P_{d(K_t)}$  é associado a um arco de uma rede orientada ( $f, s, V, A, g$ ), que será chamada, aqui, de «rede dinâmica de recobrimento». Esta rede tem as seguintes características:

- a) · um único nó inicial,  $f$  (fonte), e um único nó terminal,  $s$  (sumidouro);
- b) ·  $V$  é o conjunto de nós, ou vértices, da rede e  $A \subseteq V \times V$  o conjunto de arcos;
- c) ·  $g$  é uma função de custo (dos arcos da rede)

$$g : A \rightarrow IR$$

$$(i, j) \rightarrow g_{ij},$$

sendo  $g_{ij}$  o custo do arco  $(i, j)$  da rdr;

d) · um caminho na rdr é uma seqüência  $(i_1, \dots, i_n)$  de pelo menos dois nós com a seguinte propriedade:

« $(i_r, i_{r+1})$  é um arco orientado para  $r = 1, \dots, n-1$ ».

O arco orientado  $(i, j)$  emana do nó  $i$  e termina no nó  $j$ ;

e) · Todo arco da rdr faz parte de um caminho que leva do nó inicial ao nó terminal, ou seja, todos os nós da rdr têm sucessores, com exceção do nó terminal, e todos os nós têm antecessores, com exceção do nó inicial;

f) · Entre dois nós da rdr há, no máximo, um arco;

g) · A rdr é acíclica e finita.

Se  $Z_{d(K_t)}$  é associado ao arco  $(i, j)$  da rdr, então

$$g_{ij} = Z_{d(K_t)}.$$

Cada caminho, na rdr, está associado a uma partição de  $I$  em, no máximo,  $T$  subconjuntos  $I^d(K_t)$ .

Cada caminho é, portanto, cada partição de  $I$  terá um custo, dado por

$$Z = \sum_{t \in \bar{S}} Z_{d(K_t)},$$

para algum  $\bar{S} \subseteq S$ , sendo  $Z_{d(K_t)}$  o custo de um arco do caminho considerado ou o custo de um membro  $I^d(K_t)$  da partição considerada.

O problema dinâmico de decisões seqüenciais pode ser transferido para a rdr se observado que:

a) · O primeiro estágio é constituído do nó-fonte, que é também o seu único estado. As decisões desse único estado do primeiro estágio são todos os arcos que emanam do nó-fonte da rdr;

b) · O segundo estágio é constituído do conjunto de todos os nós atingidos por arcos (decisões) que emanam do primeiro estágio. Cada um desses nós é um estado do segundo estágio. De cada estado do segundo estágio emana um conjunto de arcos, que são as decisões deste estado, e assim por diante:

c) · O processo evolui até que, em dado estágio, é atingido o estado terminal (nó-sumidouro). Esse estado terminal é atingido através de uma decisão (arco) tomada num estágio anterior. Nesse estado terminal não é tomada nenhuma decisão, portanto cessa aí o processo decisório do sistema dinâmico de decisões sequenciais associadas à rdr.

d) · O nó-fonte da rdr, associado ao estado inicial, corresponde ao início do processo produtivo, e o nó-sumidouro, associado ao estado terminal, correspondente ao término do processo produtivo na rede essencial.

Na rdr ocorre o fluxo de transferência do processo produtivo executado nas sub-redes  $I^d(K_t)$  da rede essencial.

O problema de encontrar a melhor partição de I entre partições alternativas dadas reduz-se, agora, a encontrar o caminho de custo mínimo na rdr.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

