

DISTRIBUIÇÃO DE MANCHAS DE GRAMÍNEA EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA ATLÂNTICA URBANA MONTANHOSA – MACIÇO DA TIJUCA, RJ

Maria Accioly Dias¹, Ana Luiza Coelho Netto²

RESUMO

Nas últimas décadas, frente à dificuldade de conservação dos remanescentes florestais, a dinâmica de bordas surgiu como tema de grande relevância na Geoecologia. Um importante mas ainda pouco investigado fator de influência na dinâmica florestal em áreas montanhosas é a topografia. O objetivo deste estudo foi analisar a distribuição espacial das manchas de gramínea em uma floresta urbana montanhosa, investigando potenciais influências da topografia, em especial a posição topográfica. Foi feito um mapeamento de uso e cobertura do solo com base em ortofotos aéreas, e, com o auxílio de um Modelo Digital de Elevação, foram realizadas diversas análises espaciais – mensurações de área em superfície real, posição topográfica, orientação de encostas e radiação incidente. As áreas de gramíneas e de vegetação arbóreo-arbustiva apresentaram um claro padrão de distribuição espacial, concentrando-se nas encostas voltadas para o norte e em divisores e altas encostas, e quase nunca em baixas encostas ou fundos de vale. Esta tendência era bastante esperada e foi atribuída à convergência dos fluxos de água e nutrientes dos divisores para os fundos de vale, onde os pacotes de solos coluviais mais espessos, estáveis e ricos em matéria orgânica potencialmente facilitam o estabelecimento, a permanência e a regeneração da vegetação florestal.

Palavras-Chave: dinâmica de bordas floresta-gramínea, posição topográfica, regeneração florestal.

ABSTRACT

In the last few decades, due to the difficulty in conservation of forest remnants, forest edge dynamics became an issue of considerable relevance in Geoecology. One important but seldom studied factor of influence on forest dynamics in mountainous areas is topography. The purpose of this study is to analyze the spatial distribution of grass areas in a mountainous urban forest, evaluating the potential influence of topography, especially topographic position. We elaborated a land cover and use map based on aerial orthophotos. Then, with the support of a Digital Elevation Model, we generated a series of spatial analyses – measurements of real surface area, topographic position, slope orientation and incident radiation. Grass and shrub-trees vegetation areas presented a conspicuous distribution pattern, concentrating at north slopes and at ridges and upper slopes, and rarely at lower slopes and valley bottoms. This trend was quite expected and has been attributed to the convergence of water and nutrient fluxes from the slope divides towards the valley bottoms, where relatively thicker, stable and organic richer colluvial soils potentially favor forest establishment, persistence and regeneration.

Key Words: forest-grass edges dynamics, topographic position, forest regeneration.

¹ Bolsista da CAPES – mestranda do GEOHECO, UFRJ; E-mail: m.accioly.dias@gmail.com

² Professora titular do Departamento de Geografia, UFRJ; Laboratório de Geo-hidroecologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro

INTRODUÇÃO

A acelerada expansão das áreas urbanas e agrícolas vem gerando intensas mudanças nas paisagens, acarretando retração e fragmentação dos ecossistemas naturais. Frente à dificuldade de conservação dos remanescentes florestais, tornou-se evidente a importância do entendimento dos padrões e processos relacionados à sua degradação e expansão, e neste contexto a dinâmica de bordas florestais surgiu como tema de grande relevância dentro da Geoecologia. Pode-se entender que tal dinâmica resulta de dois processos antagônicos: o efeito de borda, que tende a causar a regressão da floresta, e a regeneração, que tende a causar seu avanço sobre o ecossistema vizinho. No entanto, estes processos são bastante complexos, podendo ser modulados por muitas variáveis, e, desta forma, os controles que determinam qual dos dois vai predominar não são, ainda, suficientemente claros.

Nas últimas décadas, um número crescente de estudos vêm investigando o tema, buscando compreender a influência potencial de diversos fatores na dinâmica de bordas florestais, com ênfase em aspectos como o tipo de matriz, a orientação e a idade da borda (Murcia, 1995). De fato, o tipo de matriz pode ser considerado como um dos fatores primários na determinação da dinâmica de uma borda florestal. Em florestas urbanas, por exemplo, a pressão antrópica costuma levar à abertura de trilhas, estradas, áreas para pastagens, cultivos ou extração de madeira, gerando um complexo mosaico de usos do solo. As consequências de cada tipo de vizinhança com as áreas florestais podem ser, no entanto, bastante diversas. Se, por um lado, a vizinhança urbana favorece a criação de trilhas, o pisoteamento e o lançamento de lixo (Figueiró, 2005), as áreas de gramíneas são grandes potencializadoras de incêndios (Zaú, 1998; Freitas, 2001). Um estudo no maciço da Tijuca-RJ evidenciou que 45% das ocorrências de incêndio entre 1997 e 2002 foram detonadas em áreas de gramíneas, contra apenas 16% em áreas de floresta conservada. Do total de ocorrência em gramíneas, 78,3% tinham área adjacente de uso urbano – o que indica ser esta uma interface extremamente vulnerável (Figueiró, 2005).

Em áreas montanhosas, um importante fator de influência na dinâmica florestal é a topografia, que inclui aspectos como elevação, orientação (aspecto), inclinação e geometria de encostas e posição topográfica. Tais variáveis ganham relevância especial no contexto da Mata Atlântica, que é formada em boa parte por florestas montanas e sub-montanas. Neste domínio, é muito comum que os fragmentos remanescentes se encontrem ilhados em áreas montanhosas, onde a ocupação humana é mais difícil e onde as nascentes dos cursos d'água são protegidas por algumas leis. Segundo Robert e Moravie (2003), variações na topografia (ângulo de inclinação, orientação da encosta e elevação) parecem ser um dos maiores fatores

geradores de heterogeneidade estrutural na floresta. Tal heterogeneidade implica diversas particularidades em seu funcionamento, podendo ajudar a determinar, portanto, a velocidade e magnitude tanto do efeito de borda quanto da regeneração florestal.

