

## **INCORPORAÇÃO DE CORREDORES DE CONECTIVIDADE EM PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO DO MANEJO DE FLORESTAS DE PRODUÇÃO.**

**José Mauro M. Á. Paz Moreira, Esalq/USP, e-mail: [jmoreira@esalq.usp.br](mailto:jmoreira@esalq.usp.br)**

**Luiz Carlos Estraviz Rodriguez, Esalq/USP, e-mail: [lcer@esalq.usp.br](mailto:lcer@esalq.usp.br)**

**José Vicente Caixeta Filho, Esalq/USP, email: [jvcaixet@esalq.usp.br](mailto:jvcaixet@esalq.usp.br)**

Resumo: A fragmentação de áreas de vegetação nativa emerge como um importante fator na determinação da sobrevivência de várias espécies em longo prazo, sendo necessário preservar os fragmentos e garantir a conectividade do maior número deles, permitindo a interação entre as suas populações da fauna e da flora. O objetivo do trabalho foi propor alternativas de manejo de florestas de produção adjacentes a fragmentos de áreas nativas de tal forma que o plantio possa garantir uma conectividade mínima entre os fragmentos. Foi formulado um modelo matemático de programação inteira mista baseado no Modelo Tipo 1 de ordenamento florestal que, além de considerar um teto e um piso de produção anuais ao longo de 18 anos, incorpore explicitamente a conectividade. O modelo foi aplicado à uma propriedade hipotética com 32 unidades de manejo (UM) e dois fragmentos. UM's com uma área mínima e quatro anos ou mais de idade foram considerados aptos para composição dos corredores. Das 32 UM's, 23 tiveram os seus regimes alterados para incorporação dos corredores, resultando em um decréscimo de 1,75% no valor da Função Objetivo, e uma alteração do fluxo de produção em alguns períodos, mas mantendo a produção total da floresta praticamente inalterada.

Palavras chave: corredores ecológicos; programação linear inteira mista; manejo florestal.

### **1 Introdução**

Atualmente, a preocupação com as questões ambientais não se restringe aos grupos ambientalistas e órgãos do governo; a sociedade e o próprio setor produtivo já se ocupam em discussões sobre o uso responsável dos recursos naturais e estão procurando adequar os seus processos produtivos a esta nova realidade.

Na América do norte as práticas de manejo florestal sustentável regido por normas não governamentais, de cunho optativo e cujos esforços para conservação da biodiversidade e dos ativos florestais somam-se àqueles determinados pelos governos, já são uma realidade. As regras para a iniciativa florestal sustentável (SFIS) (SUSTAINABLE FORESTRY INITIATIVE, 2005) exorta seus participantes a buscarem o contínuo desenvolvimento das práticas e processos de manejo florestal sustentável, que melhorem a produtividade florestal e a conservação ambiental necessários à complementação das leis governamentais.

No Brasil, a conversão sistemática de áreas naturais em áreas de uso humano e o elevado grau de fragmentação das áreas de florestas nativas remanescentes constituem algumas das preocupações ambientais mais freqüentes. Tais processos resultam na perda do

habitat natural das espécies nativas de fauna e flora e no isolamento de suas várias populações nesses fragmentos, os quais podem resultar na extinção de determinadas espécies mesmo quando um fragmento encontra-se protegido, devido à insuficiência de recursos disponíveis para abrigar populações viáveis de uma ou mais espécies em um único fragmento (PRIMACK e RODRIGUES, 2001).

A implantação de corredores de fauna e flora constitui uma estratégia para conectar os fragmentos remanescentes, visando reduzindo a taxa de extinção e aumentar a viabilidade das espécies no longo prazo (GALINKIN et al., 2004).

Beier e Noss (1998) relatam que a maioria dos artigos científicos que foram analisados pelos autores, sobre a implantação de corredores, opinam que esta é uma estratégia valiosa para a conservação da biodiversidade, e que não foram encontradas evidências empíricas dos efeitos negativos dos corredores, mencionados em alguns artigos.

