

## APLICAÇÃO DE DADOS SAR NA AVALIAÇÃO DA DISPERSÃO DE ESPÉCIES E CONECTIVIDADE DA PAISAGEM EM UM ECOSISTEMA SAZONALMENTE INUNDADO

Annia Susin Streher<sup>1</sup>  
Barbara Leal<sup>2</sup>  
Cleber Chaves<sup>2</sup>  
Jefferson Ferreira Ferreira<sup>1</sup>  
Thiago Sanna Freire Silva<sup>3</sup>  
Milton Cezar Ribeiro<sup>2</sup>  
Helder Lima de Queiroz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá  
Estrada do Bexiga, 2584, Fonte Boa, Tefé, AM  
annia.streher@gmail.com; jefferson.ferreira@mamiraua.org.br; helder@mamiraua.org.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista –UNESP, IGCE - Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Avenida 24 A, 1515, Jardim Bela Vista, Rio Claro -SP  
tsfsilva@rc.unesp.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista –UNESP, IB - Instituto de Biociências  
Avenida 24 A, 1515, Jardim Bela Vista, Rio Claro -SP  
mcr@rc.unesp.br; bssleal@yahoo.com.br; cleberchaves@gmail.com

**Abstract:** We assessed the influence of seasonal habitat variation on dispersion patterns for two animal species with different habitat requirements living in a seasonally flooded environment: the Amazonian monkey *Saimiri vanzolinii* (black headed squirrel monkey) and the freshwater fish *Arapaima gigas* (pirarucu). Remote sensing methods combined with landscape ecology metrics were used to evaluate the landscape resistance to species dispersal at different moments of the flood pulse, in the Mamirauá Sustainable Development Reserve, based on the current knowledge on the ecological requirements of these species. The least-cost path analysis was applied to the resistance surface, simulating dispersal routes for both species. Our results emphasize the potential contribution of SAR remote sensing to the management of wetland environments, providing not only accurate information on spatial landscape configuration and vegetation distribution, but also on the dynamics of ecohydrological processes, which ultimately modulates the distribution of species. Studies of this nature may assist in management of seasonally and spatially heterogeneous areas, proposing new areas and strategies for conservation, accounting for seasonal resource fluctuations and specific species requirements, and also shed light on the factors controlling species distribution and evolutionary patterns.

**Palavras-chave:** Amazonian wetlands, flood pulse, landscape resistance, *least cost path analysis*, várzeas amazônicas, pulso de inundação, resistência da paisagem, análise de menor custo.

### 1. Introdução

As várzeas amazônicas são paisagens caracterizadas pela ocorrência do chamado “pulso de inundação” (Junk et al., 1989) onde os fluxos de água originados da precipitação sazonal geram um influxo que avança para as planícies de inundação, transformando habitats terrestres em aquáticos. O pulso de inundação gera processos erosivos e sedimentares que alteram em curto e longo prazo a distribuição e disponibilidade de habitats e na fragmentação periódica da floresta (Peixoto, 2007).

Devido à sazonalidade associada ao pulso de inundação, com fases aquáticas e terrestres muito pronunciadas, existe uma pressão seletiva para que organismos aquáticos e terrestres colonizem o mesmo habitat em períodos distintos (Junk et al., 1989). Com a elevação dos níveis das águas do Rio Amazonas e seus principais tributários, o deslocamento de organismos aquáticos que já estão na planície de inundação em direção a habitats recém-

alagados é favorecido, facilitando a colonização de tais áreas (Arraut et al., 2008; Castello, 2008; Araripe et al., 2013). Estes habitats propiciam uma menor pressão de predação, maior disponibilidade de alimentos, e servem, por exemplo, como local de desova para muitas espécies de peixes (Castello, 2008). A partir do período de vazante, quando as águas começam a escoar de volta para os rios, a disponibilidade de habitats e alimentos alóctones para os organismos aquáticos diminuem, a competição pelos recursos aumenta, o que pode acarretar na segregação de nicho entre as espécies (Castello, 2008; Correa & Winemiller, 2014).