Apesar de sua já reconhecida importância, a topografia, nesse contexto da dinâmica de bordas, é ainda relativamente pouco investigada. Nas últimas duas décadas, porém, o número de estudos vem aumentando, buscando relacionar as diferenças topográficas (especialmente de orientação e inclinação de encostas) a fatores como estrutura da vegetação (Clark e Clark, 2000; Robert e Moravie, 2003), composição florística (Slik e Eicchorn, 2003; Zeleny e Chytry, 2007), parâmetros de solo (Fox, Maselli e Carrega, 2008; Wang *et al.*, 2009; Zueng-Sang Chen *et al.*, 1997), crescimento, mortalidade e recrutamento de plântulas e juvenis (Bellingham e Tanner, 2000; Herwitz e Young, 1994; Comita *et al.*, 2009; Li, Feng-Rui *et al.*, 2009), suscetibilidade a formação de clareiras no dossel (Ashton *et al.* 2001; Gale, 2000; Lima e Moura, 2008), formação de húmus (Descheemaeker *et al.*, 2009), padrões de distúrbio, sucessão e taxas de desenvolvimento local da vegetação (Hadley, 1994), e regeneração florestal (Marangon *et al.*, 2008; Yamagawa *et al.*, 2006). Dentre os diferentes aspectos da topografia, a posição topográfica é o que até hoje parece ter recebido menor atenção.

A interação entre fatores topográficos e o tipo de cobertura vegetal pode determinar fortemente certos fenômenos e processos florestais. É sabido, por exemplo, que uma cobertura de gramíneas em áreas inclinadas favorece a ocorrência de deslizamentos de massa. De acordo com Oliveira *et al.* (1996), dentre as clareiras geradas por eventos extremos de chuva em 1996 no Maciço da Tijuca, a grande maioria (entre as maiores que 500m²) ocorreu em áreas dominadas por floresta degradada (42%) e gramíneas / arbustos (43%), enquanto apenas 12% ocorreu em áreas de floresta preservada. As consequências desses deslizamentos podem ser bastante graves, pois o aumento dos fluxos de sedimentos causa assoreamento dos canais e enchentes nas baixadas, levando a mortes e espraiamento de doenças. As cicatrizes que restam após os deslizamentos acabam também gerando efeitos de borda na vegetação do entorno que podem ser bem intensos, degradando-a até muitos anos depois, como sugeriram os resultados de Montezuma (2005) e Negreiros (2006). Configura-se, assim, um ciclo de retro-alimentação, em que os deslizamentos degradam a vegetação por efeito de borda, favorecendo a ocorrência de novos deslizamentos.

Frente ao exposto, fica claro que a presença da vegetação de gramíneas, aliada às variações topográficas, pode, portanto, gerar grandes dificuldades tanto à preservação quanto à regeneração florestal, e, desta forma, torna-se fundamental entender seus padrões de

estabelecimento e permanência, visando a gerar subsídios para futuros programas de proteção florestal e recuperação de áreas degradadas. O presente estudo objetivou, assim, analisar a distribuição espacial das manchas de gramíneas em uma floresta urbana montanhosa, investigando potenciais influências da topografia nesta distribuição.

METODOLOGIA

Área de estudo - O maciço da Tijuca (Rio de Janeiro, Brasil) é um relevo montanhoso costeiro, com substrato rochoso de idade pré-cambriana, localizado na porção leste da cidade do Rio de Janeiro, entre os paralelos 22° 55' e 23° 00 S e os meridianos 43° 20 e 43° 10 W. Estende-se por aproximadamente 12.000ha em área planimétrica, sendo que este número sobe para quase 14.000ha em superfície real, com altitudes variando de 40m (cota considerada para individualização do maciço) e 1.021m (Pico da Tijuca). Sua litologia é composta principalmente por gnaisses facoidais, biotita-gnaisses, kinzigitos, ortognaisses (gnaisse Archer) e granitos (granito Favela) (Pires e Heilbron, 1989). Esta formação montanhosa é drenada por bacias hidrográficas que desaguam nos reservatórios da baía da Guanabara, nas lagoas costeiras ou diretamente no oceano Atlântico, formando três subsistemas hidrográficos. A região possui clima tropical de altitude (Cf, Koppen), pluviosidade média anual entre 2.000 e 2.500mm (podendo variar de 1.300 a +3.000mm anuais, segundo dados da estação Capela Mayrink), com eventos mais extremos de chuva no verão. As temperaturas variam entre 19° C em junho (média mínima) e 25° C em fevereiro (média máxima), com média anual de 22° C. A maior parte da cobertura do maciço é de floresta montanhosa, mas atualmente existem muitos outros usos do solo, podendo-se destacar as áreas de gramíneas e de ocupação humana, seja formal ou informal (favelas). Hoje, aproximadamente 1/3 da área do maciço é protegida pelo Parque Nacional da Tijuca (Fig. 1).

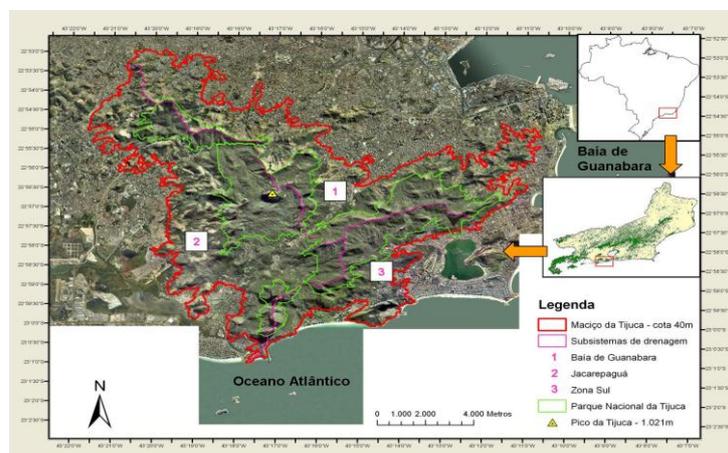


Figura 1: Mapa de localização do maciço da Tijuca na cidade do Rio de Janeiro.