Entretanto, não existem corredores ecológicos ou habitats universais, sendo necessário definir com clareza, durante a fase de planejamento dos corredores, quais são as espécies de interesse e quais seriam beneficiadas ou prejudicadas pelo estabelecimento do corredor (JORDÁN, 2000). Além disso, a ocorrência de uma determinada espécie dentro de um corredor não implica que o mesmo esteja executando a função de aumentar a variabilidade genética das populações de cada fragmento, pois as populações podem não interagir devido a características comportamentais da espécie (HORSKINS; MATHER e WILSON, 2006).

Desta forma, há indícios de que o estabelecimento de corredores de conectividade é uma condição necessária para o aumento da variabilidade genética de populações isoladas de fauna, mas não é uma condição suficiente. Sua efetividade dependerá do tipo de vegetação dos mesmos e da(s) espécie(s) de interesse a serem conservadas, bem como das características comportamentais dessas espécies.

O uso sustentável e responsável dos recursos naturais disponíveis, entre esses os recursos florestais, constitui outra preocupação da sociedade. Os profissionais da área de manejo florestal têm sido chamados a vencer o desafio de atender a objetivos muitas vezes conflitantes, como extrair produtos das florestas sem diminuir a qualidade dos seus serviços ambientais e sociais. Modelos matemáticos de otimização<sup>1</sup> têm sido utilizados como ferramentas auxiliares para se atingir tais objetivos.

Sessions (1992) e Williams (1998) modelaram a conectividade como um problema de rede, onde áreas chaves de habitat que deveriam ser preservadas seriam previamente

---

<sup>1</sup> Em especial utilizando a programação linear.

designadas e as unidades necessárias para conectar estas áreas chaves seriam escolhidas como resultado de uma rede Steiner<sup>2</sup>. Önal e Briers (2005) apresentaram um modelo de programação linear inteira, baseado na teoria de grafos, visando estabelecer uma rede de áreas protegidas representativa para um conjunto de espécies, minimizando o déficit de conectividade da rede.

Nos três trabalhos mencionados, as áreas escolhidas seriam permanentemente convertidas para conservação em um único período de tempo, além do objetivo não ser a maximização do valor esperado da terra do projeto florestal, de modo que essas formulações não seriam adequadas para os problemas de manejo de florestas de produção brasileiras. Sendo assim, uma nova formulação para a resolução do problema se faz necessária.

O objetivo deste trabalho é garantir a conectividade de fragmentos florestais de vegetação nativa adjacentes a florestas de produção de eucalipto ao longo do tempo. Para isso, foi desenvolvido um modelo matemático que incorpore esta restrição, e o mesmo foi aplicado em uma propriedade imaginária para que fosse avaliada a sua eficácia e eficiência.

## 2 Material e Métodos

Para a resolução do problema proposto, optou-se pela elaboração de um modelo de programação linear inteira mista (PLIM), devido a sua fácil implementação e resolução potencial em softwares comerciais de otimização; pela garantia de se obter uma solução ótima, se o algoritmo for executado até o final; além de ser um método bastante conhecido e utilizado em inúmeras aplicações na área de pesquisa operacional, facilitando a divulgação do conhecimento. A inclusão das restrições espaciais no modelo básico de otimização do manejo florestal foi realizada com o modelo PLIM apresentado abaixo:

$$\text{Função Objetivo)} \quad \text{Max } Z = \sum_{i=1}^n A_i \sum_{j=1}^m D_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a

$$\text{Exclusividade)} \quad \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \text{ para todo } i \quad (2)$$

$$\text{PisoProdução)} \quad \sum_{i=1}^n A_i \sum_{j=1}^m v_{ijt} x_{ij} \geq v_{min}_t \text{ para todo período } t \quad (3)$$

<sup>2</sup> O problema de rede Steiner difere do problema “the minimum spanning tree” pois não é necessário que todos os nós da rede estejam conectados.