O ambiente da várzea se torna mais favorável à fauna terrestre a partir do período de vazante (Junk et al., 1989). Com a elevação no nível das águas e a transição da fase terrestre para aquática, os habitats disponíveis para as espécies terrestre ficam reduzidos, ocasionando uma diminuição nos recursos disponíveis e forçando os organismos a dispersarem pela planície. A altura e o tempo de inundação não são barreiras geográficas *per se*, mas sim fatores de isolamento temporário que impõem uma maior resistência da paisagem à dispersão e ao fluxo gênico destes organismos, e constituem-se em um importante fator na seleção de habitats e no uso dos recursos (Junk et al., 1989; Ayres & Clutton-Brock, 1992; Paim, 2008). Ayres & Clutton-Brock (1992) mencionam que espécies de primatas de médio porte que evoluem em áreas estreitamente delimitadas por grandes rios são susceptíveis a apresentarem uma área de abrangência menor do que aquelas que evoluem a uma distância maior dos rios permanentes. Isso porque, nas áreas onde a densidade de rios é elevada, é mais provável que a diminuição periódica da floresta provoque a separação das espécies em múltiplas populações locais.

Devido à flutuação sazonal dos recursos e de habitats disponíveis, a capacidade de selecionar e mover-se através da paisagem é essencial para parte dos organismos que vivem nas várzeas amazônicas, sendo que esse deslocamento deve levar em conta a maximização dos ganhos nutricionais em relação aos custos energéticos (Sawyer et al., 2011). Um método popular utilizado para descrever a conectividade entre habitats é a análise de *Least cost path* (LCP), a qual designa uma superfície de resistência baseado em "custos" hipotéticos que os componentes da paisagem impõem ao movimento de espécies (Adriaensen et al. 2003). Assim, o LCP identifica os caminhos que minimizem os custos acumulados no deslocamento, permitindo simular a capacidade de dispersão e o uso dos habitats pelas espécies. Os componentes da paisagem considerados podem ser atributos dos habitats (*e.g.* tipo de vegetação, ocupação humana, inundação) e os custos associados a cada habitat são relativos à preferência individual pelo tipo de habitat e à capacidade dos animais em transporem barreiras. Neste sentido, mapas de cobertura da terra e estimativas espaciais da distribuição de variáveis ambientais, em escalas adequadas aos processos ecológicos observados em nível de espécie e população, são de extrema importância para compreensão das respostas dos organismos a flutuações sazonais da paisagem. Estas percepções têm implicações importantes não só para o entendimento da maneira pela qual os organismos sobrevivem em ambientes sazonais, mas também para prever como as populações e comunidades poderão responder às mudanças climáticas (Castello, 2008; Correa & Winemiller, 2014).

### **1.1 Sensoriamento remoto na caracterização de habitats sazonais**

A paisagem da várzea precisa necessariamente ser entendida e caracterizada em função de sua dinâmica sazonal, pois a cada período hidrológico o ecossistema impõe diferentes resistências à dispersão e ao fluxo gênico dos organismos. A dificuldade em descrever um ecossistema dinâmico, como a várzea amazônica, está na necessidade de entender os padrões em um ambiente sazonalmente contrastante (Hawes et al., 2012). Nas áreas úmidas, o tempo de inundação é uma das variáveis mais importantes atuando sobre a distribuição das espécies, mas sua caracterização espaço-temporal é de difícil realização em campo, devido à

necessidade de monitoramento sistemático e abrangente, em locais de difícil acesso. A habilidade que sensores remotos orbitais apresentam no recobrimento sinóptico da superfície da terra, por sua vez, permite a avaliação de extensas áreas, propiciando novos conhecimentos sobre a dinâmica das paisagens de várzea (Hess et al., 1995).