Mapeamentos e análises - Foi realizado um mapeamento de uso e cobertura do solo com base em ortofotos aéreas 1:10.000 tiradas em 2004, através de foto-interpretação e utilizando-se do software ArcGis 9.2. As classes de uso foram definidas *a posteriori*, de acordo com o que pôde ser observado nas ortofotos e servindo aos interesses da presente pesquisa. A partir do mapeamento e com o auxílio de um Modelo Digital de Elevação (de resolução 1:10.000), foram realizadas diversas análises espaciais – mensurações de área em superfície real, orientação de encostas, radiação incidente (através de ferramentas básicas do ArcGis 9.2) e posição topográfica. Para a classificação das áreas de “Ocupação informal” (favelas), foram utilizadas como auxiliares as cartas da prefeitura do Rio de Janeiro 1:10.000 (Instituto Pereira Passos) confeccionadas a partir de sobrevôo de 1999. A classificação da posição topográfica foi feita utilizando-se o TPI – Topographical Position Index (Jenness, 2006), uma extensão para o software ArcView. O mapeamento obtido constitui uma combinação das classes geradas a partir da ferramenta básica “*generate slope position classification*” com os diâmetros de 200 e 700m, “*on the fly*”, além da ferramenta “*generate landform classification*” com os mesmos parâmetros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uso e cobertura do solo - O mapeamento da cobertura vegetal e do uso do solo de 2004 resultou na criação de 12 classes distintas, a saber: “Floresta”, “Floresta alterada” (com sinais de degradação), “Vegetação arbóreo-arbustiva”, “Vegetação arbóreo-arbustiva alterada”, “Vegetação arbóreo-arbustiva fogo” (com sinais de incêndio recente), “Gramínea”, “Gramínea fogo”, “Cultivo”, “Solo exposto”, “Rocha”, “Ocupação formal” e “Ocupação informal” (favelas) (Fig. 2). Na área do Parque Nacional, como esperado, a cobertura florestal apresenta-se bastante preservada. Já nas áreas externas ao parque, verifica-se uma grande heterogeneidade na distribuição das classes de uso no maciço: enquanto as vertentes norte e oeste abrigam um complexo mosaico de usos do solo, as vertentes sul e leste permanecem, em grande parte, cobertas por floresta. Isto pode ser atribuído a uma ocupação humana mais antiga, especialmente na vertente norte, mas também à inclinação menos acentuada das encostas nas vertentes norte e oeste, o que ainda facilita a expansão da ocupação nos dias atuais. As vertentes sul e leste, por outro lado, possuem encostas mais íngremes, de mais difícil acesso. Além disso, a proximidade dessas vertentes em relação ao mar leva a um aumento da especulação imobiliária, favorecendo a ocupação formal, que, de forma geral, causa menos alterações na floresta, pois não costuma originar trilhas, desmatamentos ou incêndios para fins agropecuários.

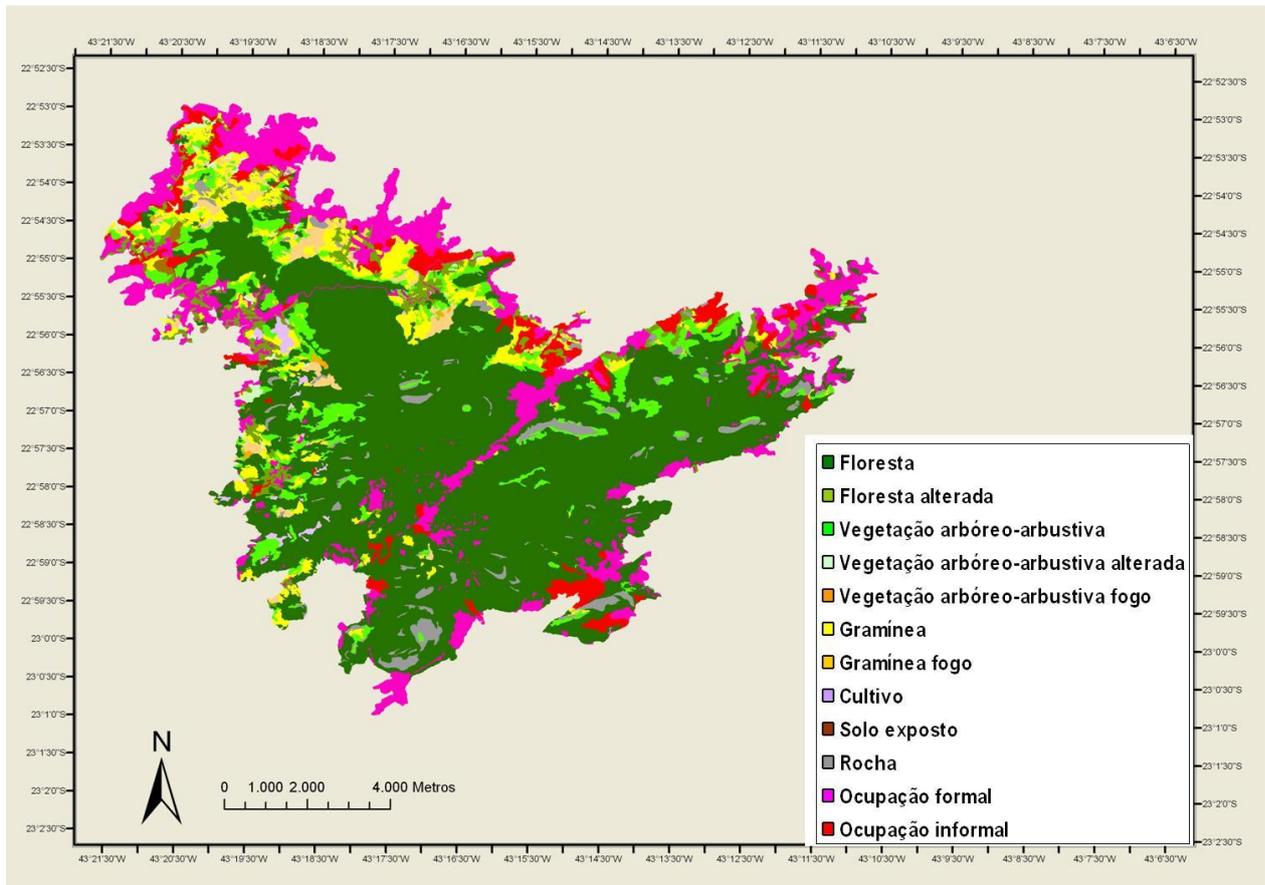


Figura 2: Mapa de classificação de uso e cobertura do maciço da Tijuca em 2004.