$$\text{TetoProdução)} \quad \sum_{i=1}^n A_i \sum_{j=1}^m v_{ijt} x_{ij} \leq v \max_t \text{ para todo período } t \quad (4)$$

$$\text{ExistênciaNó)} \quad \sum_{j=1}^m b_{ijt} x_{ij} \geq no_{it} \text{ para todo } i \text{ e } t \quad (5)$$

$$\text{ExistênciaArco)} \quad \sum_{e \in E_i} arco_{eit} + \sum_{s \in S_i} arco_{ist} \leq 2no_{it} \text{ para todo } i \text{ e } t \quad (6)$$

$$\text{Fluxo)} \quad \sum_{e \in E_i} arco_{eit} - \sum_{s \in S_i} arco_{ist} = fl_i \text{ para todo } i \text{ e } t \quad (7)$$

$$x_{ij} = \{0,1\}, \quad no_{it} \geq 0, \quad 0 \leq arco_{eit} \leq 1, \quad 0 \leq arco_{ist} \leq 1, \quad fl_i = \{-1,0,1\}.$$

Onde:

$i$  - Unidades de manejo, incluindo também os fragmentos os quais se deseja conectar;

$j$  - Regimes de manejo;

$t$  - Período do horizonte de planejamento;

$E_i$  - Conjunto dos arcos que entram na Unidade de Manejo  $i$ ;

$S_i$  - Conjunto dos arcos que saem da Unidade de Manejo  $i$ ;

$Z$  - Valor da função objetivo;

$A_i$  - Área da Unidade de Manejo  $i$ ;

$D_{ij}$  - Contribuição para a função objetivo caso a Unidade de Manejo  $i$  seja associada ao Regime de Manejo  $j$ ;

$x_{ij}$  - Variável binária que assume valor 1 se o Regime de Manejo  $j$  for associado a Unidade de Manejo  $i$ , e 0 caso contrário;

$v_{ijt}$  - Produção de madeira da Unidade de Manejo  $i$  no período  $t$  quando associada ao Regime de Manejo  $j$ ;

$vmin_t$  - Volume mínimo de madeira a ser colhido no período  $t$ ;

$vmax_t$  - Volume máximo de madeira a ser colhido no período  $t$ ;

$b_{ijt}$  - Coeficiente binário que assume valor 1 caso a Unidade de Manejo  $i$ , quando associada ao Regime de Manejo  $j$ , esteja apta a formar o corredor de conectividade no período  $t$ , e 0 caso contrário;

$no_{it}$  - Variável contínua que assume valores positivos caso o nó representado pela Unidade de Manejo  $i$  tenha sido escolhido para fazer parte do corredor no período  $t$ ;

$arco_{eit}$  - Variável contínua que assume valores positivos caso a Unidade de Manejo onde o fluxo se origina e a Unidade de Manejo  $i$  (onde ele termina) tenham sido escolhidas para fazer parte do corredor;

$arco_{ist}$  - Variável contínua que assume valores positivos caso a Unidade de Manejo  $i$  (onde o fluxo se origina) e a Unidade de Manejo onde ele termina tenham sido escolhidas para fazer parte do corredor;

$fl_i$  - Coeficiente que representa o fluxo líquido em cada nó da rede, assume valor 1 caso seja um nó de origem, -1 se for um nó de destino e 0 se for um nó de passagem.

A equação 1 representa a função objetivo que se deseja maximizar, em geral o valor esperado da terra onde está implantado o projeto florestal. A equação 2 impõe que um único regime de manejo seja associado a cada unidade de manejo. As equações 3 e 4 determinam a produção mínima e máxima em cada período do horizonte de planejamento. Estas equações representam o problema básico de otimização do Modelo Tipo 1 para o manejo de florestas com variáveis binárias apresentado por Nobre e Rodriguez (2005).

As restrições de conectividade foram incorporadas através das equações 5 a 7. A equação 5 determina quais são os regimes de manejo que, quando associados à unidade de manejo  $i$ , habilitam esta unidade de manejo a ser considerada para formar o corredor no período  $t$ . Ela permite que o gestor escolha os critérios que habilitarão a unidade de manejo a fazer parte do corredor em um determinado período de tempo, sendo a idade da floresta e a área utilizadas como critério de inclusão da unidade de manejo no corredor nesse trabalho.

A equação 6 condiciona a passagem de fluxos por uma determinada unidade de manejo apenas se o nó que a representa existir neste período, impedindo que unidades de manejo associadas a prescrições que não a habilitam para fazer parte do corredor em um determinado período sejam escolhidas. A equação 7 determina o fluxo líquido nos nós da rede, construindo o corredor em cada período de tempo entre os fragmentos considerados.