Atualmente, os sistemas de imageamento de radar por abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar* - SAR) em banda L (23.6 cm) são considerados os mais adequados para o estudo das várzeas amazônicas, devido a três características principais: a) capacidade de detectar inundação sob a cobertura vegetal; b) capacidade de imageamento mesmo na presença de cobertura de nuvens e, c) relação entre o retroespalhamento do sinal transmitido e a macroestrutura da vegetação (Henderson & Lewis 2008; Silva et al. *in press*). Dados SAR têm sido extensivamente utilizados em estudos que objetivam estimar a biomassa, mapear a cobertura da terra e quantificar a distribuição e representatividade de diferentes formações vegetais nas várzeas amazônicas ((Rosenqvist et al. 2002; Hess et al. 2003; Costa 2004; Martinez & Le Toan, 2007; Silva et al. 2010; Hawes et al. 2012;). Em particular, o imageamento regular por estes sensores proporciona uma oportunidade inédita para o monitoramento da dinâmica temporal da inundação na escala da paisagem, permitindo novas percepções sobre os processos ecológicos modulados pela duração e frequência dos alagamentos (Hess et al. 2003; Arnesen et al. 2013; Ferreira-Ferreira et al. 2014).

A avaliação integrada dos diferentes tipos de vegetação e da periodicidade da inundação a partir de dados SAR em banda L permite avaliar com muito mais precisão a adequabilidade dos habitats e a resistência que a paisagem impõe sobre a dispersão dos animais ao longo do tempo. Este estudo avaliou o potencial do uso de dados derivados do sensor ALOS/PALSAR para caracterizar a influência da variabilidade sazonal da paisagem de várzea sobre a dispersão de duas espécies com diferentes exigências de habitats: o primata *Saimiri vanzolinii* (macaco-de-cheiro-de-cabeça-preta), e o peixe *Arapaima gigas* (pirarucu), na paisagem Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM), no Estado do Amazonas.

## 2. Metodologia

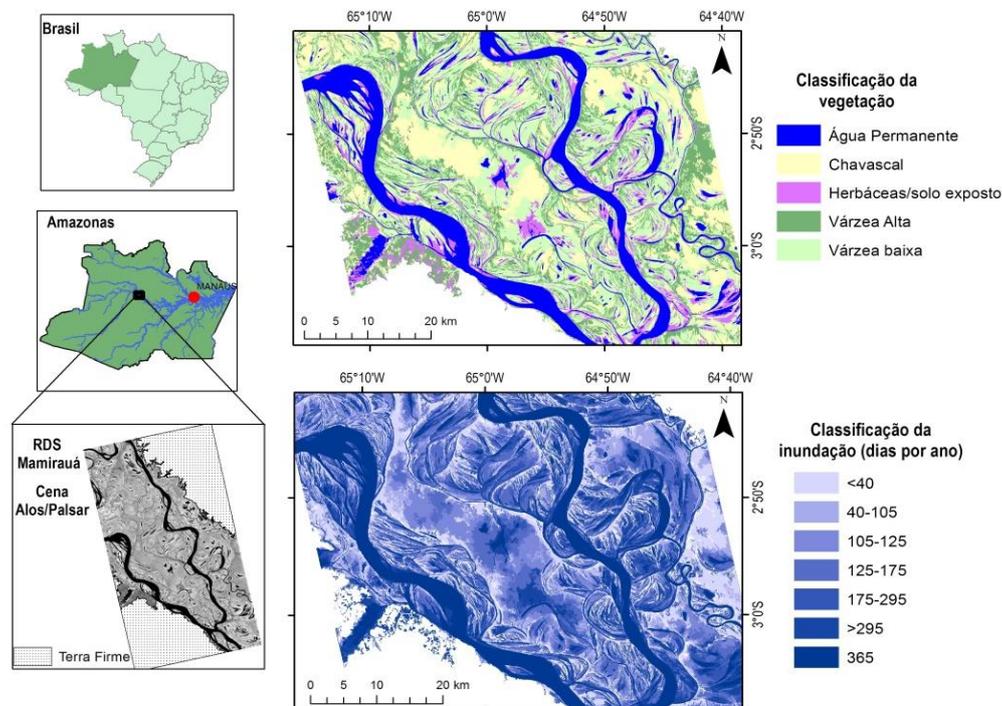
### 2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido na área focal da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM) localizada na planície de inundação entre os rios Solimões e Japurá, próximo à cidade de Tefé e aproximadamente a 600 km de Manaus (Figura 1). A área focal da RDSM possui 260.000 ha e está totalmente inserida no ecossistema de várzea (Ayres, 1995; Sociedade Civil Mamirauá, 1996).