A distribuição dos tipos de uso evidenciou que, depois da classe “Floresta”, há uma predominância das classes “Ocupação formal”, “Vegetação arbóreo-arbustiva” (VAA), “Gramínea” e “Ocupação informal” (Tab. 1). Chama a atenção o fato de que a ocupação urbana formal, embora seja em geral menos densa e acarrete, presumidamente, menor degradação florestal, é quase três vezes maior que a área da ocupação urbana informal. Em estudo anterior, mapeamentos realizados por Geoheco-SMAC (2000) apontaram para um preocupante crescimento da classe “Ocupação de alta densidade” entre 1972 e 1996. O referido estudo mostrou que tal classe era a principal a substituir a cobertura florestal, mas é importante notar, entretanto, que ela não corresponde diretamente às favelas, usualmente consideradas as maiores responsáveis pela retração florestal no maciço da Tijuca. Assim, embora a expansão de favelas se constitua, sem dúvida, como uma questão importante e que necessita controle, o efeito da expansão de áreas de urbanização formal também não pode ser menosprezado.

Tabela 1: Distribuição da área das classes de uso do solo no maciço da Tijuca em 2004.

Uso / cobertura	Área - superfície real (ha)	Área (%)
Floresta	7875,96	56,66
Ocupação formal	1952,27	14,05
Vegetação arbóreo-arbustiva	1019,23	7,33
Gramínea	842,74	6,06
Ocupação informal	727,00	5,23
Rocha	589,25	4,24
Floresta alterada	445,73	3,21
Gramínea fogo	233,80	1,68
Vegetação arbóreo-arbustiva alterada	86,09	0,62
Cultivo	71,47	0,51
Solo exposto	33,54	0,24
Vegetação arbóreo-arbustiva fogo	22,46	0,16

Distribuição espacial - As áreas de gramíneas e de vegetação arbóreo-arbustiva apresentaram um claro padrão de distribuição espacial, concentrando-se nas encostas voltadas para o norte – o que foi ainda mais exacerbado para a vegetação que havia sofrido incêndios recentemente (Tab. 2). Este resultado é bastante esperado, pois, no hemisfério sul, as encostas norte recebem maior incidência de radiação solar, o que acarreta diferenças de umidade no (micro) clima da floresta e, conseqüentemente, afeta os processos geo-hidroecológicos e a suscetibilidade a incêndios. De fato, Oliveira *et al.* (1995) já haviam demonstrado que, no maciço da Tijuca, encostas voltadas para o norte possuem temperatura máxima em média 3,6°C maior e serapilheira com umidade 42% menor que encostas voltadas para o sul.

Estudos em locais diversos já mostraram relações significativas entre o aspecto e certas variáveis ecossistêmicas: Bellingham e Tanner (2000), na Jamaica, encontraram uma mortalidade de árvores maior em encostas voltadas para o norte, embora o crescimento e o recrutamento não tivessem diferido nem de acordo com a orientação da encosta nem com a posição topográfica; Fox, Maselli e Carrega (2008) obtiveram que as encostas voltadas para o norte, na França (no hemisfério norte o padrão é inverso), tinham solos mais férteis e mais profundos, favorecendo maior crescimento da vegetação do que as encostas voltadas para o sul e as convexidades em topos de encostas; Já Zeleny e Chytry (2007) concluíram que o aspecto teve forte efeito na vegetação localizada na média-encosta, mas não nos fundos de vale, o que evidenciou um efeito significativo da posição topográfica; Hadley (1994)

ênfatiou que o aspecto e o relevo são importantes fatores a determinar os padrões espaciais e temporais de distúrbio, sucessão e taxas de desenvolvimento local. Os resultados do autor evidenciaram que encostas voltadas para o norte (Colorado, EUA) experienciaram mais rápido desenvolvimento pós-fogo e maior suscetibilidade a danos por insetos, o que foi atribuído a mais altas densidades de árvores “hospedeiras”, maior tamanho médio das árvores e distribuição mais uniforme das árvores em áreas contíguas.

Tabela 2: Distribuição das áreas de gramínea e vegetação arbóreo-arbustiva de acordo com a orientação da encosta

Uso	Área (%)	
	Encostas norte	Encostas sul
Gramínea (total)	78,38	21,62
Gramínea com fogo	85,84	14,16
Vegetação arbóreo-arbustiva (total)	67,11	32,89
Vegetação arbóreo-arbustiva com fogo	78,74	21,26

A análise de incidência de radiação solar confirmou a concentração das áreas de gramínea e de VAA nas encostas que recebem alta radiação (a grande maioria voltada para o norte), e evidenciou também uma significativa variabilidade sazonal (Tab. 3): no inverno a área total de gramínea que recebe alta radiação é 15,6% maior do que no verão, sendo que, se considerarmos somente aquelas manchas localizadas em encostas norte (onde predominam), o aumento é de 29% (72,97% no verão e 94,12% no inverno). Este grande percentual de áreas de gramínea recebendo alta radiação solar indica um alto risco de incêndios, especialmente no inverno, já que esta é, naturalmente, a época menos úmida, além de ser a época em que se soltam balões na cidade do Rio de Janeiro. Embora os dados de incidência de radiação no presente estudo forneçam, por enquanto, apenas valores relativos, ainda assim dão uma boa idéia comparativa da influência da orientação de encostas na dinâmica florestal, podendo até ser mais acurados do que os simples dados de aspecto, que não levam em consideração o potencial sombreamento de umas encostas por outras.