A formulação proposta faz uso de uma importante propriedade da programação em redes, ressaltada por Hillier e Lieberman (2005). “Se em uma rede as quantidades de origem, de destino, e a capacidade dos arcos forem números inteiros, a solução necessariamente será inteira, mesmo que as variáveis que representam os fluxos em cada arco sejam definidas como variáveis contínuas.”<sup>3</sup> Tal propriedade evita o aumento de variáveis inteiras do modelo, além

---

<sup>3</sup> Tradução do autor.

daquelas presentes no problema básico de otimização do manejo de florestas sem considerar as restrições de conectividade.

O modelo proposto não permite que o gestor controle a qualidade do corredor como um todo em cada período de tempo, pois isto alteraria a sua estrutura matemática e não seria possível fazer uso da propriedade de soluções inteiras da programação em redes. Entretanto, permite que o gestor tenha um controle preciso sobre quais talhões estarão aptos a fazer parte do corredor (pelo uso do parâmetro  $b_{ijt}$ ) e quais caminhos poderão ser considerados para a formação do corredor, possibilitando um controle indireto da qualidade do corredor por meio do controle de seus componentes.

Vale ainda salientar que o modelo proposto trata da otimização do uso da paisagem ao longo do tempo, podendo ser aplicado a qualquer problema onde alternativas diferentes e interligadas temporalmente possam ser escolhidas para cada unidade espacial da paisagem de modo a manter algumas de suas unidades, previamente fixadas, conectadas ao longo do tempo através de outras unidades com determinadas características.

Como estudo de caso preliminar, o modelo foi aplicado à uma propriedade fictícia, com 32 talhões de eucalipto, cujo mapa contendo a localização dos talhões e dos fragmentos de floresta nativa, bem como os caminhos utilizados para a formação dos possíveis corredores, pode ser observado na Figura 1 (Rodriguez, 2005).

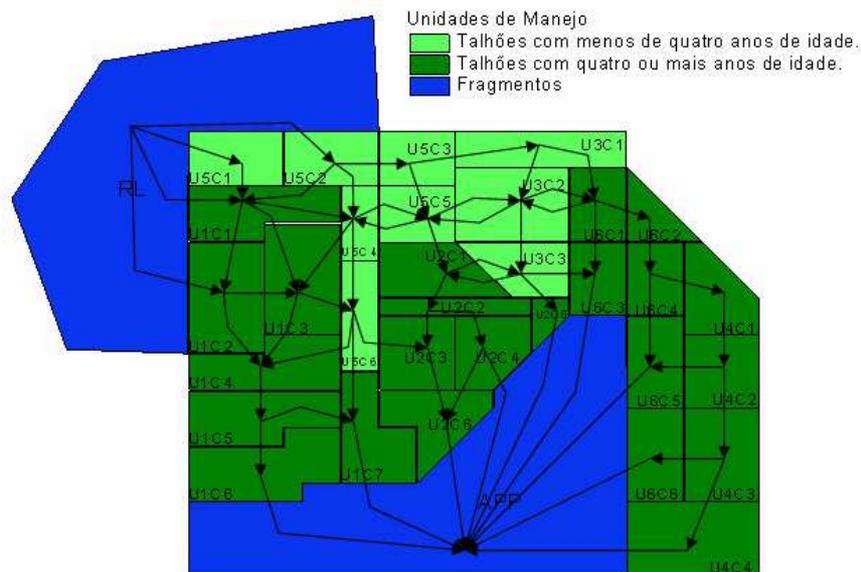


Figura 1 – Mapa da propriedade analisada

Os regimes de manejo foram gerados através de uma rotina específica para formulação de problemas de otimização de gestão de sistemas de talhadia. A rotina gera regimes com até três rotações por ciclo de produção dentro do horizonte de planejamento, com alternância entre ciclos para um mesmo regime.

