

CAPÍTULO III

PROPOSTA DE CENÁRIOS PARA O ARRANJO ESPACIAL DE FRAGMENTOS FLORESTAIS

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi a criação de um algoritmo de computador para gerar cenários de configuração espacial e arranjo de fragmentos florestais nativos de forma a maximizar a representatividade ambiental da paisagem e com isso as chances de preservação do mais vasto espectro possível da fauna e flora, tendo em vista a escassez de metodologias científicas para alocação de áreas para preservação que sejam de fácil implementação, de baixo custo e que maximizem a representatividade da diversidade ambiental. A hipótese testada é de que a alocação criteriosa de áreas de Reserva Legal pode melhorar a representatividade ambiental. O algoritmo elaborado para geração de cenários oferece a opção de se alocarem Reservas Legais apenas na borda de áreas de nativas já existentes, da mesma forma que retirá-las das bordas, ou adicioná-las em qualquer local dentro dos eucaliptais, proporcionando a diminuição da discrepância entre os valores esperados e os observados de floresta nativa nas características de relevo e solos analisadas e assim otimizando a representatividade ambiental. Observou-se que os cenários sem restrição de borda ocasionaram o aparecimento de fragmentos mais alongados e com menores áreas centrais que aqueles de alocação restrita à borda. Os cenários propostos podem auxiliar a tomada de decisão na definição de áreas prioritárias para conservação no contexto atual de distribuição dos fragmentos de floresta nativa tomando por base a representatividade ambiental da paisagem em estudo.

INTRODUÇÃO

Algumas espécies animais ou vegetais se adaptam a condições diversas, mas existem aquelas que possuem requerimentos específicos referentes às características ambientais. Ao passo que algumas espécies são capazes de migrar longas distâncias numa matriz não florestal, outras ficam restritas aos remanescentes de floresta nativa; enquanto algumas preferem ambiente de borda de fragmentos, outras necessitam de uma área central de determinado tamanho para a manutenção de sua população. Num consenso geral, entretanto, fragmentos pequenos e isolados não são eficientes na preservação da fauna e flora locais e podem ser substituídos por fragmentos maiores e conectados ou menos isolados. Além disso, é importante que se preserve a maior heterogeneidade ambiental possível da paisagem, como estratégia para a preservação da fauna e da flora associadas à diferentes habitats.

A diversidade ou complexidade estrutural de um sistema é responsável pela diversidade e abundância de habitats, que por sua vez oferecem os recursos para uma ampla gama de espécies especializadas (FRANKLIN, 1993). É de se esperar, portanto, que haja uma relação entre a diversidade de espécies e a diversidade de nichos no ecossistema (EKSCHMITT & GRIFFITHS, 1998). Tendo em vista que as paisagens naturais são um mosaico de habitats distintos e que os fragmentos representam amostras destas paisagens (CERQUEIRA et al., 2005), uma estratégia que poderia ser empregada visando à melhoria da qualidade ambiental seria inicialmente tomar conhecimento dos tipos de habitat não representados na rede de reservas existente para, em seguida, dar prioridade à inclusão, nesta rede, de novas áreas, no intuito de aumentar sua representatividade ambiental relativa.

A geração de um sistema representativo da diversidade ambiental da paisagem é apenas uma das muitas estratégias de manutenção da biodiversidade, que foi a escolhida neste trabalho. Assim, o objetivo deste capítulo foi realizar um algoritmo de computador para propor, com base na distribuição das características pedológicas e fisiográficas dos fragmentos florestais nativos, cenários de arranjo espacial desses fragmentos, de modo a otimizar a representatividade ambiental da paisagem.

REVISÃO DE LITERATURA

Estratégias para conservação da biodiversidade

Um passo necessário para o planejamento de reservas consiste no conhecimento da condição das áreas de conservação previamente existentes e na extensão com que estas já contribuem para o alcance das metas de conservação (ROUGET et al., 2003). Geralmente o observado é que as áreas ainda mantidas sob sua cobertura vegetal original encontram-se distribuídas no espaço como resultado final da interação de pressões políticas, econômicas e sociais, sem considerar aspectos ecológicos. Assim, muitos pesquisadores procuraram, através de seus trabalhos em diversas regiões do planeta, averiguar o que estas reservas representam em termos de biodiversidade de habitats ou espécies e como melhorar suas eficiências em protegê-la (ex. RODRIGUES et al., 2004; ROUGET et al., 2003), e criar algoritmos de seleção de áreas prioritárias para preservação (ex. PRESSEY et al., 1999; PRESSEY & COWLING, 2001).

Alguns pesquisadores usam diferentes tipos de terreno (“land types”) que refletem variações em fatores abióticos ou em características da vegetação que por sua vez afetam a distribuição de espécies. As formas de terreno influenciam o fluxo de água, o transporte de sedimentos, poluentes e nutrientes e também proporcionam condições singulares de habitat, atendendo às exigências de diferentes espécies de plantas e animais (BLASZCZYNSKI, 1997). Assim, os tipos de terreno funcionariam como uma estratificação ambiental e geográfica da paisagem para a disposição de reservas bastante útil no planejamento da representatividade da biodiversidade na ausência de dados mais específicos, além de serem mais baratos e fáceis de derivar com ferramentas de geoprocessamento. A eficácia desta abordagem depende dos tipos de terreno analisados, da escala geográfica, da região de estudo, entre outros aspectos (PRESSEY, 2004).

ROUGET et al. (2003) avaliaram a atual configuração de áreas protegidas, que cobrem 20% da região denominada “Cape Floristic” (CFR), África do Sul. Por meio de variáveis ambientais e áreas homogêneas em termos de topografia, geologia, zonas climáticas e composição florística, a que denominaram BHUs (“Broad Habitat Units”, ou unidades gerais de habitat),

visaram determinar, baseado na extensão destes componentes ambientais, até que ponto as áreas protegidas estão aptas a sustentar processos ecológicos e evolutivos. Encontraram que as lacunas no sistema de reservas estão associadas principalmente com a geologia, seguida da altitude. Não surpreendentemente encontraram que áreas com arenito foram excessivamente protegidas em detrimento de todos os outros tipos de formações geológicas. Também foram superprotegidas áreas com altitude elevada, assim como aquelas muito declivosas, rugosas ou com alto coeficiente altitudinal. Numa análise mais detalhada, notaram que as áreas com arenito não se encontravam incluídas na rede de reservas principalmente quando o terreno era plano e quando a temperatura mínima e o número de dias de crescimento eram elevados. Já áreas com outros tipos de encontravam-se sob preservação quando em áreas com baixa temperatura de crescimento ou distantes das rodovias principais. Os autores encontraram que a BHU Complexo Montanhoso “Fynbos” excedeu sua meta de conservação (50%) ao passo que as BHUs de áreas baixas encontravam-se pouco protegidas (9%), comprometendo a manutenção de interfaces edáficas onde ocorre grande diversidade de plantas (COWLING & HOLMES, 1992).

Um trabalho que abordou uma questão semelhante em escala global, porém fazendo uso da distribuição de espécies como indicativo ou “surrogate” para a biodiversidade, foi o de RODRIGUES et al. (2004). Eles combinaram dados de distribuição de espécies e áreas protegidas para gerar uma análise “gap”, ou de lacunas ou falhas no sistema, para demonstrar a efetividade destas áreas em representar a diversidade de espécies. Os autores denominaram “gap species” as espécies cujas distribuições não sobrepuseram nenhuma área protegida. Encontrou-se que a porcentagem de “gap species” decresceu com o aumento da porcentagem de áreas protegidas, mas que este decréscimo foi mais correlacionado com o nível de endemismo, ou seja, houve maior número de “gap species” em locais com maior presença de espécies de distribuição restrita. Este trabalho criticou metas políticas baseadas meramente na proteção de determinada porcentagem de cada bioma uma vez que a biodiversidade não é igualmente distribuída em todo o planeta, e sugeriu que a distribuição das áreas protegidas leve em consideração padrões de biodiversidade, caso a meta seja a representatividade de espécies.

Todavia, em vista do aumento populacional e das novas necessidades criadas pela sociedade moderna (CAPRA, 1982), a pressão sobre os recursos naturais é crescente e as tentativas de manutenção de áreas protegidas encontram respaldo apenas nas leis, quando estas são obedecidas. No intuito de adequar a porcentagem de terra que por lei deve ser protegida com a escolha de áreas prioritárias para preservação esbarra-se na própria lei quando se trata de Áreas de Preservação Permanente (APP). Restam as Reservas Legais (RL), que devem ocupar diferentes porcentagens das propriedades nas diferentes regiões do Brasil. Conforme já discutido, na maioria das vezes estas são alocadas geralmente nas piores terras para o uso a que se destina a propriedade, além de poderem formar ilhas de vegetação que podem não possuir papel relevante na preservação da biodiversidade.

Ao se estabelecer as localidades das reservas, os objetivos são maximizar o número de espécies conservadas no mínimo de área ou satisfazendo o percentual mínimo exigido. Muitos métodos têm sido desenvolvidos visando encontrar a disposição ótima das reservas em um contexto local. Estes se baseiam na identificação de “hotspots”, na complementariedade ou na representatividade da rede de reservas (KATI et al., 2004).

“Hotspots” de biodiversidade são áreas muito ricas em espécies ou com muitas espécies raras, ameaçadas ou endêmicas. Complementariedade significa adicionar o máximo de novos atributos - sejam espécies, espécies endêmicas ou unidades de paisagem -, no atual sistema de reservas (KATI et al., 2004). Por último, representatividade significa garantir que toda a variação ambiental é bem representada na rede de reservas (FAITH & WALKER, 1996).

Avaliando estes métodos para seis grupos-alvo distintos (plantas lenhosas, orquídeas, Orthoptera, herpetofauna aquática, herpetofauna terrestre e aves) por meio da criação de cinco cenários, um deles construído de maneira aleatória, KATI et al. (2004) definiram como melhores soluções para a preservação da biodiversidade o cenário relativo à seleção de uma rede complementar para qualquer grupo-alvo e o cenário mais rico em espécies, seguidos dos cenários de representatividade de habitat e de tipo de vegetação. Entretanto, todos os cenários gerados levando em consideração algum método foram melhores do que aquele gerado aleatoriamente e a combinação destes métodos foi considerada, em alguns casos, a melhor solução em termos de

custo, agilidade de ação e mesmo eficácia, além de depender de algumas circunstâncias, como a escala de trabalho. PRESSEY (2004) acrescenta o fato de que dados de riqueza e distribuição de espécies podem ser pouco precisos e abranger pequena extensão territorial devido a limitações taxonômicas, temporais, financeiras e técnicas.