Tabela 3: Distribuição das áreas de gramínea e vegetação arbóreo-arbustiva de acordo com a radiação solar incidente

Uso	Radiação incidente (%)					
	Verão			Inverno		
	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
Gramínea (total)	65,23	32,63	2,14	75,4	19,38	5,18
Gramínea com fogo	70	28,3	1,7	83,1	13,58	3,28
Vegetação arbóreo-arbustiva (total)	55,99	40,43	3,58	65,6	24,81	9,55
Vegetação arbóreo-arbustiva com fogo	64,49	33,27	2,25	73,4	19,44	7,16

A análise a partir do TPI resultou em um mapeamento contendo 6 classes de posição topográfica (*default* do método para a ferramenta “*generate slope position classification*”) (Fig. 3). A combinação desta classificação com a de uso e cobertura do solo revelou que as áreas de gramínea e de vegetação arbóreo-arbustiva também apresentaram um forte padrão de distribuição em relação à posição na encosta, estando concentradas principalmente nos divisores e nas altas encostas, seguidos das médias encostas, e quase nunca nas baixas encostas ou nos fundos de vale (Tab. 4). Este padrão também era bastante esperado, pois um relevo montanhoso gera diferenças de distribuição dos fluxos de água e nutrientes: enquanto as áreas de divisor e alta encosta constituem-se como zonas de divergência de fluxos, a média encosta é uma zona de transferência e a baixa encosta e o fundo de vale são zonas de convergência de fluxos. Para algumas análises deste estudo, então, as classes de posição topográfica foram reagrupadas desta forma, e a classe “plano”, praticamente insignificante neste maciço montanhoso, só sendo encontrada nas baixadas da vertente norte, foi englobada na classe de convergência de fluxos, visando a manter uma postura mais conservadora.

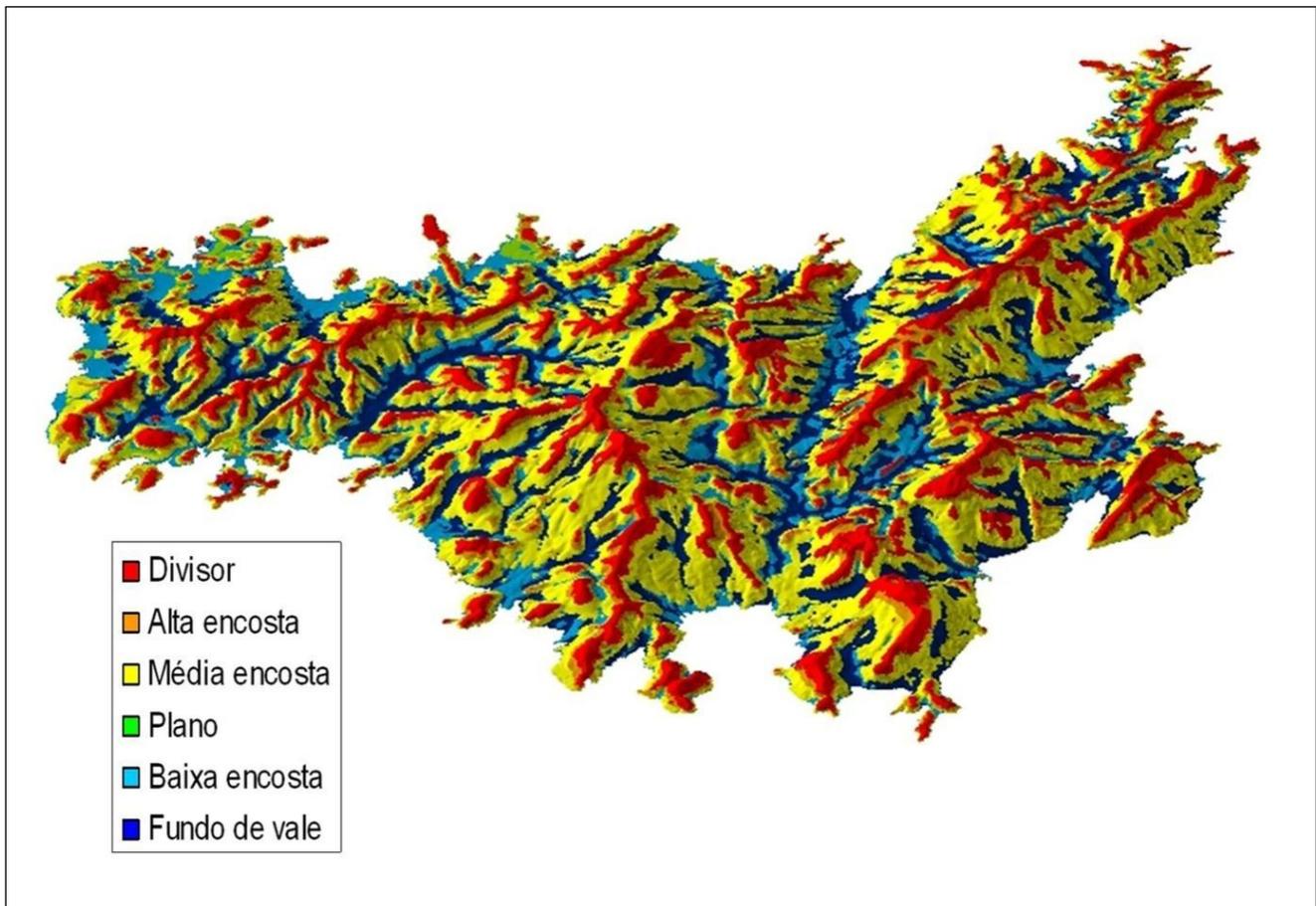


Figura 3: Representação em 3D do mapeamento segundo as classes de posição topográfica gerado a partir do TPI.

Tabela 4: Distribuição das áreas de gramínea e vegetação arbóreo-arbustiva de acordo com a posição topográfica.

Posição topográfica		Gramínea (área %)	Vegetação arbóreo-arbustiva (área %)
Divisor	Zonas de divergência	35,17	34,10
Alta encosta		14,13	11,08
Média encosta	Zona de transferência	40,87	38,98
Plano		0,12	0,07
Baixa encosta	Zonas de convergência	5,04	5,45
Fundo de vale		4,68	10,33

Ficou claro, assim, que as áreas de gramínea concentram-se em zonas de divergência de fluxos, que tendem a possuir menor umidade e menor acúmulo de nutrientes, refletindo o fato de que as gramíneas constituem, de forma geral, uma família de espécies ruderais, que facilmente se estabelecem e passam a dominar em áreas abertas e degradadas. Normalmente,

são suprimidas pelas espécies tolerantes à sombra (espécies florestais) ao longo da sucessão ecológica. Há que se salientar, porém, que nem sempre tais espécies florestais conseguirão se expandir sobre as áreas de gramínea. Segundo Harper *et al.* (2000), a magnitude e a distância do efeito de borda, e, conseqüentemente, a estabilidade ou instabilidade das bordas florestais, são moduladas principalmente pelo tipo e a severidade da matriz³. Se as gramíneas favorecem a ocorrência de incêndios e são frequentemente usadas como pastagens (acarretando pisoteamento de plântulas pelos animais), isto pode fazer com que, ao invés de a borda florestal se expandir, permaneça estável, porém degradada, ou até se retraia, permitindo a invasão das gramíneas. De acordo com Gascon *et al.* (2000), quando a vegetação da borda vai se tornando degradada, existe a possibilidade de que a vegetação mais interna, inicialmente protegida, torne-se também mais exposta e sofra certo grau de degradação, expondo áreas mais internas ainda –como uma onda progressiva de influência da borda. Isto pode ocorrer quando a matriz impõe condições demasiado severas, e, em tal cenário, o efeito de borda constitui-se como um importante fator a acarretar, diretamente, a retração florestal.