A taxa de juros considerada foi de 12% ao ano, o preço da madeira de eucalipto para processo<sup>4</sup> foi de R\$ 45,72/m<sup>3</sup><sup>5</sup>, obtido do Informativo CEPEA – Setor Florestal (2006), o horizonte de planejamento foi de 18 anos. A produção mínima e máxima desejada anualmente foi de 20.000 m<sup>3</sup> e 40.000 m<sup>3</sup>, respectivamente. A rotina gerou 113 regimes de manejo para cada talhão<sup>6</sup>, em média, totalizando 3615 variáveis binárias para as unidades de manejo produtivas (talhões com eucalipto) e duas para os fragmentos florestais.

O processamento foi realizado em um microcomputador Pentium D 3,4 Ghz, com 4 Gb<sup>7</sup> de memória RAM, com os softwares General Algebraic Modelling System (GAMS) versão 22.2, e CPLEX versão 10.0.1, e ArcView GIS 3.3.

### 3 Resultados e discussão

Os dois modelos, com e sem conectividade, foram resolvidos com sucesso. Na Tabela 1 é possível observar que o número de linhas (equações) e colunas (variáveis) do modelo aumenta consideravelmente quando incorporamos as restrições de conectividade.

O aumento do número de linhas e colunas do modelo com conectividade já era esperado, pois são necessárias três equações para cada ano do horizonte de planejamento de forma a representar os possíveis caminhos percorridos pelos talhões; uma para avaliar se o talhão pode ser utilizado como corredor em um determinado período, outra para habilitá-lo a compor o corredor caso possa ser utilizado, e uma terceira para compor o corredor. Além disso, cada caminho entre dois talhões adjacentes em cada período do horizonte de planejamento representa uma variável a ser adicionada no modelo, bem como as variáveis que habilitam o talhão a fazer parte do corredor em determinado período do horizonte de planejamento.

O número de variáveis definidas como binárias são iguais nas duas formulações, e a resposta das variáveis que representam os arcos será sempre inteira devido às características matemáticas adotadas na formulação do modelo com conectividade, sendo esta uma vantagem dessa formulação.

---

<sup>4</sup> Matéria-prima para a indústria de celulose.

<sup>5</sup> R\$ 32,00/st, com fator de conversão de 0,7 m<sup>3</sup>/st.

<sup>6</sup> Foram considerados regimes de manejo com um ou dois ciclos de produção por rotação.

O valor da função objetivo no modelo com conectividade apresentou um decréscimo de R\$ 143.448,96 (1,75%) em relação ao modelo sem conectividade, o qual pode ser considerado como o custo de oportunidade de se garantir uma conectividade mínima entre os fragmentos florestais em todos os anos do horizonte de planejamento.

Tabela 1 – Resumo de algumas características dos modelos.

Característica	Com Conectividade	Sem Conectividade
Número de linhas	1.961	125
Número de colunas	5.400	3.672
Número de Variáveis Binárias	3.617	3.617
Tempo de resolução	9 min 22,69 seg	1 min 20,62 seg
Máxima memória ocupada pela árvore do BBA	7,64 MB	36,34 MB
Valor da função objetivo	R\$ 8.077.459,18	R\$ 8.220.908,14

O modelo alterou o regime de manejo em 23 das 32 unidades de manejo para atender às restrições de conectividade entre os fragmentos ao longo do horizonte de planejamento. Estas alterações ocorreram nas idades de corte e/ ou nos períodos de corte para uma ou mais intervenções em um mesmo regime de manejo. O fluxo anual de madeira produzido pelas duas estratégias pode ser observado na Figura 2.