Além desses métodos ou “surrogates” para acessar a representatividade da biodiversidade em áreas protegidas, existem outros, como o uso de espécies raras (PRENDERGAST et al., 1993), centros de endemismo e espécies indicadoras (CABEZA & MOILANEN, 2001; MARGULES & PRESSEY, 2000; citados por ROUGET et al., 2003).

CULLEN JUNIOR et al. (2005) propõem também a estratégia de se utilizar uma determinada espécie como detetive da paisagem, ou seja, basear-se nos seus requerimentos para determinar a conservação da paisagem. Os autores utilizaram, para tanto, espécimes de onça, o que, segundo eles, pode contribuir para a conservação do ecossistema como um todo uma vez que grandes carnívoros requerem boa base de presas, grandes áreas centrais de habitat e conectividade entre áreas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em áreas de plantios de eucalipto e fragmentos florestais nativos de projetos da CENIBRA (Celulose Nipo-Brasileira S.A), presentes em três microrregiões do Estado de Minas Gerais.

Foram escolhidos quatro projetos, antigas fazendas adquiridas pela empresa, em quatro diferentes regionais. A divisão em regionais foi determinada pela CENIBRA para administrar áreas com características semelhantes. O projeto Florália pertence à regional Santa Bárbara; o projeto Jatobá I à regional Cocais; o projeto Marola à regional Rio Doce e os projetos Sabinópolis I e Sabinópolis III à regional Guanhães. Os projetos Sabinópolis I e III foram analisados em conjunto, gerando-se produtos únicos.

Na escolha dos projetos procurou-se selecionar áreas representativas dos diversos ambientes onde a empresa atua para que a metodologia proposta

e parte dos resultados pudessem ser testadas em diferentes condições. Além disso, também foi possível trabalhar em áreas com características pedogeomorfológicas diversas de ocorrência na região dos Mares de Morros.

Os projetos Florália e Sabinópolis localizam-se na borda Leste do Quadrilátero/Espinhaço. Florália pertence à regional mais úmida e meridional, de relevo dissecado e solos profundos e intemperizados. Sabinópolis I e III são os projetos localizados mais ao Norte, cuja regional apresenta menor precipitação total média anual. Marola fica na baixada do Rio Doce, região com déficit hídrico maior, com relevo menos dissecado, solos mais rasos e temperaturas mais elevadas. Jatobá I fica em área mais montanhosa, de relevo movimentado e clima mais frio, em transição para ambiente de campo de altitude.

Lógica do algoritmo

Após o conhecimento da tendência do sistema na manutenção de áreas de reservas em locais com determinadas características fisiográficas e pedológicas (Capítulo I – SARCINELLI, 2006), propõe-se, neste capítulo, o desenho de cenários alternativos de distribuição de fragmentos de floresta nativa, visando o aumento da representatividade ambiental da paisagem. Para tanto, foi elaborado um algoritmo de computador para permitir a geração dos cenários.

Para cada projeto estudado foi elaborado um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir de curvas de nível com espaçamento de 10 m, dos limites dos projetos e suas hidrografias, com o módulo de interpolação *Topogrid* do software ARC/INFO Workstation (ESRI, 1997), a partir do qual foram derivados grids de declividade e orientação.

Os MDEs, com medidas de altitude em metros, foram divididos em três classes com aproximadamente a mesma área; a declividade, em percentagem, foi dividida em sete classes conforme critério de divisão de fases de relevo proposto pela EMBRAPA (1999); e a orientação, derivada em percentagem, foi automaticamente gerada em classes com notações específicas de direção. A cada uma destas classes foi atribuído um código em número inteiro por meio

do processo de reclassificação do módulo *Spatial Analyst*, ArcMap (Tabelas 1 e 2).

Foi desenvolvido um método de fatiamento automático do relevo em função de sua morfologia, ou posição na paisagem (Capítulo I – SARCINELLI, 2006) e realizou-se o levantamento dos solos das áreas de florestas nativas para que se preenchessem as lacunas do mapa de solos de cada projeto e, em seguida, algumas classes foram agrupadas levando-se em conta algumas propriedades como profundidade, cor, pedregosidade, drenagem, fertilidade e risco de erosão (Tabela 2).

Tabela 1. Códigos atribuídos aos intervalos utilizados no agrupamento das células do MDE em classes para cada projeto

Código	Florália	Jatobá I	Marola	Sabinópolis
	Intervalos (m)			
1	698,8 – 797,5	852,7 – 966,2	204,9 – 234,2	766,4 – 836,8
2	797,5 – 860,2	966,2 – 1026,8	234,2 – 262,9	836,8 – 871,2
3	860,2 – 994,9	1026,8 – 1181,6	262,9 – 323,2	871,2 – 980,2

Tabela 2. Códigos atribuídos às diferentes fases de relevo, orientações da vertente, posições na paisagem e grupos de solos para cada projeto

Código	Fases de relevo		Orientação		Posição na paisagem	Grupos de solos
	Nome	(%)	Nome	(°)		
1	Plano	< 3	Plano	-1	Topos de morros	Solos rasos (alguns Cambissolos e Plintossolos)
2	Suave ondulado	3 – 8	Norte (N)	0 – 22,5 e 337,5 – 360	Planícies e terraços fluviais	Cambissolos mais profundos
3	Ondulado	8 – 20	Nordeste (NE)	22,5 – 67,5	Encostas côncavas	Latossolos Amarelos
4	Forte ondulado	20 – 45	Leste (E)	67,5 – 112,5	Encostas convexas	Latossolos Vermelho Amarelos e Vermelhos
5	Montanhoso	45 – 75	Sudeste (SE)	112,5 – 157,5	-	Cambissolos Flúvicos (incluindo Neossolos Flúvicos)
6	Escarpado	75 – 100	Sul (S)	157,5 – 202,5	-	Neossolos Litólicos
7	APP	>100	Sudoeste (SO)	202,5 – 247,5	-	-
8	-	-	Oeste (O)	247,5 – 292,5	-	-
9	-	-	Noroeste (NO)	292,5 – 337,5	-	-

Foi desenvolvido um algoritmo de computador para executar o processo de modelagem. Este algoritmo calcula a proporção de florestas nativas (Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente) em uma dada paisagem e em seguida a proporção esperada de florestas nativas em cada uma das classes de relevo e solos estudadas com base na distribuição total dessas classes de uso na paisagem. A proporção de mata esperada para cada classe de solo ou relevo é estimada de modo a manter a mesma proporção de mata que essas classes mantêm na paisagem total.

A discrepância em cada grid consiste na diferença entre a proporção esperada e a observada de floresta nativa em suas classes ou categorias (1) e a discrepância total é a soma das discrepâncias dos grids para cada célula (2). Desta forma, se a proporção esperada for maior que a observada, a discrepância é positiva, e isso significa que há falta de florestas nativas. Já se a proporção observada for maior que a esperada, a discrepância é negativa, significando haver excesso de florestas nativas na classe em relação ao esperado. A lógica do algoritmo baseou-se na diminuição da média da discrepância total dos grids. Também foi calculada a discrepância quadrática total dos grids (3).

$$(1) \text{Discrep_grid}_{ij} = (\text{Esperado}_{ij} - \text{Observado}_{ij})/100,$$

Onde:

i = linhas ($i = 1, 2, \dots, n$);

j = colunas ($j = 1, 2, \dots, p$);

Discrep_grid_{ij} = Discrepância para cada célula do grid analisado (grupo de solos, altitude, declividade, orientação e posição na paisagem);

Esperado_{ij} = Proporção de células de floresta nativa esperada para a classe;

Observado_{ij} = Proporção de células de floresta nativa observada para a classe.

$$(2) \text{Discrep_total}_{ij} = \sum_k^q (\text{Discrep_sol}_{ij}; \text{Discrep_alt}_{ij}; \text{Discrep_decl}_{ij}; \text{Discrep_orient}_{ij}; \text{Discrep_pos}_{ij})$$

Onde:

i = linhas ($i = 1, 2, \dots, n$);

$j = \text{colunas } (j = 1, 2, \dots, p);$
 $k = \text{grids } (k = 1, 2, \dots, q);$
 $\text{Discrep_total}_{ij} = \text{Discrep\~ancia total dos grids para cada c\~elula};$
 $\text{Discrep_sol}_{ij} = \text{Discrep\~ancia para o grid de solos};$
 $\text{Discrep_alt}_{ij} = \text{Discrep\~ancia para o grid de altitude};$
 $\text{Discrep_decl}_{ij} = \text{Discrep\~ancia para o grid de declividade};$
 $\text{Discrep_orient}_{ij} = \text{Discrep\~ancia para o grid de orienta\~cao};$
 $\text{Discrep_pos}_{ij} = \text{Discrep\~ancia para o grid de posi\~cao na paisagem}.$

$$(3) \text{Discrep_quadr}_{ij} = \left[\sum_{i,j}^{n,p} (\text{Discrep_total}_{ij})^2 \right] / N,$$

Onde:

$i = \text{linhas } (i = 1, 2, \dots, n);$
 $j = \text{colunas } (j = 1, 2, \dots, p);$
 $\text{Discrep_quadr}_{ij} = \text{Discrep\~ancia quadr\~atica total dos grids};$
 $\text{Discrep_total}_{ij} = \text{Discrep\~ancia total dos grids para cada c\~elula};$
 $N = \text{n\~umero de c\~elulas do grid}.$

A regra b\~asica do algoritmo \~e que as \~Areas de Preserva\~cao Permanente (APP) s\~ao imut\~aveis, alterando-se apenas o uso das \~areas de Reservas Legais (RL) e eucalipto. Ele fornece duas op\~c\~oes de aloca\~ao e/ou retirada de RL:

- Com restri\~cao \~a borda - transforma c\~elulas de eucalipto localizadas na borda de RL ou APP de discrep\~ancias mais positivas em RL e transforma c\~elulas de RL localizadas na borda de eucaliptais de discrep\~ancias mais negativas em eucalipto.
- Sem restri\~cao de borda - somente transforma c\~elulas de eucalipto com discrep\~ancias mais positivas em qualquer local do projeto em RL.

Bordas s\~ao consideradas c\~elulas ocupadas por eucalipto que s\~ao vizinhas a c\~elulas de mata. Para a execu\~cao do algoritmo denominado 'reserva_legal' \~e necess\~ario que sejam colocados no corpo do algoritmo os arquivos em ASCII de cada grid, contendo os c\~odigos, e se forne\~cam como dados de entrada, na seguinte ordem:

- A proporção de mata que se deseja na paisagem;
- As letras 's' e 'b' caso se desejem utilizar a opção de restrição à borda, ou as letras 'a' e 'a' caso de deseje a opção sem restrição de borda;
- O intervalo de aceitação de flutuação da proporção de mata fornecida;
- Os valores de discrepância mínima (negativa) e máxima (positiva) médias a serem atingidos;
- O diretório no qual se deseja que os produtos do algoritmo sejam gravados;
- O número máximo de interações que o algoritmo pode realizar.