Embora o foco deste estudo gire em torno das áreas de gramínea, a vegetação arbóreo-arbustiva foi também analisada, já que constitui a terceira maior classe em área e já que, comumente, se localiza entre áreas de gramíneas e áreas de floresta, podendo constituir áreas de início de sucessão ecológica. De fato, foi observado que a distribuição espacial da VAA costuma acompanhar aquela das gramíneas (Tabs. 2, 3 e 4). Porém, vale ressaltar que a VAA está mais presente nas áreas de convergência do que as gramíneas (aproximadamente 16% contra cerca de 10%, Tab. 4), dando suporte às hipóteses levantadas neste estudo sobre a maior facilidade de permanência e regeneração da vegetação florestal em zonas de convergência de fluxos.

A idéia de que em áreas montanhosas as variações topográficas podem gerar significativas variações nos processos florestais vem sendo bastante corroborada pelos estudos sobre o tema. Segundo Descheemaeker *et al.* (2009), a inclinação da encosta restringe a acumulação de húmus, pois impede o desenvolvimento das camadas ectorgânicas. De fato, Clevelário Jr. (1988) demonstrou que a dinâmica da serapilheira – compartimento onde se encontra o maior estoque de nutrientes em florestas tropicais – difere bastante de acordo com a topografia: em encostas seu acúmulo no solo tende a ser maior que em fundos de vale,

³ Matriz é o termo comumente utilizado para designar o tipo de uso / cobertura do solo em que se encontra inserido um fragmento florestal. No caso da floresta da Tijuca, que se constitui como um grande fragmento florestal com diversos tipos de uso à sua volta, o termo “matriz” não se adequa perfeitamente, mas o significado funcional permanece útil. Assim, chamamos aqui de matriz o tipo de uso do solo adjacente à floresta.

evidenciando uma taxa de decomposição mais lenta. Porém, como o tempo de renovação dos estoques de nutrientes na serapilheira mostrou-se menor que o tempo de renovação de sua massa, tanto em encostas como em áreas planas, o autor sugeriu que a desaceleração da decomposição nas encostas seria muito mais um mecanismo de acúmulo de matéria orgânica do que de nutrientes. Clevelário propõe, assim, que o folhedo, principalmente a camada O₂ (folhas fragmentadas, muitas vezes inexistentes nos fundos de vale), atuaria como uma resina iônica capaz de absorver íons a partir da chuva, constituindo-se como uma estratégia da vegetação para reter nutrientes no sistema. Este modelo sugere uma clara relação de compensação entre processos geo-hidroecológicos e posição topográfica.

Robert e Moravie (2003) enfatizaram a heterogeneidade estrutural criada na floresta a partir de variações da topografia. Seu estudo mostrou que o crescimento em diâmetro das grandes árvores foi claramente maior em encostas íngremes do que em encostas suaves, enquanto o das árvores pequenas foi menor ou similar. Para um mesmo diâmetro, as árvores apresentavam-se mais altas em encostas suaves. Além disso, a distribuição espacial dos troncos era muito regular em encostas suaves, e aleatória nas íngremes. Os autores sugerem que seus resultados apontam para diferenças nos principais processos responsáveis pela dinâmica florestal: competição, estabelecimento e sobrevivência. De fato, Herwitz e Young (1994) encontraram em seu estudo que, enquanto na baixa encosta a mortalidade era balanceada por novos recrutamentos, na alta encosta a mortalidade excedia o recrutamento, o que evidenciou uma maior dificuldade de estabelecimento das plântulas em posições topográficas mais elevadas. Por outro lado, os autores demonstraram que a menor estatura da floresta nos divisores e altas encostas é explicada por mais altas taxas de turnover (o dobro), e não por menor taxa de crescimento, como é comum hipotetizar. Na verdade, neste estudo as taxas de crescimento mostraram-se até maiores nos divisores.

Os padrões de recrutamento, crescimento e mortalidade diferenciados acabam determinando, por fim, diferenças também nos padrões florísticos de um remanescente florestal (Laurance *et al.*, 1998). Marangon *et al.* (2008), por exemplo, obtiveram uma maior similaridade florística entre áreas planas e de ravina, quando comparadas a encostas e topos de morro. Slik e Eicchorn (2003) demonstraram a existência de uma interação entre distúrbio e topografia na criação dos padrões florísticos: em florestas que sofreram incêndios, as espécies-clímax mostraram-se mais comuns em pântanos, vales e baixas encostas, enquanto em florestas não queimadas o padrão oposto foi evidenciado (a densidade de espécies-clímax aumentou progressivamente na direção de altas encostas e divisores). As espécies pioneiras,

por outro lado, foram abundantes em toda a floresta queimada, especialmente em encostas e divisores.

Os parâmetros de solo também já se mostraram correlacionados com a posição topográfica em alguns estudos. Zueng-Sang Chen *et al.* (1997) encontraram que o pH, o cálcio e o magnésio trocáveis aumentaram na direção da baixa encosta, enquanto o alumínio trocável foi maior nos solos da alta encosta, indicando a importância dos processos de encosta na redistribuição dos minerais do solo. Adicionalmente, o conteúdo de nitrogênio disponível, o potássio trocável e a CTC (Capacidade de Troca Catiônica) no topo do solo (primeiros 40cm) foram consideravelmente mais baixos nos solos de florestas a barravento. Wang *et al.* (2009) obtiveram que o fósforo total se correlacionou com o baixo conteúdo de nutrientes nos divisores, enquanto o potássio total teve baixa variabilidade e apresentou relação com alto conteúdo de nutrientes. Os nutrientes solúveis em água, por outro lado, foram altamente variáveis pela bacia. Os autores concluíram que a influência da topografia é, portanto, nutriente-específica, gerando uma relação bastante complexa.