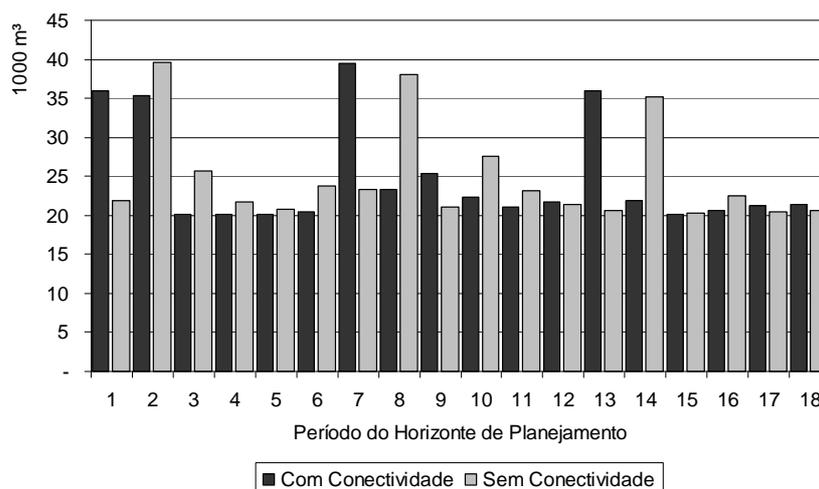


Figura 2 – Fluxo de madeira produzido nas duas formulações

<sup>7</sup> A quantidade máxima de memória disponibilizada pelo sistema operacional para o solver foi de 2Gb.

A maior alteração de volume ocorreu no sétimo período, com um decréscimo de aproximadamente 16.000 m<sup>3</sup>, mas apenas cinco períodos apresentaram alteração superior a 10.000 m<sup>3</sup> como consequência da alteração dos regimes para o estabelecimento dos corredores, e o volume total produzido ao longo do horizonte de planejamento reduziu apenas 1.250 m<sup>3</sup> (0,28%). Embora o fluxo de produção tenha sido alterado de forma significativa em alguns anos, a produção total da floresta manteve-se praticamente inalterada.

O modelo sem conectividade estabeleceu uma conexão entre os fragmentos em um terço dos períodos. Entretanto, esse resultado foi uma consequência dos regimes de manejo escolhidos, não havendo nenhuma garantia que esta conexão seja implementada.

Para uma melhor visualização dos resultados dos modelos, os mapas dos três primeiros períodos do horizonte de planejamento dos modelos com e sem conectividade, são apresentados nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente.

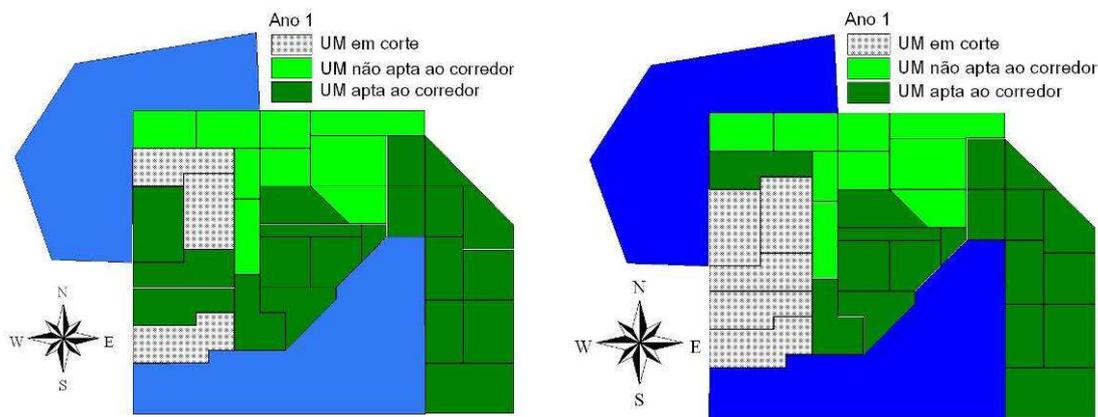


Figura 3 – Mapas dos modelos com e sem conectividade, respectivamente (1º período).