O algoritmo retorna como produtos o cenário proposto e duas planilhas (Anexo VI). Uma planilha apresenta todas as combinações possíveis das classes de relevo e solos analisadas, o número total de células em cada combinação e as áreas de floresta nativa para o cenário original e os cenários gerados. A outra planilha retorna a proporção de mata, as discrepâncias mínima e máxima e a média da discrepância (%) elevada ao quadrado para cada uma das características.

Proposta de cenários

Foram propostos cenários com a manutenção da área de floresta nativa presente originalmente nos projetos, com 40 e 60% de mata, e com e sem restrição de borda. Como o projeto Florália contém originalmente 51% de floresta nativa, não foi gerado para este projeto o cenário com 40% de mata. O intervalo de aceitação de flutuação da proporção de mata foi de 0,01, a discrepância mínima permitida foi de -0,15 e a máxima 0,10 para a opção do algoritmo de adição restrita à borda e de -0,50 e 0,50 para a opção sem restrição de borda, dado que esta última apenas transforma células de eucalipto de maiores discrepâncias positivas em Reserva Legal (RL), não efetuando o contrário (RL em eucalipto). O valor da discrepância máxima foi mais rigoroso pelo fato da discrepância positiva significar falta de área de floresta na paisagem. O número de interações máximo permitido foi de 4000.

Filtragens e cálculo de índices

Os produtos brutos dos cenários foram trabalhados para a geração de mapas e tabelas. Os grids dos cenários propostos foram submetidos a filtragem para eliminação de áreas de fragmentos ou eucalipto inferiores a 1 ha e para promover a suavização das bordas (Anexo VII). Foram gerados mapas contendo as áreas originais e propostas de transformação em RL e/ou em eucalipto e gráficos de discrepâncias médias, mínimas e máximas para cada característica estudada.

Foi calculado o Índice de Diversidade Categórico (IDC), para tanto, a partir da planilha contendo todas as combinações possíveis dos códigos das características de relevo e solos analisadas, o número total de células em cada combinação para a área total e as áreas de floresta nativa para o cenário original e os cenários gerados, foram atribuídas variáveis binárias denotando a presença ou ausência de células de floresta nativa para cada combinação. Este índice consiste na divisão do número de combinações de habitat existente nas áreas de nativas (originalmente e nos cenários propostos) por aquele existente na área total.

Também foram calculados alguns índices de paisagem utilizando o software Fragstats, a exemplo do que foi estudado no Capítulo II (SARCINELLI, 2006), para comparação entre os cenários gerados pelo algoritmo com as opções com e sem restrição de borda. Estes índices foram calculados para os cenários gerados após a filtragem e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Índices em escala de classe e paisagem para quantificação da estrutura da paisagem

Índice	Fragstats ^{1/}	Fórmula	Significado
Paisagem			
Área total	TA	$A/10.000$; A = área total da paisagem (m ²).	Área total da paisagem (ha).
Classe			
Área total da classe	CA	$\sum_{j=1}^n a_{ij}$ (1/10.000); a_{ij} = área (m ²) da unidade ij;	Área (ha) de todas as unidades da classe.
Número de unidades	NP	n_i ; n_i = número de unidades da classe i na paisagem.	Número de fragmentos da classe na paisagem. Mede o grau de ruptura de uma determinada unidade.
Índice de forma	SHAPE_MN e CV ^{2/}	$p_{ij}/\min(p_{ij})$; p_{ij} = perímetro da unidade ij em termos de número de células; $\min p_{ij}$ = perímetro mínimo da unidade ij em termos de número de células para uma unidade de mesma área.	Média e coeficiente de variação dos índices de forma da classe. SHAPE = 1 quando a unidade é o mais compacta possível e aumenta sem limites quando a forma da unidade torna-se mais irregular.
Área central total ^{3/}	TCA	$\sum_{j=1}^n a_{ij}^c$ (1/10.000); a_{ij}^c = área central (m ²) da unidade ij baseada na distância especificada a partir da borda (m).	É a soma da área central de todas as unidades da mesma classe. É dada em ha.

Índice	Fragstats ^{1/}	Fórmula	Significado
Índice de conectividade ^{4/}	CONNECT	$[(\sum_{j \neq k}^n c_{ijk}) 100] / \{[n_i(n_i-1)]/2\};$ <p>c_{ijk} = união entre as unidades j e k (0 = separado, 1 = unido) da unidade correspondente do mesmo tipo (i), com base na distância limiar especificada pelo usuário;</p> <p>n_i = número de unidades da classe na paisagem.</p>	Porcentagem do número de uniões funcionais entre unidades do mesmo tipo, onde cada par de unidades pode ou não estar conectado baseado na distância determinada. CONNECT = 0 quando a classe possui apenas uma unidade na paisagem ou quando nenhuma das unidades presente está conectada (baseada na distância limiar). CONNECT = 100 quando todas as unidades da classe encontram-se conectadas, ou seja, à distância menor ou igual à estabelecida pelo usuário.

^{1/} Abreviação dos índices no programa Fragstats;

^{2/} MN (Média) e CV (Coeficiente de Variação); $MN = (\sum_{j=1}^n x_{ij})/n$; $SD = [(\sum_{j=1}^n (x_{ij}-MN)^2/n_i)]^{1/2}$; $CV = SD (100)/MN$;

^{3/} Considerou-se efeito de borda até a distância de 100 m a partir da borda;

^{4/} Calculou-se CONNECT para a distância limiar de 100 m, ou seja, 9 células da matriz entre duas de matas vizinhas.

RESULTADOS

Comportamento das discrepâncias e do Índice de Diversidade Categórico nos diferentes cenários

Em todos os projetos estudados, conforme ditado pela própria lógica do algoritmo, houve diminuição na discrepância entre o esperado e o observado de floresta nativa nas características analisadas, por meio da diminuição da discrepância positiva e aumento da negativa, tendendo a zero (Figura 1 a, b, c; Figuras 2, 3 e 4 a, b, c, d, e) e da diminuição da discrepância quadrática de cada grid (Figura 1 a', b', c'; Figuras 2, 3 e 4 a', b', c', d', e').

Florália mostrou-se o projeto cujos grids apresentaram as menores discrepâncias inicial, mínima e máxima (-0,22; 0,20), seguida pelos projetos Jatobá I (-0,50; 0,59), Sabinópolis (-0,68; 0,53) e Marola (-0,73; 0,59) (Figura 1 a, b, c; Figuras 2, 3 e 4 a, b, c, d, e).

De todas as características analisadas, a orientação foi aquela que mostrou as mais baixas discrepâncias iniciais. No projeto Florália, a declividade, e no Jatobá I, os grupos de solos, também apresentaram baixas discrepâncias. Já as características com maiores discrepâncias iniciais foram os grupos de solos e a posição na paisagem no projeto Florália, a posição na paisagem seguida da altitude nos projetos Jatobá I e Marola, e a altitude seguida da posição na paisagem nos projetos Sabinópolis I e III. A declividade ficou em terceiro lugar para estes três últimos projetos (Figura 1 a', b', c'; Figuras 2, 3 e 4 a', b', c', d', e').

O algoritmo necessita de maior número de interações quando demandado a diminuir a discrepância ao nível especificado sem alterar a área de florestas nativas original dos projetos (Figuras 1, 2, 3 e 4 a, a'). Isto ocorre em virtude dele ter que, ao mesmo tempo em que colocar novas áreas de Reservas Legais (RL) na borda nativa/eucalipto, também ter que retirar células de RL destes locais transformando-os em eucaliptais. Por outro lado, a opção do algoritmo sem restrição de borda, com valores de discrepância mais "relaxados", chega ao objetivo da proporção de floresta nativa requerida muito mais rapidamente que aquela com restrição de borda, por já transformar em RL as células de eucalipto em qualquer local com discrepâncias mais positivas

(Figura 1 c, c' e Figuras 2, 3 e 4 c, c', e, e'). Observa-se que em alguns casos da opção sem restrição de borda as discrepâncias finais permaneceram elevadas. Isto ocorreu nos cenários de 40% de florestas nativas dos projetos Marola e Sabinópolis (Figuras 3 e 4, c, c'); não ocorrendo para os cenários de 60% pela maior transformação de eucaliptais em nativas destes (Figuras 3 e 4, e, e'). O projeto Florália, por já possuir discrepâncias iniciais baixas, e o Jatobá I, pela pequena proporção de áreas de florestas, praticamente dobrada ao se gerar o cenário de 40%, superaram os valores das metas de discrepâncias mínimas e máximas propostas para os cenários com restrição de borda (Figura 1 c, c' e Figura 2 c, c', e, e').

É interessante o comportamento da seqüência de interações para os cenários de manutenção de mesma área (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5 a, a'), sobretudo no projeto Jatobá I, que apresenta oscilações da discrepância pela transformação de células de RL em eucaliptais e vice-versa para que seja mantida a mesma área de nativas ao mesmo tempo em que diminuída a discrepância. As oscilações são mais evidentes no Jatobá I pela sua menor proporção de nativas, que permite assim menor área de borda para execução das transformações.

Com relação ao Índice de Diversidade Categórico (IDC), este parece não apresentar grande correlação com a discrepância, mas sim com a opção do algoritmo com ou sem borda usada e com a proporção de floresta nativa nos projetos. Isso ocorre porque ele é um índice categórico. Basta a presença de uma célula para que ele considere a categoria representada. Os IDCs da opção com restrição de borda foram sempre superiores àqueles da opção sem restrição de borda, podendo significar que nem sempre as discrepâncias mais positivas se encontram relacionadas a habitats diferentes. Os valores dos IDCs também mostraram tendência crescente com o aumento da proporção de mata, pela razão de que o aumento da área pelo método da diminuição da discrepância poder permitir que um maior número de habitats sejam contemplados.