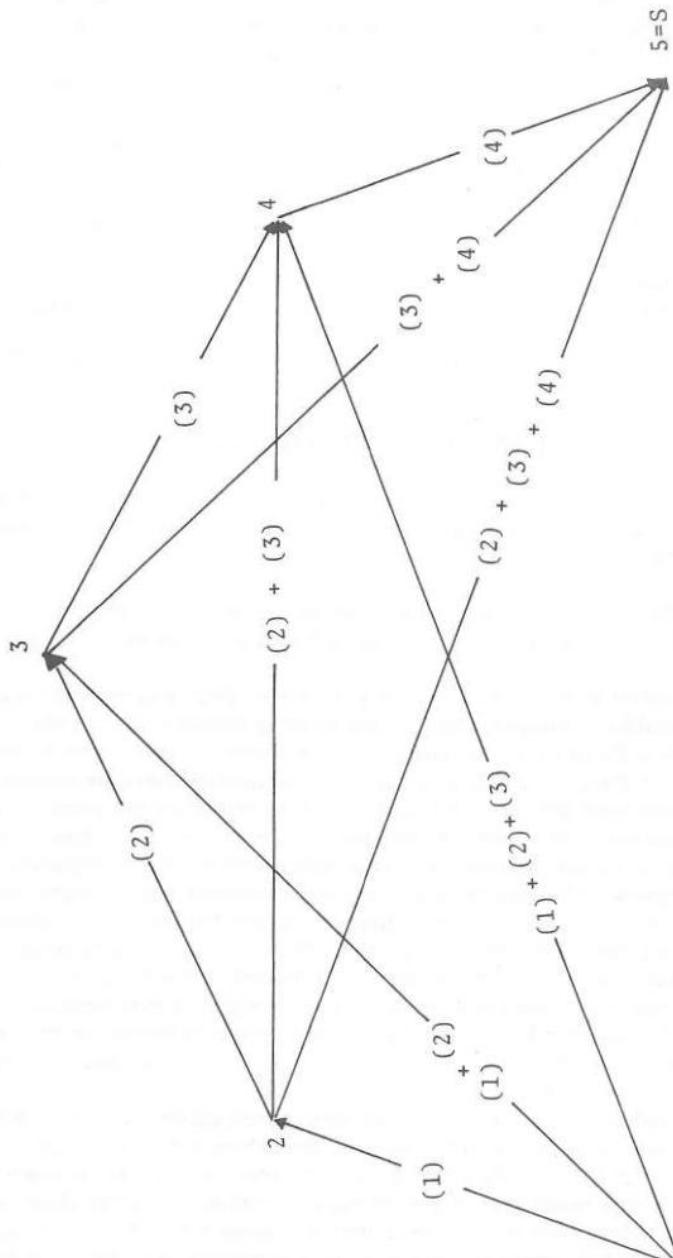
O sistema projetado foi testado exaustivamente através de problemas de diferentes portes, obtidos aleatoriamente, para várias configurações (desenhos) da rede dinâmica de recobrimento.

#### *3.1. Configuração da Rede Dinâmica de Recobrimento a Partir de um Plano de Execução do Processo Produtivo na Rede Essencial*

A rede dinâmica de recobrimento (Figura 2) constitui uma representação geométrica do problema dinâmico de localização de facilidades na rede essencial, representada pela Figura 1. Os estados e decisões (Quadro 1) estão representados na rdr da Figura 2. Para cada problema específico, analisado com esse método, deve-se projetar uma rede semelhante à da Figura 2. As configurações possíveis da rdr, para cada caso específico, estão vinculadas a algum plano de execução do processo produtivo na região (representada pela rede essencial) a ser explorada, isto é, cada configuração está associada a uma ordem determinada de exploração das várias sub-regiões. Os números entre parênteses, nas Figuras 1 e 2, indicam essa ordem de exploração. A palavra «recobrimento» é utilizada para ressaltar que todo e qualquer caminho na rdr permite a exploração integral da região (rede essencial), ou seja, o processo produtivo recobre ou atinge a rede essencial inteiramente. A cada arco da rdr está associado o valor ótimo da função-objetivo do problema de localização, cuja resolução considera como locais de oferta os pontos da sub-região associada ao arco e como locais de demanda um conjunto de pontos elegíveis da rede essencial. Para ilustrar, seja o arco, ou decisão, (2, 4) (Figura 2) associado à sub-região formada por duas outras sub-regiões, (2) e (3), da Figura 1. Resolve-se o problema de localização, que vai escolher, dentre os elegíveis em toda a região (rede essencial), os pontos mais indicados para a instalação de facilidades, para processamento dos itens ofertados pelas sub-regiões (2) e (3).

Se a rede essencial representa uma floresta planejada, onde as sub-regiões podem ser exploradas de acordo com as alternativas dadas no Quadro 1 (coluna «sub-redes»), e se o caminho ótimo escolhido na rdr é constituído dos arcos, ou decisões, (1,2), (2,3) e (3,4), pode-se interpretar a solução da seguinte forma:

a) Com relação ao arco, ou decisão, (1, 2): a madeira explorada na sub-região



f=1

FIGURA 2 - Rede Dinâmica de Recobramento.