A influência da topografia nos processos geo-hidroecológicos já foi evidenciada também a partir de pesquisas em cicatrizes de deslizamento, que demonstraram que a vegetação florestal se regenera, em uma encosta, predominantemente de baixo para cima (Montezuma, 2005; Chirol, 2003). O acúmulo de matéria orgânica e a maior umidade nas partes mais baixas da clareira favorecem a recuperação da vegetação, enquanto as partes mais altas sofrem maior erosão pela lavagem da chuva, constituindo-se como áreas de mais difícil colonização. Olhando em uma escala espacial mais ampla, o próprio aparecimento dessas clareiras parece se relacionar fortemente à posição topográfica. Ashton *et al.* (2001) sustentam que os distúrbios naturais variam em severidade, tipo e extensão de acordo com a topografia: no sudeste do Sri Lanka foi observado que as árvores em divisores são mais suscetíveis a secas e a quedas de raios; nas meias-encostas a deslizamentos, especialmente em encostas mais expostas devido a diferenças de aspecto; e, nas áreas periodicamente inundáveis, perto de canais, as árvores possuem raízes mais rasas, sendo muito suscetíveis a quebras por vento canalizado nos vales. Laurance e Curran (2008) lembram que, apesar de áreas elevadas e a barravento serem geralmente mais vulneráveis a ventos, ventos fortes podem, por vezes, interagir de formas complexas com a topografia, gerando uma forte turbulência descendente em áreas a sotavento.

Os resultados de Lima e Moura (2008) mostraram ainda que os divisores apresentam clareiras menores e uma maior proporção de clareiras criadas por quedas de galhos, enquanto encostas possuem clareiras maiores, geralmente criadas por rompimentos de raízes. Gale

(2000), de forma semelhante, comparou a ocorrência de clareiras baixas e clareiras altas (criadas em diferentes estratos na estrutura vertical da floresta) de acordo com a posição na encosta, altitude, inclinação e superfície rochosa. Encontrou que os platôs tinham a menor proporção de clareiras baixas, seguidos pelos vales e altas encostas, enquanto as médias encostas e os divisores tinham a menor proporção de clareiras baixas e a maior de clareiras altas. Esta distribuição apresentou razoável correlação com o tipo de queda de árvores: enquanto os divisores possuíam a menor proporção de quedas de árvores vivas e a maior de quedas de árvores mortas, os vales tinham alta proporção de quedas de árvores vivas. O autor atribuiu isto ao fato de que árvores mortas criam clareiras altas mais facilmente, por causa da fragmentação gradual, enquanto árvores vivas tombam, em geral, por inteiro.

CONCLUSÕES

É preciso ressaltar, por fim, que são muitas as variáveis a influenciar a distribuição da cobertura vegetal no maciço da Tijuca. Yamagawa *et al.* (2006) chamam a atenção para o fato de que fatores antrópicos, em muitas situações, podem afetar a regeneração florestal mais do que fatores ambientais como a topografia. Os resultados deste estudo constituem, assim, um primeiro passo na busca de avaliar a possível influência da posição topográfica na dinâmica de bordas floresta-gramínea em zonas montanhosas. A existência de padrões espaciais de distribuição das áreas de gramínea aponta para a necessidade de investigação dos processos geo-hidroecológicos que ocorrem nas bordas florestais, para, a partir daí, procurar explicações mais claras em relação ao equilíbrio ou não-equilíbrio entre efeito de borda e regeneração florestal de acordo com a posição na encosta. Futuras questões a serem respondidas incluem: existe uma distância crítica do divisor (considerando a direção ascendente) a partir da qual a regeneração florestal tende a desacelerar? É possível, com base nos padrões espaciais e temporais da dinâmica de bordas floresta-gramínea, estimar o grau de estabilidade destas bordas?

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Manoel Fernandes pelo fornecimento de material de base; ao pesquisador Bruno Coutinho pela introdução ao TPI; aos colegas Rogério Uagoda e Pedro Coura pela ajuda com os softwares; ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – e à FAPERJ – Fundação Carlos Chagas de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- Ashton, M.S., Gunatilleke, C.V.S., Singhakumara, B.M.P e Gunatilleke, I.A.U.N. **Restoration pathways for rain forest in southwest Sri Lanka: a review of concepts and models.** *Forest Ecology and Management* 154: 409-430, (2001).
- Bellingham, P.J., Tanner, E.V.J.. **The influence of topography o tree growth, mortality, and recruitment in a tropical montane forest.** *Biotropica* 32:378-384, (2000).
- Herwitz, S.R. e Young, S.S.. **Mortality, recruitment, and growth rates of montane tropical rain forest canopy trees on Mount Bellenden-Ker, northeast Queensland, Australia.** *Biotropica* 26:350-361.
- Chirol, A.A. (2003). **Relações solo-fauna durante sucessão florestal em cicatrizes de movimento de massa.** Dissertação de mestrado - IGEO-UFRJ, 148p, (1994).
- Clark, D. B. e Clark, D. A.. **Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest.** *Forest Ecology and Management* 137: 185-198, (2000).
- Clevelário Jr., J.. **Quantificação da massa e do reservatório de nutrientes na serapilheira da bacia do Alto rio da Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, e avaliação da sua participação na ciclagem de nutrientes.** Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geoquímica da Universidade Federal Fluminense, (1988).
- Comita, L.S., Uriarte, M., Thompson, J., Jonckheere, I., Canham, C.D. e Zimmerman, J.K.. **Abiotic and biotic drivers of seedling survival in a hurricane-impacted tropical forest.** *Journal of Ecology* 97: 1346-1359, (2009).
- Descheemaeker, K., Muys, B., Nyssen, J., Sauwens, W., Haile, M., Poesen, J., Raes, D. E Deckers, J.. **Humus form development during forest restoration in exclosures of the Tigray Highlands, northern Ethiopia.** *Restoration Ecology* vol 17, n 2, pp 280-289, (2009).
- Figueiró, A.S.. **Mudanças ambientais na interface floresta-cidade e propagação de efeito de borda no Maciço da Tijuca - Rio de Janeiro, RJ.** Tese de doutorado - IGEO-UFRJ, 380p, (2005).
- Fox, D.M., Maselli, F. e Carrega, P.. **Using SPOT images and field sampling to map burn severity and vegetation factors affecting post fire erosion risk.** *Catena* 75: 326-335, (2008).
- Freitas, L.E.. **Transformações geocológicas, hidrológicas e erosivas em ecossistemas florestais de encosta: o papel da recorrência de incêndio. Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós- Graduação em Geografia, UFRJ, (2001).
- Gale, N.. **The relationship between canopy gaps and topography in a western Ecuadorian Rain Forest.** *Biotropica* 32(4a): 653-661, (2000).
- Gascon, C., Williamson, G.B. e Fonseca, G.A.B.. **Receding forest edges and vanishing reserves.** *Science* 288: 1356-1358, (2000).