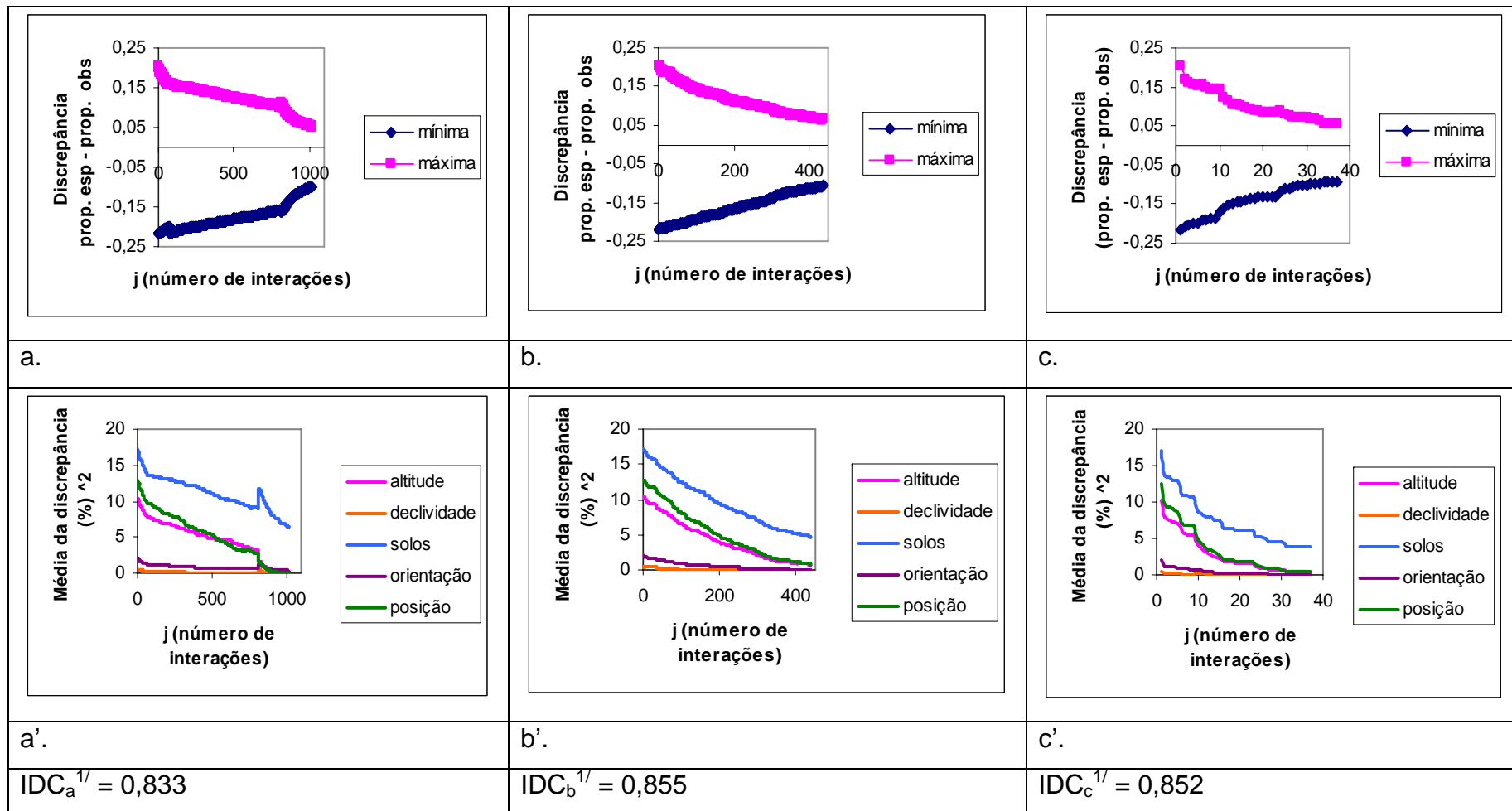
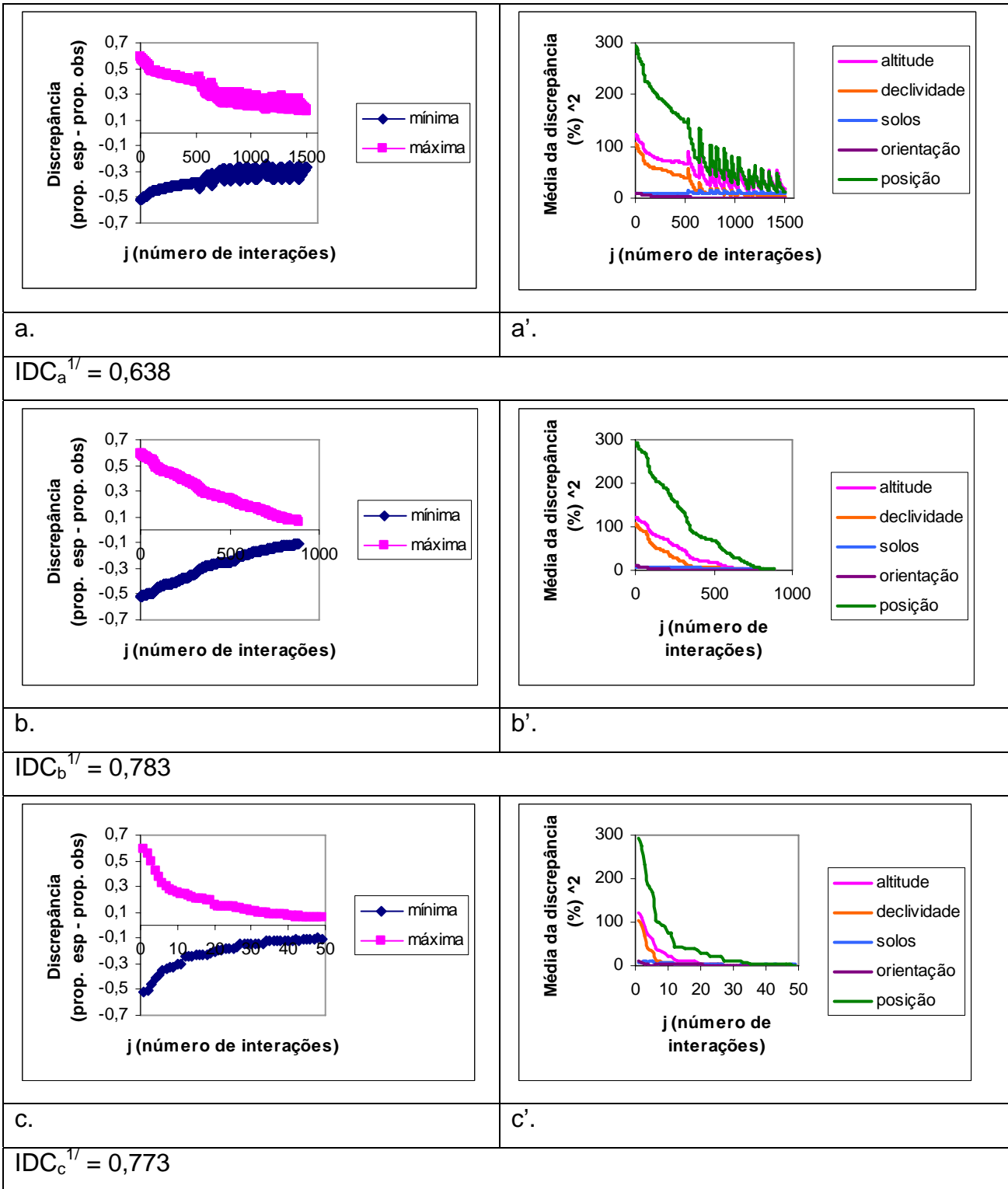


Figura 1. Gráficos de discrepância mínima e máxima (a, b, c) e de cada característica avaliada (a', b', c') dos cenários gerados para o projeto Florália: a e a'. 51% de floresta nativa com restrição de borda; b e b'. 60% de floresta nativa com restrição de borda; c, c'. 60% de floresta nativa sem restrição de borda. ^{1/} Índice de Diversidade Categórico para cada cenário (IC original = 0,849).