QUADRO 1 - Elementos do sistema dinâmico de decisões seqüenciais, associados à rdr da Figura 2

Estágios	Estados (Nós)	Decisões (Arcos)	Sub-redes
1	1	(1, 2)	(1)
		(1, 3)	(1)+(2)
		(1, 4)	(1)+(2)+(3)
2	2	(2, 3)	(2)
		(2, 4)	(2)+(3)
	3	(2, 5)	(2)+(3)+(4)
		(3, 4)	(3)
3	3	(3, 5)	(3)+(4)
		(4, 5)	(4)
	4	(3, 4)	(3)
		(3, 5)	(3)+(4)
4	4	(4, 5)	(4)
		...	.... . . . .
	5 (*)	...	.... . . . .
4	4	(4, 5)	(4)
	5 (*)	...	.... . . . .

(\*) Estado terminal.

(1) será transformada em carvão vegetal em uma bateria de fornos instalada em pontos da floresta escolhidos pelo problema de localização;

b) Com relação ao arco (2,3): a sub-região que fornece a madeira é a (2) e os pontos de atendimentos podem ser os mesmos que atenderam a região (1), ou pontos novos, de acordo com a indicação da solução do problema de localização. Para o arco (3,4), o raciocínio é o mesmo.

Eventualmente, o caminho ótimo poderia ser dado pelos arcos, ou decisões, (1,2), (2,4) e (4,5). Nesse caso, a solução do problema de localização relativo ao arco (2,4), por exemplo, indicaria os pontos da floresta escolhidos para processar a madeira proveniente das sub-regiões (2) e (3), que seriam exploradas simultaneamente, ou em primeiro lugar a sub-região (2) e em seguida a sub-região (3). Na eventualidade de ser o caminho ótimo, na Figura 2, dado pelas decisões, ou arcos, (1,2), (2,3) e (3,5), poder-se-iam ter, por exemplo, duas baterias ativas, produzindo carvão a partir da madeira explorada na região (1). Em seguida, a solução do problema de localização que tem como locais de oferta os da sub-região (2) pode orientar para que uma das duas baterias seja desativada e a outra continue produzindo, agora, porém, a partir da oferta de madeira da sub-região (2). Na terceira fase, essa bateria poderia continuar operando, porém seria instalada outra bateria, para produzir carvão junto com a antiga, a partir da lenha vindas das sub-regiões (3) e (4) que têm a mesma época de corte. Em qualquer circunstância, pode-se interpretar que a decisão tomada em cada estado transfere o processo produtivo para a sub-região associada a essa decisão, ou seja, em vez de tomar a decisão

(1,2) (Figura 2) e transferir o processo exploratório para a sub-região (2) (Figura 1), poderia ser tomada a decisão (2, 4) e transferido o processo de exploração para a sub-região constituída das sub-regiões (2) e (3).

Qualquer caminho na rdr da Figura 2 constitui uma partição da rede essencial. O caminho de recobrimento de custo mínimo estará associado à melhor partição da rede essencial. Na Figura 2 o nó 1 é o vértice-fonte, associado ao único estado do primeiro estágio; o vértice 5 é o nó-sumidouro (estado terminal). Nele não é tomada nenhuma decisão. Os estados (nós) 3 e 4 estão nos estágios 2 e 3. A decisão associada ao arco (3,4) pode ser tomada no estado 3 do estágio 2, ou no estado 3 do estágio 3, mas nunca em ambos, na composição da solução ótima.

Outras configurações são possíveis, segundo PAULA JR. (3). Além disso, planos alternativos de execução do processo produtivo, que dariam origem a vários desenhos da rdr para o mesmo problema, são igualmente factíveis.

O sistema analisado, conforme DENARDO (1), pertence à família dos processos dinâmicos de decisões seqüenciais que tem horizontes de planejamento definidos. Esses processos dinâmicos podem ser analisados indutivamente, do fim do horizonte de planejamento para o seu início. Além disso, são processos determinísticos, no sentido de que sua evolução não é afetada pelo acaso. Também têm a característica de representarem problemas de decisão que envolvem trocas entre custos imediatos e custos futuros.