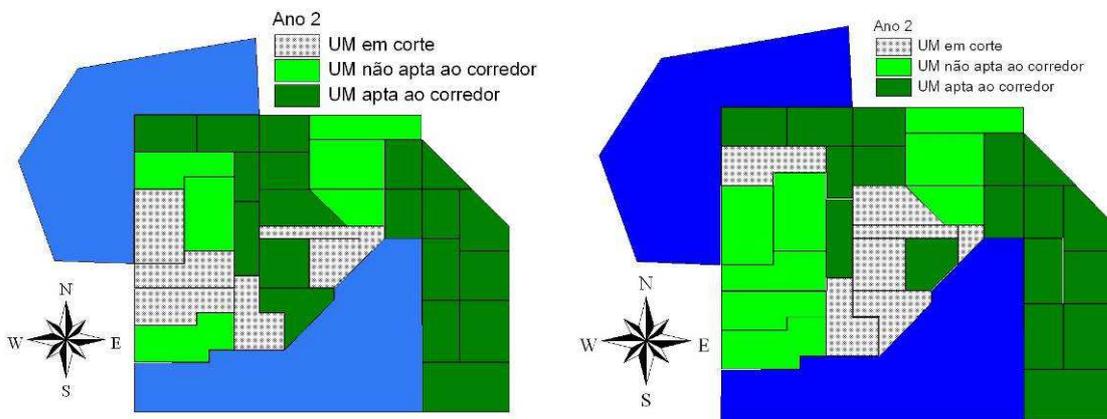


Figura 4 – Mapas dos modelos com e sem conectividade, respectivamente (2º período).

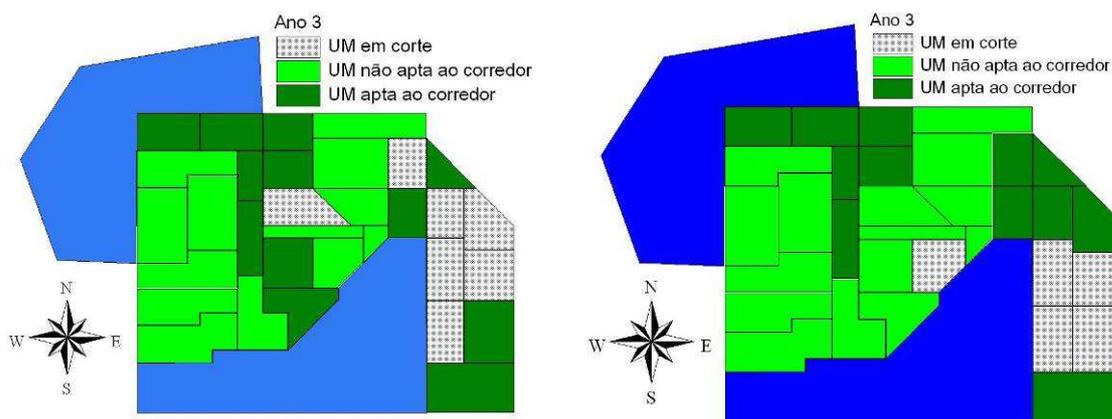


Figura 5 – Mapas dos modelos com e sem conectividade, respectivamente (3º período).

A alteração do fluxo de produção no primeiro período fica evidente uma vez que, no modelo com conectividade, um talhão da unidade de manejo U1 (U1C1) tem o seu corte antecipado, enquanto três talhões da mesma unidade (U1C2, U1C4 e U1C5) têm o seu corte adiado, resultando em uma menor área colhida (67,37 ha e 111,01 ha, respectivamente) de talhões de mesma produtividade e, conseqüentemente, uma produção menor no primeiro período do que no modelo sem conectividade. No segundo período o modelo sem conectividade recomenda a colheita de 95,46 ha, incluindo várias unidades de manejo do grupo U2 que são as mais produtivas, enquanto o modelo com conectividade colhe 105,52 ha de algumas unidades de manejo dos grupos U1 e U2. Devido à diferença de produtividade das áreas, o modelo sem conectividade obtém uma produção ligeiramente maior neste período, mesmo colhendo uma área um pouco menor. O efeito da diferença de produtividade entre as UM's se faz notar também no terceiro período, pois o modelo com conectividade colhe 21,2 ha a mais do que o modelo sem conectividade, mas obtém uma produção inferior ao primeiro.

#### 4 Conclusões

É possível considerar a formação de corredores de conectividade entre fragmentos de vegetação nativa adjacentes às florestas de produção no planejamento do manejo de tais florestas. Na realidade, o modelo desenvolvido pode ser aplicado em qualquer situação onde o gestor deseje conectar fragmentos da paisagem pré-determinados ao longo de vários períodos utilizando outros elementos da paisagem com determinadas características, por meio do manejo dos elementos desta paisagem.