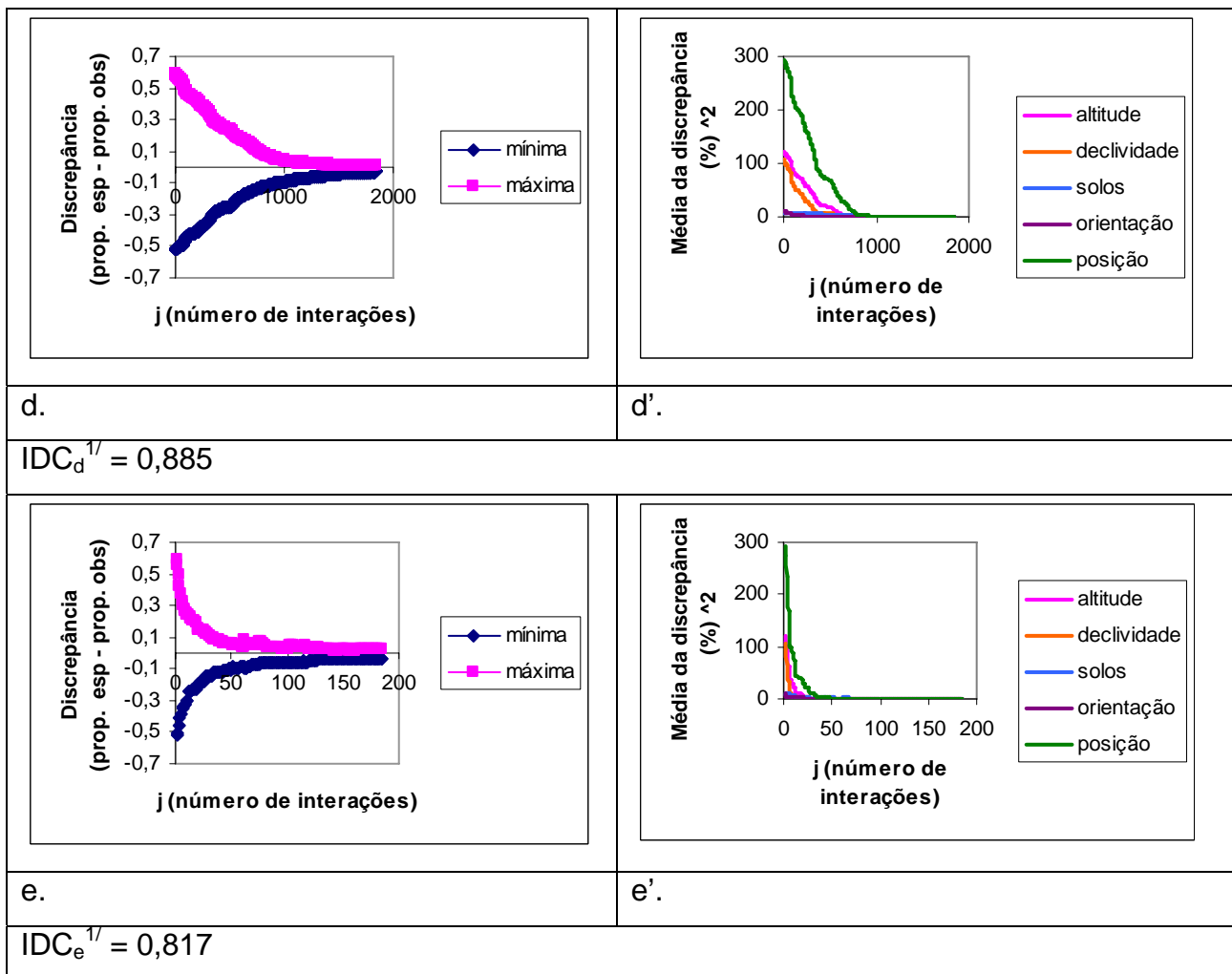
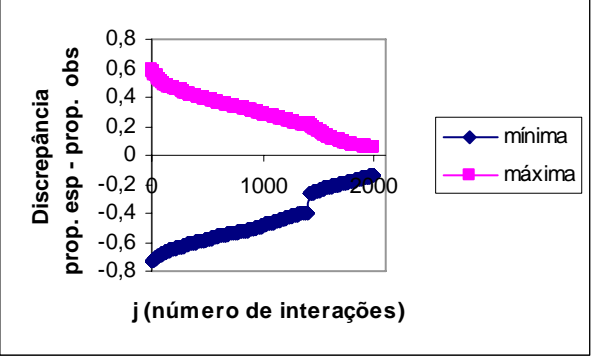
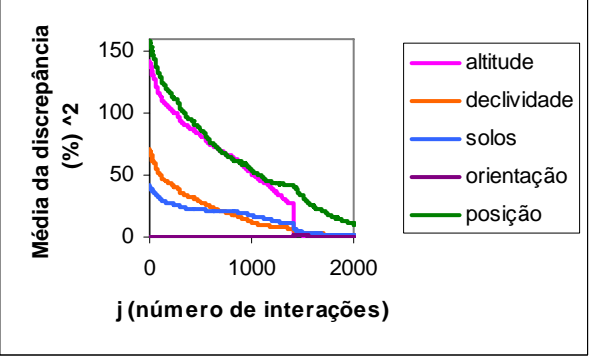
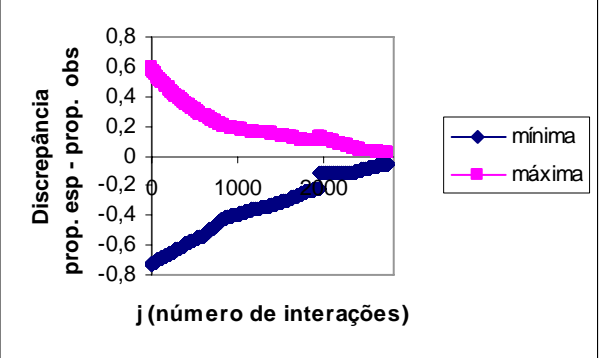
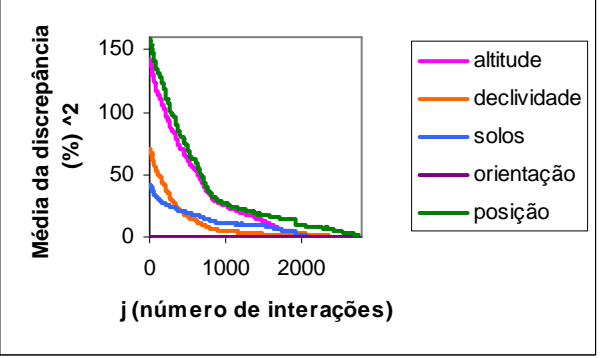
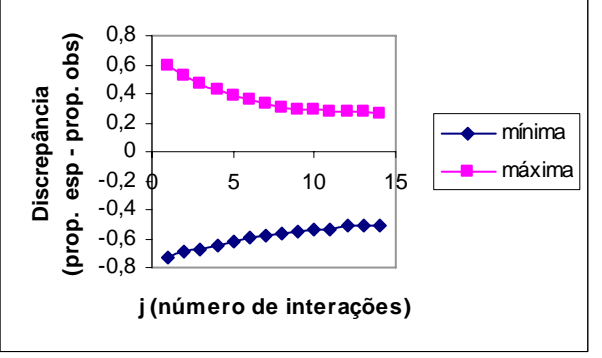
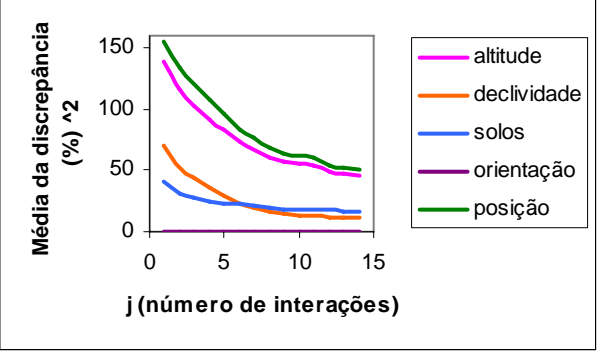


Figura 2. Gráficos de discrepância mínima e máxima (a, b, c, d, e) e de cada característica avaliada (a', b', c', d', e') dos cenários gerados para o projeto Jatobá I: a e a'. 23% de floresta nativa com restrição de borda; b e b'. 40% de floresta nativa com restrição de borda; c, c'. 40% de floresta nativa sem restrição de borda; d e d'. 60% de floresta nativa com restrição de borda; e, e'. 60% de floresta nativa sem restrição de borda. ^{1/} Índice de Diversidade Categórico para cada cenário (IC original = 0,741).

 <p>Discrepância prop. esp - prop. obs</p> <p>j (número de interações)</p> <p>—♦— mínima —■— máxima</p>	 <p>Média da discrepância (%) ^2</p> <p>j (número de interações)</p> <p>—■— altitude —■— declividade —■— solos —■— orientação —■— posição</p>
a.	a'.
$IDC_a^{1/} = 0,808$	
 <p>Discrepância prop. esp - prop. obs</p> <p>j (número de interações)</p> <p>—♦— mínima —■— máxima</p>	 <p>Média da discrepância (%) ^2</p> <p>j (número de interações)</p> <p>—■— altitude —■— declividade —■— solos —■— orientação —■— posição</p>
b.	b'.
$IDC_b^{1/} = 0,875$	
 <p>Discrepância (prop. esp - prop. obs)</p> <p>j (número de interações)</p> <p>—♦— mínima —■— máxima</p>	 <p>Média da discrepância (%) ^2</p> <p>j (número de interações)</p> <p>—■— altitude —■— declividade —■— solos —■— orientação —■— posição</p>
c.	c'.
$IDC_c^{1/} = 0,818$	

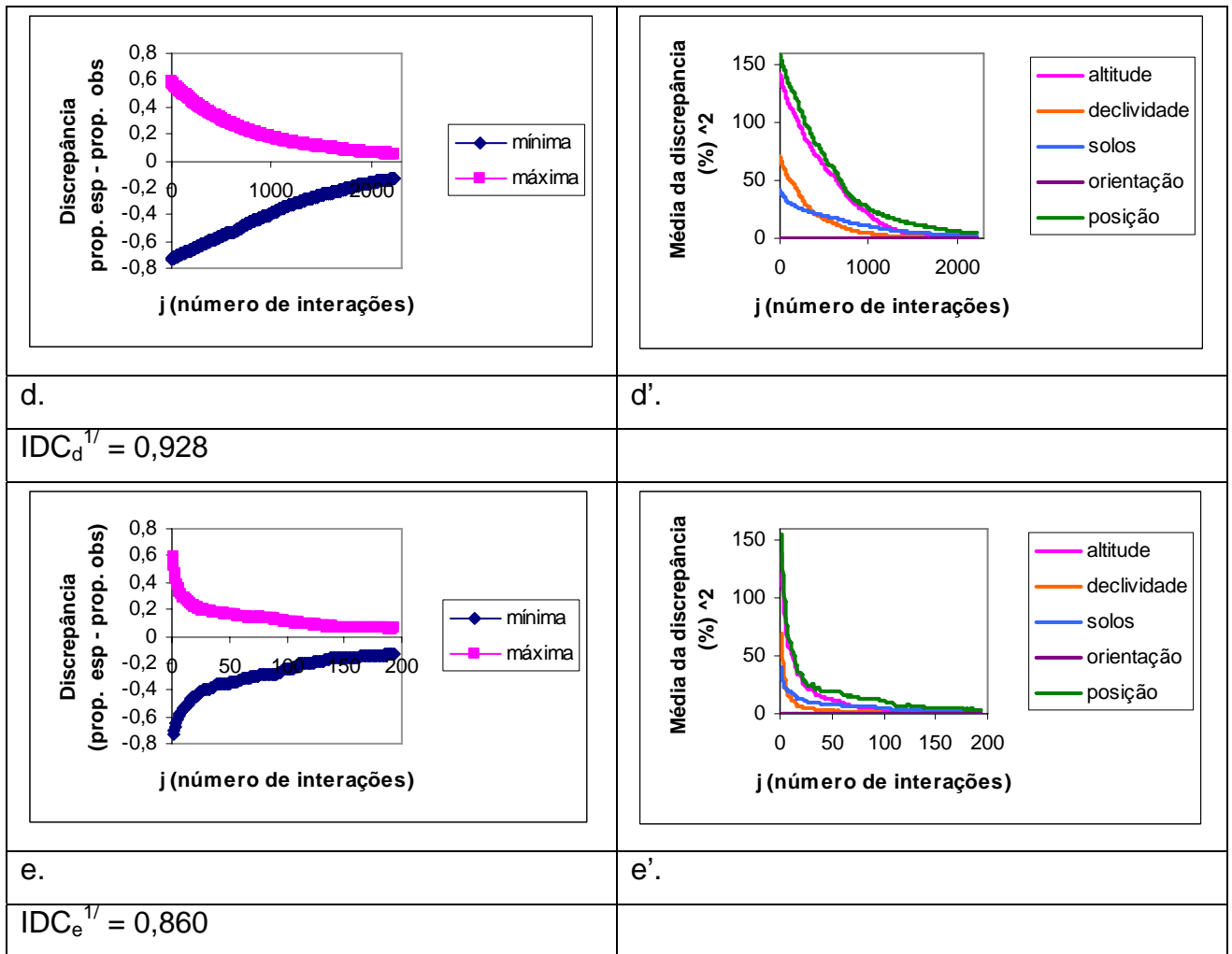
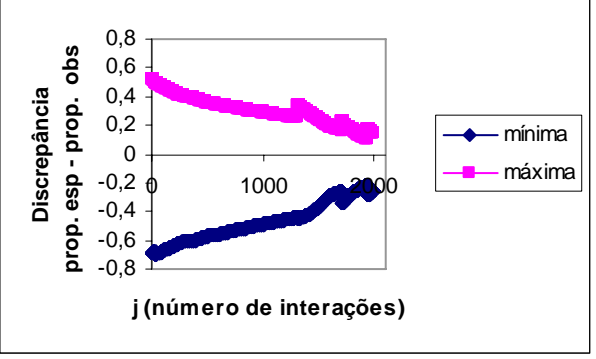
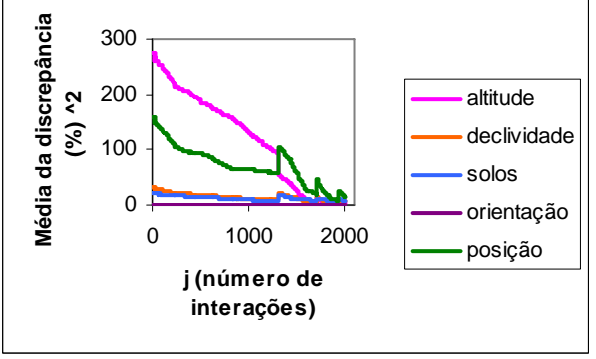
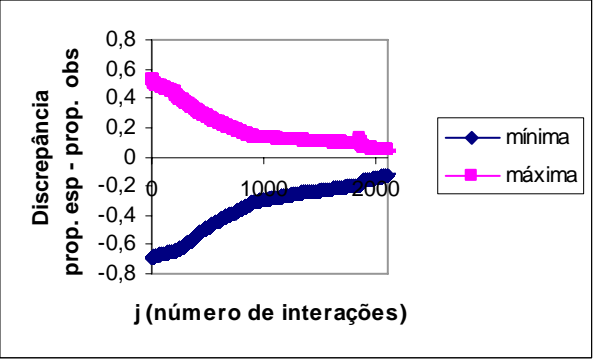
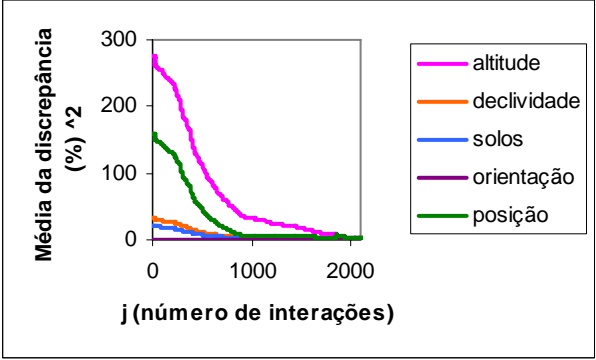
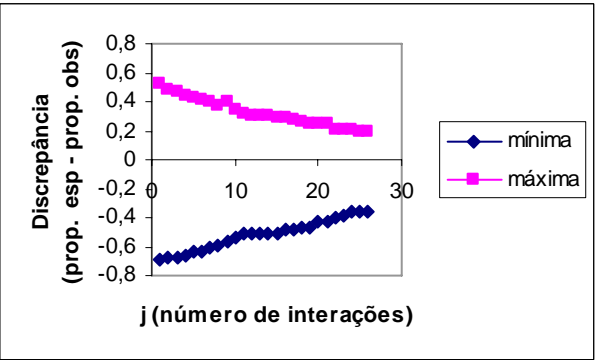
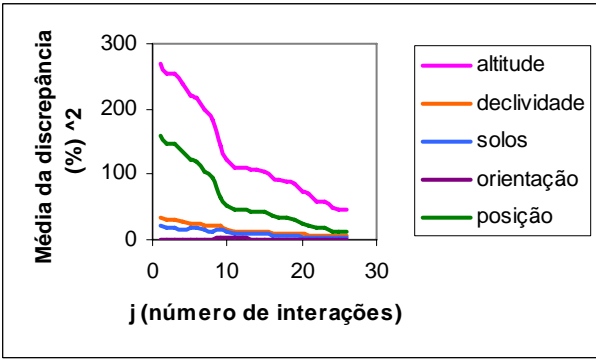