GEOHECO-SMAC-RJ. **Estudos de qualidade ambiental do geossistema do Maciço da Tijuca: subsídios à regulamentação da APARU do Alto da Boa Vista.** Relatório técnico, coordenado por Coelho Netto, A.L. e Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura do Rio de Janeiro, vol. 2. 155pp, (2000).

Hadley, K.S.. **The role of disturbance, topography, and forest structure in the development of a montane forest landscape.** Bulletin of the Torrey Botanical Club, vol 21, n 1, pp 47-61, (1994).

Harper, K.A., Macdonald, S.E., Burton, P.J., Chen, J., Brososke, K.D., Saunders, S.C., Euskirchen, E.S., Roberts, D., Jaiteh, M.S. e Esseen, P.. **Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes.** Conservation Biology, v. 19, n. 3, p. 768-782, (2005).

Jenness, J.. **Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.2.** Jenness Enterprises. Available at:<http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>. (2006).

Laurance, W.F., Ferreira, L.V., Rankin-de-Merona, J.M., Laurance, S., Hutchings, R.W e Lovejoy, T.. **Effects of forest fragmentation on recruitment patterns in Amazonian tree communities.** Conservation Biology, v. 12 n. 2: 460-464, (1998).

Laurance, W.F. e Curran, T.J.. **Impacts of Wind disturbance on fragmented tropical forests: a review and synthesis.** Austral Ecology 33: 399-408, (2008).

Li, Feng-Rui, Zhao, Li-Ya, Zhang, Hua, Liu, Ji-Liang, Lu, Hai-Yan e Kang, Ling-Fen. **Habitat degradation, topography and rainfall variability interact to determine seed distribution and recruitment in a sand dune grassland.** Journal of Vegetation Science 20: 847-859, (2009).

Lima, R.A.F. e Moura, L.C.. **Gap disturbance regime and composition in the Atlantic Montane Rain Forest: the influence of topography.** Plant Ecology 197:239-253, (2008).

Marangon, L. C., Soares, J. J., Feliciano, A. L. P. e Brandão, C. F. L e S.. **Regeneração natural em um fragmento de floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais.** Revista Árvore vol 32 n 1.

Montezuma, R. C. M. (2005). **Produção e reabilitação funcional do piso florestal em clareira de deslizamento - Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro.** Tese de doutorado - IGEO-UFRJ, 294p, (2008).

Murcia, C.. **Edge effects in fragmented forests: implications for conservation.** Tree, v. 10, n. 2, p. 58-62, (1995).

Oliveira, R. R., Zaú, A. S., Lima, D. F., Silva, M. B. R., Vianna, M. C., Sodré, D. O. e Sampaio, P. D.. **Significado ecológico da orientação de encostas no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro.** Oecologia Brasiliensis, PPGG-UFRJ, v. 1, (1995).

Oliveira, R.R., Avelar, A.S., Leão, O.M.R., Freitas, M.M., Coelho Netto, A.L.. **Degradação da floresta e desabamentos ocorridos em fevereiro de 1996 no Maciço da Tijuca, RJ.** Anais do XLVII Congresso Nacional de Botânica, Nova Friburgo (RJ), vol. 1. 353-353, (1996).

Pires, F.R.M. & Heilbron, M.L.. **Estruturação e estratigrafia dos gnaisses do Rio de Janeiro, RJ.** In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 1. Rio de Janeiro. Boletim de Resumos. Rio de Janeiro, SBG. p:149-150, (1989).

Robert, A. e Moravie, M-A.. **Topographic variation and stand heterogeneity in a wet evergreen forest of India.** Journal of Tropical Ecology 19: 697-707, (2003).

Slik, J.W.F. e Eicchorn, K.A.O.. **Fire survival of lowland tropical rain forest trees in relation to stem diameter and topographic position.** Oecologia 137: 446-455, (2003).

Wang, H.J., Shi, X.Z., Yu, D.S., Weindorf, D.C., Huang, B., Sun, W.X., Ritsema, C.J. e Milne, E.. **Factors determinig soil nutrient distribution in a small-scaled watershed in the purple soil region of Sichuan Province, China.** Soil and Tillage Research 105: 300-306, (2009).

Yamagawa, H., Ito, S., Mitsuda, Y. e Fukuzato, K.. **Effects of topography and management history on natural forest recovery in abandoned forest forest after clear-cutting in Miyazaki, Japan.** Journal of Forest Research vol 11 n 2, pp 99-106, (2006).

Zaú, A.S.. **Variação da cobertura vegetal e efeitos na hidrologia superficial: Maciço da Tijuca, RJ. Rio de Janeiro.** Dissertação (mestrado em Geografia) - PPGG, UFRJ, (1994).

Zeleny, D. e Chytry, M.. **Environmental control of the vegetation pattern in deep river valleys of the Bohemian Massif.** Preslia, vol 79, n 3, pp 205-222, (2007).

Zueng-Sang Chen, Chang-Fu Hsieh, Feei-Yu Jiang, Tsung-Hsin Hsieh e I-Fang Sun. **Relations of soil properties to topography and vegetation in a subtropical rain forest in southern Taiwan.** Plant Ecology 132: 229-241, (1997).