A propriedade da programação em redes utilizada na formulação do modelo com garantias de conectividade permitiu que os arcos das redes que representaram os possíveis

caminhos a serem estabelecidos na conexão fossem tratados como variáveis contínuas e, ainda assim, sempre retornassem soluções inteiras, acarretando com a inserção das restrições espaciais sem o aumento do número de variáveis binárias no modelo.

A perda no valor da função objetivo pode ser utilizada como uma *proxy* do custo de implantação de tais corredores, faltando a valoração dos benefícios advindos dos mesmos para que possa ser calculada uma razão Benefício / Custo, a qual poderia ser utilizada como um indicador pelo gestor florestal para verificar se a implantação de tais corredores seria viável.

Em trabalhos futuros, sugere-se a consideração de outras restrições no modelo, como as de capacidade de reforma e disponibilidade de recursos financeiros.

Outra linha de pesquisa que pode ser seguida é avaliar o impacto do valor da produção mínima e máxima, além do número de unidades de manejo e de regimes de manejo disponíveis no tempo de processamento do modelo, visando verificar qual o número máximo aproximado de variáveis inteiras que o modelo teria condições de resolver com um esforço computacional viável.

## 5 Referências

BEIER, P; NOSS, R.F. Do Habitat Corridors Provide Connectivity? **Conservation Biology**, v. 12, n. 6, p. 1241-1252, dec. 1998.

INFORMATIVO CEPEA – SETOR FLORESTAL. Piracicaba, n. 59, nov. 2006. 4 p. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/inform59.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2006.

GALINKIN, M. et al. Projeto Corredor Ecológico Araguaia-Bananal. In: Arrura, M.B.; Nogueira, L.F.S. **Corredores ecológicos: uma abordagem integradora de ecossistemas no Brasil**. Brasília: IBAMA, 2004. p. 81-131.

HILLIER, F.S; LIEBERMAN, G.J. **Introduction to operations research**. 8<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2005. 1061 p.

HORSKINS, K.; MATHER, P.B.; WILSON, J.C. Corridors and connectivity: when use and function do not equate. **Landscape Ecology**, v. 21, n. 5, jul. 2006. Disponível em: <<http://www.springerlink.com.w10077.dotlib.com.br/content/84qq533865702442/fulltext.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2006.

JORDÁN, F. A reliability-theory approach to corridor design. **Ecological Modelling**, [s.l.], v. 128, n. 2-3, p. 211-220, abr. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03043800>>. Acesso em: 15 out. 2005.

NOBRE, S.R.; RODRIGUEZ, L.C.E. Analysis and evaluation of the R-Ratio heuristic for forest scheduling. In: Bevers, Michael; Barrett, Tara M., comps. 2005. *Systems Analysis in Forest Resources: Proceedings of the 2003 Symposium; October 7-9, Stevenson, WA. USDA Forest Service – General Technical Report PNW-GTR-000*. Portland, OR: USDA Forest Service, 2005. p. 287-295.

ÖNAL, H.; BRIERS, R.A. Designing a conservation reserve network with minimal fragmentation: A linear integer programming approach. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 10, n. 3, sep. 2005. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/k1q2527g368u043g/fulltext.pdf>>. Acesso em: 16 de sep. 2006.

PRIMACK, R.B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: E. Rodrigues, 2001. viii, 328p.

RODRIGUEZ, L.C.E. **Técnicas quantitativas para a gestão de florestas plantadas**. Piracicaba, 2005. 106 p. Disponível em: <[http://lmq.esalq.usp.br/~lcer/lcf586/LCF586\\_Apostila.pdf](http://lmq.esalq.usp.br/~lcer/lcf586/LCF586_Apostila.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2006.

SESSIONS, J. Solving for Habitat Connections as a Steiner Network Problem. **Forest Science**, Bethesda, v. 38, n. 1, p.203-207, fev. 1992.

SUSTAINABLE FORESTRY INITIATIVE: 2005 – 2009 Standard. Sustainable Forestry Board (SFB) and American Forest & Paper Association (AF&PA), 2005. 27 p. Disponível em: <<http://www.aboufsfb.org/generalPDFs/SFBStandard2005-2009.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2006.

WILLIAMS, J.C. Delineating protected wildlife corridors with multi-objective programming. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 3, n. 1-2, p. 77-86, mar. 1998.