Figura 3. Gráficos de discrepância mínima e máxima (a, b, c, d, e) e de cada característica avaliada (a', b', c', d', e') dos cenários gerados para o projeto Marola: a e a'. 33% de floresta nativa com restrição de borda; b e b'. 40% de floresta nativa com restrição de borda; c, c'. 40% de floresta nativa sem restrição de borda; d e d'. 60% de floresta nativa com restrição de borda; e, e'. 60% de floresta nativa sem restrição de borda. ^{1/} Índice de Diversidade Categórico para cada cenário (IC original = 0,817).

 <p>Discrepância prop. esp - prop. obs</p> <p>j (número de interações)</p> <p>◆ mínima ■ máxima</p>	 <p>Média da discrepância (%) ^2</p> <p>j (número de interações)</p> <p>— altitude — declividade — solos — orientação — posição</p>
<p>a.</p>	<p>a'.</p>
<p>$IDC_a^{1/} = 0,745$</p>	
 <p>Discrepância prop. esp - prop. obs</p> <p>j (número de interações)</p> <p>◆ mínima ■ máxima</p>	 <p>Média da discrepância (%) ^2</p> <p>j (número de interações)</p> <p>— altitude — declividade — solos — orientação — posição</p>
<p>b.</p>	<p>b'.</p>
<p>$IDC_b^{1/} = 0,792$</p>	
 <p>Discrepância (prop. esp - prop. obs)</p> <p>j (número de interações)</p> <p>◆ mínima ■ máxima</p>	 <p>Média da discrepância (%) ^2</p> <p>j (número de interações)</p> <p>— altitude — declividade — solos — orientação — posição</p>
<p>c.</p>	<p>c'.</p>
<p>$IDC_c^{1/} = 0,745$</p>	

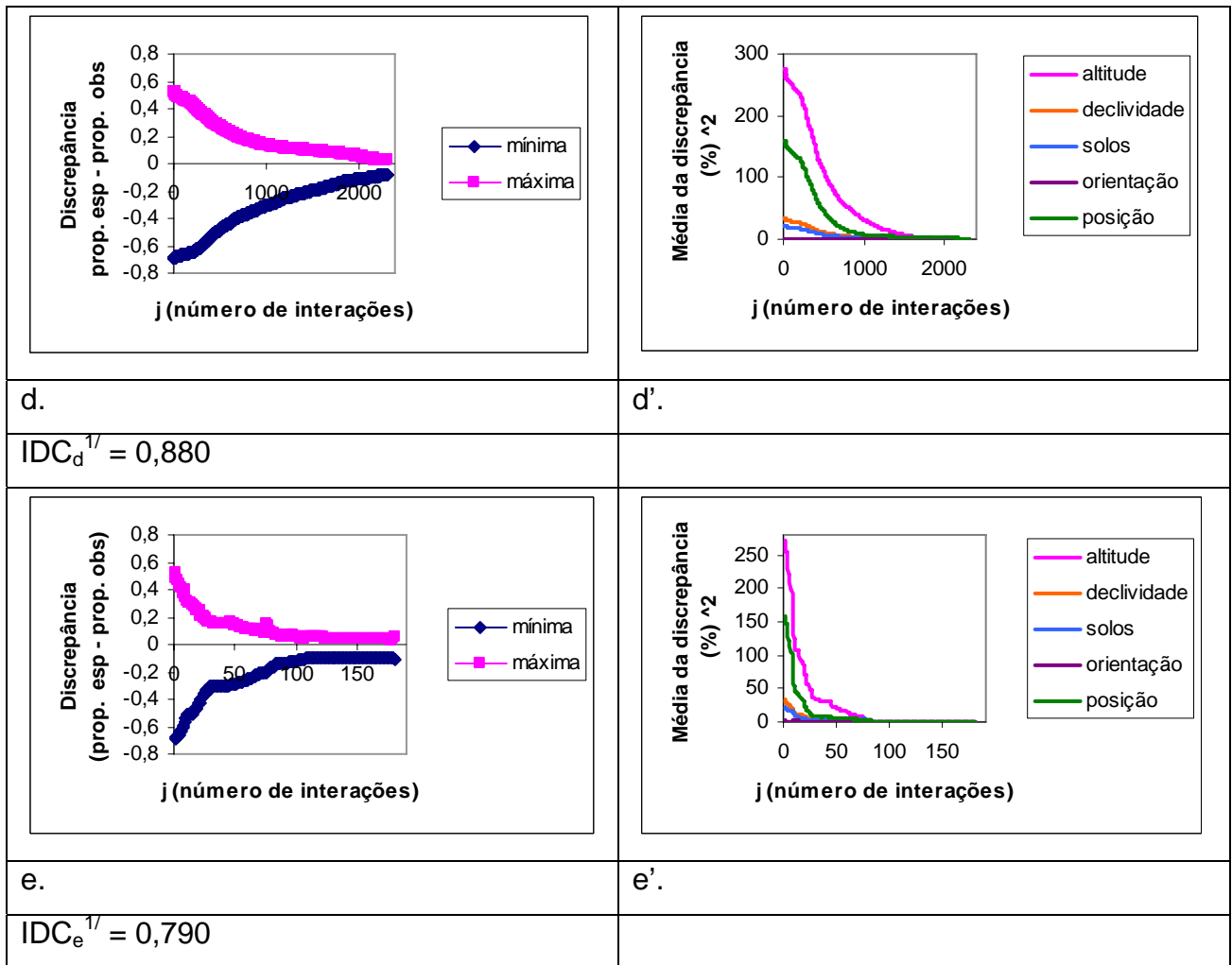


Figura 4. Gráficos de discrepância mínima e máxima (a, b, c, d, e) e de cada característica avaliada (a', b', c', d', e') dos cenários gerados para o projeto Sabinópolis: a e a'. 29% de floresta nativa com restrição de borda; b e b'. 40% de floresta nativa com restrição de borda; c, c'. 40% de floresta nativa sem restrição de borda; d e d'. 60% de floresta nativa com restrição de borda; e, e'. 60% de floresta nativa sem restrição de borda. ^{1/} Índice de Diversidade Categórico para cada cenário (IC original = 0,738).

Comportamento dos índices de fragmentação nos diferentes cenários

A proporção de área da classe de floresta nativa (CA) para cada projeto pode apresentar variação de até 0,01, conforme especificado na linha de comando do algoritmo para geração dos cenários. Por terem sido calculados para os cenários produzidos após a filtragem para eliminação de agrupamentos de célula de mesma classe de uso de tamanho inferior a 1 ha e suavização de bordas, este índice apresentou variações superiores àquela proposta, o que pode ser notado ao se dividir o índice CA de alguns projetos (Tabelas 5, 6 e 7) pela área total destes (TA) (Tabela 4). Para o projeto Florália tal variação praticamente não ocorreu, mas no cenário de 60% sem restrição de borda para o projeto Jatobá (Tabela 6), a área de nativas, que deveria representar 60% da área, passou a representar 69%, devido à eventual expansão das áreas de reservas pelo processo de expansão e retração de bordas e pela eliminação de áreas de eucalipto inferiores a 1 ha. Aliás, com exceção do projeto Florália, todos os cenários de 60% sem restrição de borda excederam a proporção delimitada pelo algoritmo pela aplicação do filtro, ao passo que para os cenários de 40% de nativas sem restrição de borda e com manutenção de mesma área de nativas, com manejo restrito à borda, a filtragem promoveu a diminuição da proporção requerida. Uma alternativa para este problema pode ser a inclusão da filtragem no próprio algoritmo para ao mesmo tempo em que diminuir a discrepância manter a proporção de área desejada.