### *3.2. Processo Dinâmico de Decisões Seqüenciais com Degeneração de Estágios*

Definição: Diz-se que  $(f, s, V, A, g)$  é uma «rede em camadas» quando

$$V = \bigcup_{i=1}^n V_i \quad \text{e} \quad A \subseteq \bigcup_{i=1}^{n-1} (V_i \times V_{i+1})$$

sendo cada  $V_i$  uma camada de nós da rede.

Um sistema dinâmico de decisões seqüenciais sofre um processo de degeneração de estágios quando, na solução, o estado terminal é atingido fora do estágio terminal.

Quando ocorre o processo de degeneração, os estágios seguintes àquele em que foi alcançado o estado terminal não são atingidos. Esses estágios não atingidos, conforme PAULA JR. (3), são os estágios degenerados do processo dinâmico. Na ocorrência de degeneração de estágios, a solução é obtida com os estágios iniciais, que vão do primeiro até o estágio em que foi atingido o estado terminal.

O sistema dinâmico de decisões seqüenciais apresentado aqui pode sofrer o processo de degeneração de estágios. Entretanto, tem-se o seguinte teorema:

Se a rdr é uma rede em camadas, associada ao modelo dinâmico de decisões seqüenciais, não ocorre o processo de degeneração de estágios.

Na ocorrência de degeneração de estágios, o penúltimo estágio, dentre os atingidos, tem a capacidade de superposição: ele se sobrepõe aos estágios seguintes (no caso, aos estágios degenerados do processo dinâmico).

### *3.3. Complementos*

Sendo do tipo «não-capacitado», o modelo de localização utilizado na formulação desse método não considera a capacidade de fornecimento dos talhões que ofertam a madeira, nem a capacidade de processamento de lenha (produção de

carvão) das baterias. Isso obriga o planejador a pós-dimensionar as baterias de fornos, uma vez que a localização visa, tão-somente, ao aproveitamento do ótimo, que surge a partir da estrutura combinatória do problema. De acordo com esse modelo, a localização somente se relaciona com os custos de transporte da madeira e com os custos fixos de construção das praças. O cálculo dos custos de transporte considera principalmente as distâncias de cada ponto adequado para a instalação de baterias aos talhões fornecedores de madeira. O cálculo dos custos fixos é baseado na necessidade de terraplenagem e outros eventuais preparos do terreno, bem como nos custos de construção dos fornos, acessos, etc. Além disso, os custos fixos são um distintivo no processo dinâmico de localização, no sentido de que distinguem entre uma praça já instalada (com desembolsos já efetuados — zerados — para cobertura do custo fixo) e uma praça a ser instalada (com desembolso para cobertura de custo fixo ainda por ser feito).

O número de baterias que devem operar em determinado ano (ou etapa) é limitado por um valor (parâmetro fornecido pelo planejador), representado, no modelo, pela letra  $p$ , isto é, em cada etapa do processo de exploração, estarão em operação, no máximo,  $p$  baterias; no mínimo, uma. O valor exato, entre 1 e  $p$ , é determinado pelo algoritmo, no processo de otimização, isto é, o ótimo obtido na solução do problema informa, além dos locais, o número exato de baterias que devem estar ativas em cada etapa do processo de exploração.

As condições locais são passadas ao sistema de localização, simplesmente indicando se o local é, ou não, adequado à instalação de baterias, isto é, ao sistema proposto interessa, e é bastante, a informação de que determinado local é apropriado. Sendo elegível, um local certamente atende às condições necessárias para a instalação de baterias de fornos, isto é, dispõe da infra-estrutura necessária e de condições topográficas adequadas, ou seja:

- a) disponibilidade de energia elétrica, necessária em alguns casos;
- b) distância de áreas residenciais e de vias com grande volume de tráfego;
- c) impossibilidade de inundação, com leve inclinação para escoamento das águas de chuva e de serviços;
- d) suficiência de área para a construção dos fornos e estocagem da lenha e do carvão produzido;
- e) acessibilidade.