Para facilitar o entendimento dos índices de paisagem, os cenários gerados encontram-se apresentados nas Figuras 5 a 22. Nas legendas dos cenários, as propostas 'RL' (Reservas Legais), em amarelo, dizem respeito às áreas originalmente de eucaliptais, mas que o algoritmo propôs que sejam convertidas para RL, já as propostas 'Eucalipto', em vermelho, são áreas originalmente sob RL que o algoritmo propõe que sejam convertidas para eucalipto.

Observa-se que, no projeto Florália (Tabela 5), o cenário com mesma proporção de borda promoveu ligeira piora de alguns índices, à exceção do índice de forma (SHAPE_MN), que por ser um valor médio, dependendo do número de fragmentos (NP), melhorou em função do aumento do NP. O índice de conectividade também é dependente do número de fragmentos, tendo diminuído por causa do aumento de unidades. A menor área central (TCA)

observada neste cenário indica que, na realidade, ele apresenta formas de fragmentos mais irregulares. Como sua área total de nativas (CA) também é um pouco inferior, decorrente da filtragem e do intervalo permitido pelo algoritmo, mesmo procedendo-se à estimativa da área central que ele deveria ter para se equiparar ao cenário original, que seria de 191,6 ha, ele apresentaria um valor deste índice inferior.

Com relação à comparação entre os cenários de 60% de nativas, nota-se que aqueles com restrição de borda apresentam melhores índices de paisagem. Os pontos mais relevantes entre estes cenários são o aumento do número de fragmentos (NP) e a diminuição da área central total (TCA) no cenário sem restrição de borda.

Tabela 4. Índice de área ao nível de paisagem para cada projeto

Índices	Florália	Jatobá I	Marola	Sabinópolis
Paisagem				
TA (ha)^{1/}	1192,7	1180,2	1243,9	1293,0

^{1/} Área total da paisagem.

Tabela 5. Índices de área, densidade, forma, área central e conectividade ao nível de classe de floresta nativa para caracterização da fragmentação florestal nos diferentes cenários gerados para o projeto Florália

Índices	51%^{1/}	51%^{2/}	60%^{2/}	60%^{3/}
CA (ha)^{4/}	616,4	602,0	711,1	716,7
NP (n)^{5/}	3,0	5,0	5,0	10,0
SHAPE_MN^{6/}	3,7	3,1	2,9	2,5
SHAPE_CV (%)^{7/}	79,1	78,8	67,9	70,9
TCA (ha)^{8/}	196,2	177,5	239,3	220,1
CONNECT (%)^{9/}	66,7	30,0	30,0	22,2

Cenários: ^{1/} Original; ^{2/} Com restrição de borda; ^{3/} Sem restrição de borda; Índices: ^{4/} Área total da classe; ^{5/} Número de unidades; ^{6/} Média do índice de forma; ^{7/} Coeficiente de variação do índice de forma; ^{8/} Área central total; ^{9/} Índice de conectividade considerando a distância limiar de 100 m.

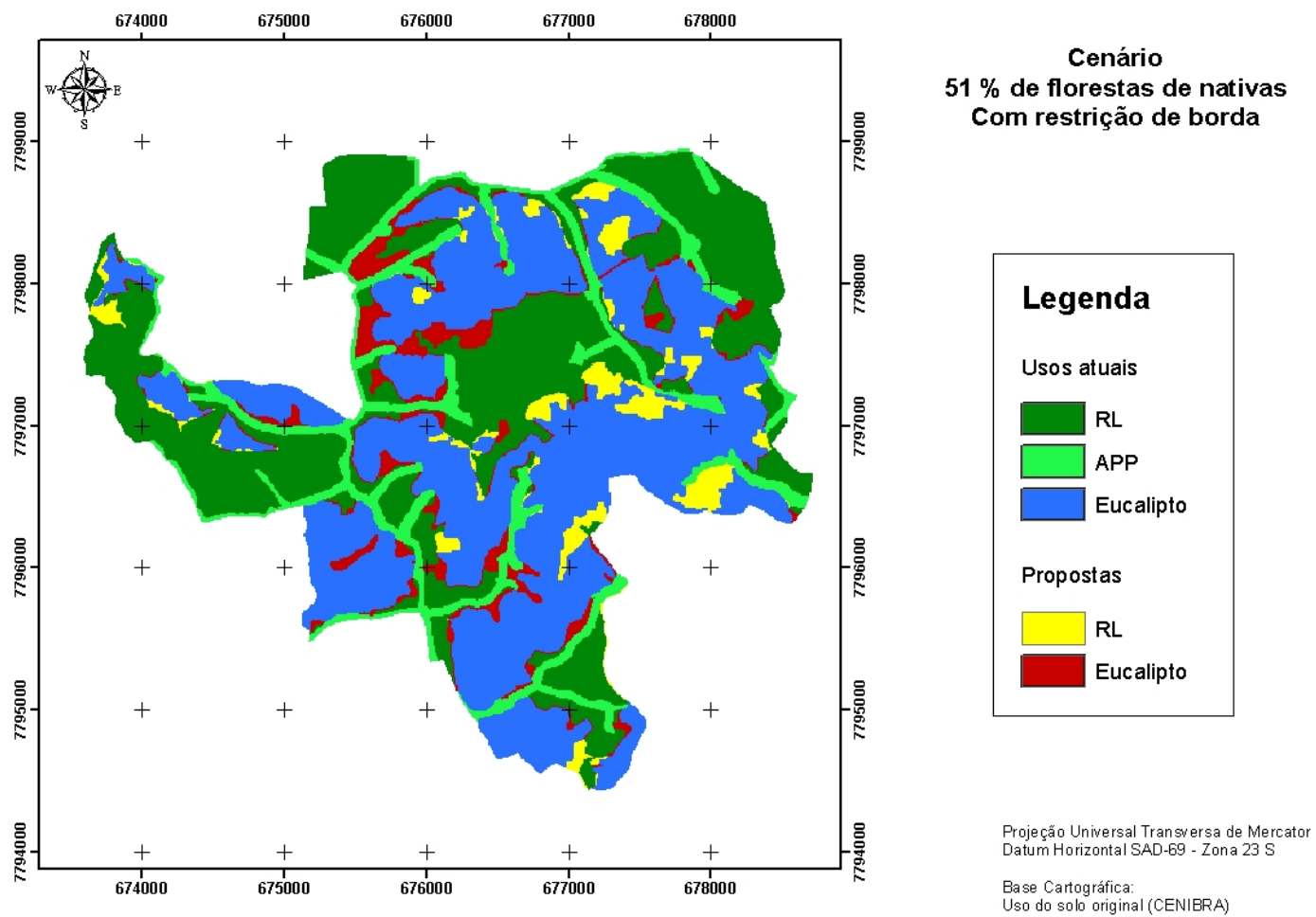


Figura 5. Cenário proposto para o projeto Florália mantendo a mesma área de florestas nativas (51%) e utilizando-se a opção de manejo restrito à borda.

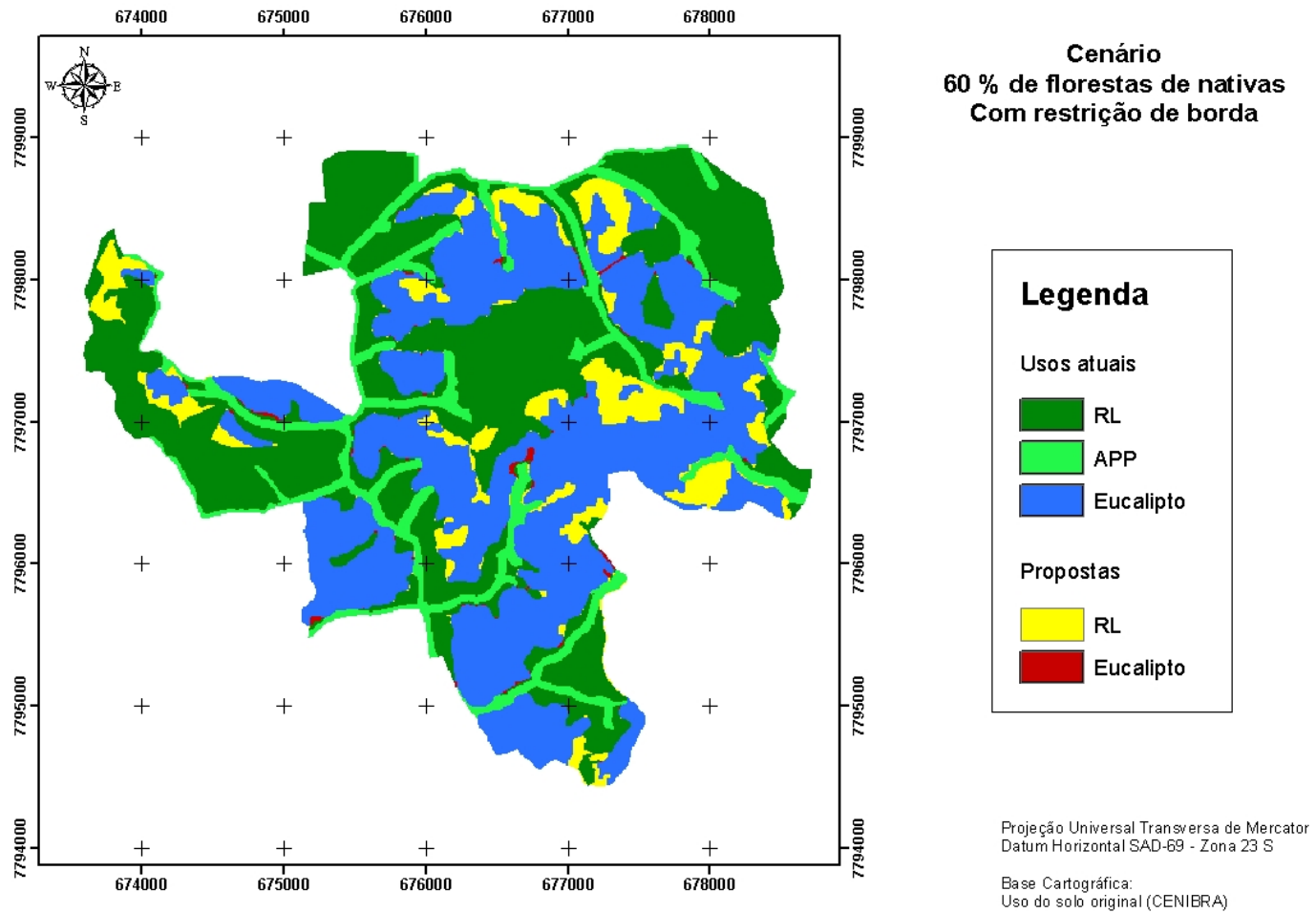


Figura 6. Cenário proposto para o projeto Florália com 60% de florestas nativas e utilizando-se a opção de manejo restrito à borda.