Para PAULA JR. (3), o sistema foi implementado, na prática, para solucionar o problema de localização dinâmica de baterias de fornos nas áreas de reflorestamento da região de Rio Pardo, Estado de Minas Gerais. Nessa aplicação, aproximadamente 180 talhões foram agrupados em 44 macrotalhões. Dos nove locais elegíveis para a instalação de baterias, o algoritmo de localização, quase sempre, escolhia, no máximo, dois. Várias experiências foram executadas com essa aplicação para testar a correspondência do sistema à realidade. Ficou comprovado que o sistema se adapta melhor aos casos de florestas reguladas, com produtividades homogêneas nas várias sub-regiões.

Para solucionar os subproblemas  $P_d(K_t)$ 's, foi projetado um algoritmo de decomposição primal, baseado na relaxação lagrangeana do problema-mestre do método de Benders. O algoritmo teve desempenho excelente, em relação a processos equivalentes, na solução de problemas de até 700 nós. O algoritmo projetado foi comparado com uma implementação modificada de NARULA *et alii* (2), sem o uso do algoritmo de separação e avaliação para fechar falhas duais, incluindo, porém, o tratamento de parcela dos custos fixos na função-objetivo do modelo. Para os problemas de até 50 nós, a diferença entre o tempo gasto pelo algoritmo projetado por PAULA JR. (3) e o tempo referente à modificação do algoritmo pro-

posto por NARULA *et alii* (2) foi pequena, em termos absolutos. Em alguns casos, foi desvantajosa para PAULA JR. (3), ficando a média de tempo em 0,4291 segundo de CPU para o algoritmo de PAULA JR. (3) e 0,6189 segundo de CPU para o procedimento de NARULA *et alii* (2). Em todos os casos foi utilizado um computador Burroughs B6800. Os casos médios — na faixa de 350 nós — favoreceram em até 6,4% o tempo de CPU gasto por PAULA JR. (3). Finalmente, nos casos extremos, de maior porte, o algoritmo de PAULA JR. (3) consolidou seu resultado. Numa instância específica, 522 nós, os tempos absolutos foram de 101,2032 e 109,3792 segundos de CPU, para os algoritmos de PAULA JR. (3) e NARULA *et alii* (2), respectivamente. Além disso, a ocorrência de falhas duais ficou restrita a casos muito raros, o que desestimulou o uso de um algoritmo do tipo separação e avaliação para fechar falhas duais nessa fase da pesquisa.

A quantidade e a qualidade das informações usadas na aplicação demonstram a conveniência do emprego de processos informáticos de engenharia de sistemas na solução de problemas de planejamento em economia da produção.

#### 4. RESUMO

Um método para solucionar um problema dinâmico de localização e sua utilização na instalação de baterias de fornos para produção industrial de carvão vegetal em reflorestamentos planejados constituem os pontos centrais deste trabalho. As linhas que orientaram a construção do sistema descrito são definidas pela montagem do modelo, que abstrai da realidade um sistema produtivo específico. A modelagem é feita pela imersão do problema de localização não-capacitado de p-medianas num sistema dinâmico de decisões seqüenciais. A solução corresponde ao caminho de custo mínimo na rede dinâmica de recobrimento (rdr). Cada caminho da rdr está associado a uma partição da «rede essencial».

#### 5. SUMMARY

(ANALYSIS OF THE COMBINATORY ASPECT OF DYNAMIC LOCALIZATION OF CHARCOAL PRODUCING UNITS IN EUCALYPTUS PLANTATIONS)

The development of a methodology for solving a specific dynamic location problem and its application in determining sites for industrial charcoal production units, in planned reforestation, are the main proposals in developing this work. The framework in the system construction is defined by assembling the model of a specific production system. The modeling process was made by the immersion of the p-median location problem in a sequential decision-making dynamic system. The problem's solution is the covering dynamic network minimum-cost path. Each dynamic network path is an «essential network» partition representation. Each value associated with a dynamic network arc is the solution of a location subproblem.

#### 6. LITERATURA CITADA

1. DENARDO, E. V. *Dynamic programming, models and applications*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1982. 227 p.
2. NARULA, S.C., OGBU, U. I. & SAMUELSSON, H. M. An Algorithm for the p-median problem. *Operations Research*. 25: 709-713. 1977.

3. PAULA JR., G.G. *Um algoritmo de decomposição primal para solução de um problema dinâmico de localização de p-medianas e sua aplicação na produção de carvão em plantação de eucaliptos.* Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1986. 250 p. (Tese de D. Sc.).