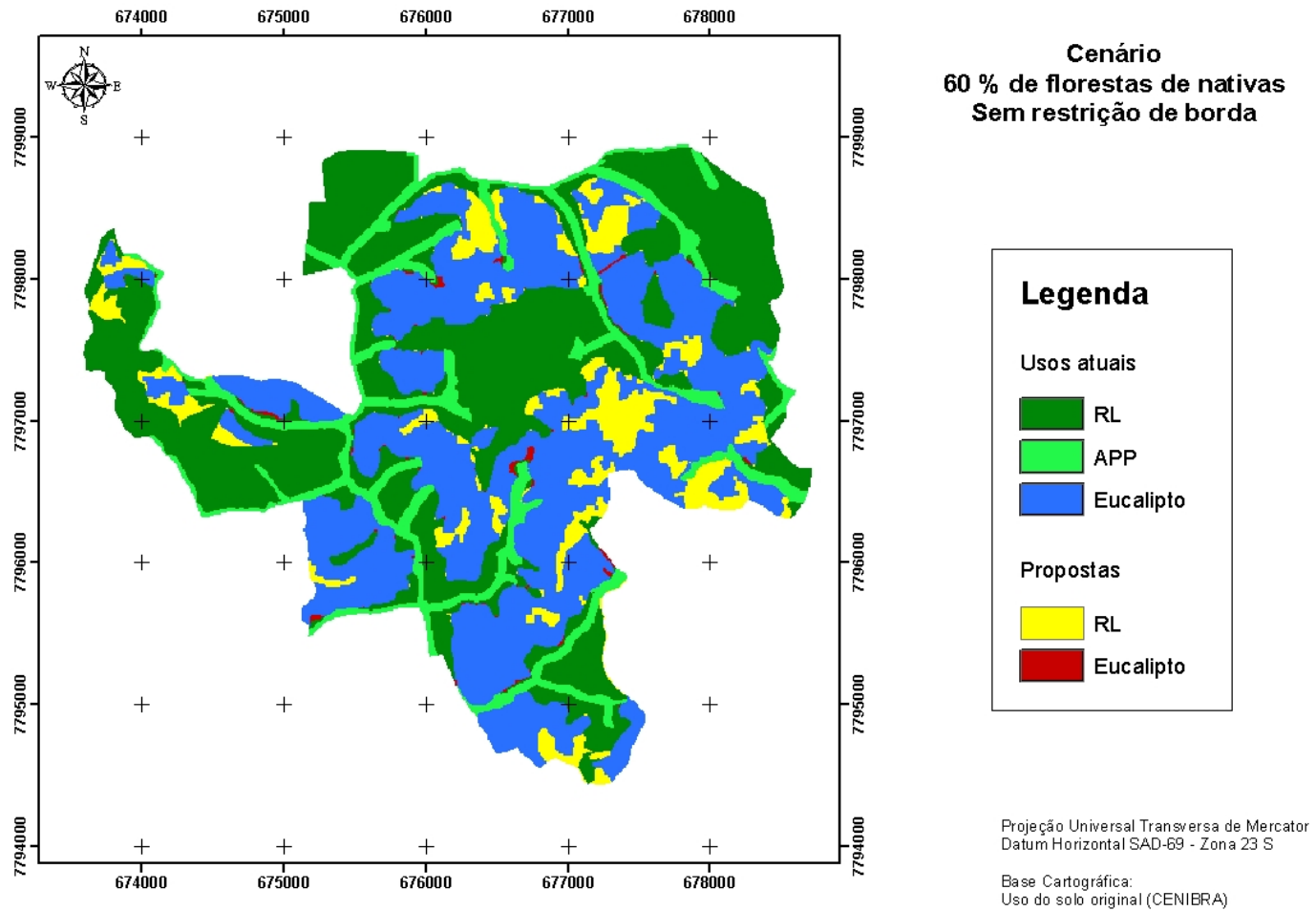


Figura 7. Cenário proposto para o projeto Florália com 60% de florestas nativas e utilizando-se a opção de manejo sem restrição de borda.

No projeto Jatobá I (Tabela 6), os cenários com manutenção de mesma área de nativas e 40% destas sem restrição de borda apresentam maior número de fragmentos que o cenário original, refletindo na melhoria dos seus índices de forma com relação aos demais. No cenário de 60% sem restrição de borda, o baixo número de fragmentos (NP=2) e a alta conectividade, que a princípio indicam melhorias na paisagem, mascaram a baixa área central presente nesta paisagem em relação ao cenário de mesma proporção de mata porém com restrição de borda, que é inferior em aproximadamente 50% de área central total. Isto demonstra que os únicos 2 fragmentos deste cenário apresentam-se alongados e com borda bastante irregular, o que pode ser confirmado pela Figura 12. O cenário de 40% sem restrição de borda também apresenta área central inferior àquela do cenário de mesma proporção de nativas com restrição de borda, mesmo depois deste índice ser corrigido em função da sua menor área total de nativas.

Tabela 6. Índices de área, densidade, forma, área central e conectividade ao nível de classe de floresta nativa para caracterização da fragmentação florestal nos diferentes cenários gerados para o projeto Jatobá I

Índices	23% ^{1/}	23% ^{2/}	40% ^{2/}	40% ^{3/}	60% ^{2/}	60% ^{3/}
CA (ha) ^{4/}	276,8	258,3	475,1	381,6	729,5	810,5
NP (n) ^{5/}	16,0	21,0	9,0	32,0	3,0	2,0
SHAPE_MN ^{6/}	2,7	2,6	2,9	2,2	3,7	7,5
SHAPE_CV (%) ^{7/}	51,3	55,3	71,2	55,6	60,3	48,1
TCA (ha) ^{8/}	12,4	4,0	74,4	15,3	253,8	127,6
CONNECT (%) ^{9/}	9,2	6,7	16,7	5,4	33,3	100,0

Cenários: ^{1/} Original; ^{2/} Com restrição de borda; ^{3/} Sem restrição de borda; Índices: ^{4/} Área total da classe; ^{5/} Número de unidades; ^{6/} Média do índice de forma; ^{7/} Coeficiente de variação do índice de forma; ^{8/} Área central total; ^{9/} Índice de conectividade considerando a distância limiar de 100 m.

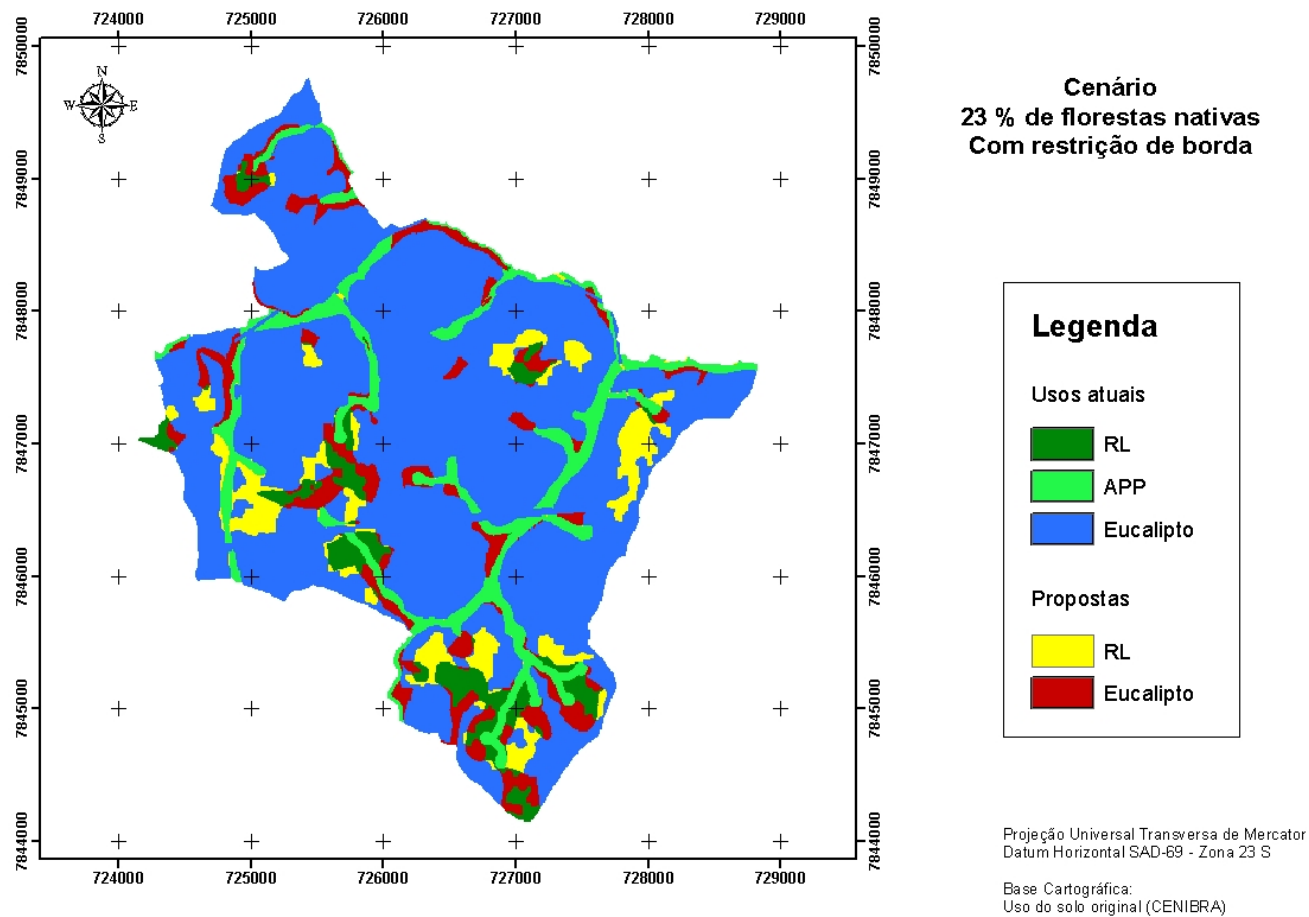


Figura 8. Cenário proposto para o projeto Jatobá I mantendo a mesma área de florestas nativas (23%) e utilizando-se a opção de manejo restrito à borda.