A dinâmica hidrológica da RDSM é caracterizada por um pulso de inundação monomodal, de grande amplitude, atingindo cerca de 10m de variação (Ramalho et al., 2009). A fase de águas altas (cheia) começa em maio, estendendo-se até meados de julho, seguida por uma fase de abaixamento das águas (vazante), que dura até setembro. A fase de águas baixas (seca) ocorre de setembro a novembro, quando se inicia a subida no nível da água (enchente), de dezembro a maio (Ramalho et al., 2009).

Os principais tipos de vegetação florestada observados na RDSM são o chavascal, a várzea baixa e várzea alta (Junk et al., 2011), além de áreas de vegetação herbácea aquática e terrestre. Os chavascals ocorrem em antigas depressões, canais abandonados ou lagos rasos colmatados ocupados por uma vegetação densa e pobre em espécies de arbustos e árvores de pequeno porte (Wittmann et al., 2010). A várzea baixa e várzea alta são habitats florestais diferenciados pelas características florísticas e estruturais induzidos pelo pulso de inundação (Wittmann et al. 2002). Devido à forte pressão exercida pela inundação, as áreas de várzea baixa têm menor diversidade de espécies, com menor porte, copas esparsas e maior densidade de indivíduos (Wittmann et al., 2010). As comunidades de várzea alta apresentam arquitetura

de copa mais complexas, maior biomassa, riqueza e diversidade de espécies quando comparadas às várzeas baixas. Isso ocorre uma vez que as várzeas altas ocorrem em locais com maiores elevações, em um contexto geomorfológico de relativa estabilidade, permanecendo inundadas por menos tempo ao longo do ciclo hidrológico anual.



**Figura 1:** À esquerda, a localização da RDSM no estado do Amazonas. Acima à direita a classificação do mosaico de vegetação e a abaixo a classificação do tempo de alagamento na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. Fonte: Ferreira-Ferreira et al. (2014).

Ferreira-Ferreira et al. (2014) mapearam os tipos de vegetação e as classes de inundação da RDSM por meio de imagens SAR do sensor ALOS/PALSAR, em banda L. Para a realização do mapeamento, os autores adquiriram uma série temporal de imagens ALOS/PALSAR banda L ao longo das diferentes fases de inundação. As imagens foram processadas e classificadas seguindo as metodologias de Silva et al. (2010) e Arnesen et al. (2013). A classificação da vegetação contou ainda com imagens ópticas dos sensores de alta resolução espacial Rapideye e SPOT-5 adquiridas pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM). Ambos os mapas foram utilizados como base para realização deste trabalho. Ferreira-Ferreira et al. (2014) mostraram que a vegetação do tipo chavascal apresentou o padrão de inundação mais variado, ficando mais inundada entre 105 a 125 dias por ano. As áreas de várzea baixa ficaram predominantemente inundadas entre 175 e 295 dias por ano, enquanto as várzeas altas permaneceram menos de 40 dias por ano alagadas.

## 2.2. Mapas de Resistência da paisagem

Para avaliar a resistência da paisagem à dispersão das espécies selecionadas, calcularam-se os custos energéticos hipotéticos em relação ao tempo de inundação e ao tipo de vegetação para cada unidade da paisagem (tamanho de célula de um mapa raster), que foram combinados através de uma análise multicritério. As classes de inundação foram consideradas como proxies para a resistência ao deslocamento dos animais, e foram ponderadas pelos valores das classes de vegetação, os quais foram atribuídos de acordo com o uso e preferência dos animais pelos habitats. Os valores de resistência para as classes de inundação e os pesos

para as classes de vegetação foram atribuídos com base na literatura e no conhecimento de especialistas (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores de resistência designados a cada classe de inundação e os pesos (valores de importância) para as classes de vegetação, baseados em bibliografia especializada (Affonso, 2012; Paim, 2008).

Valores de Resistência para Inundação			Valores de importância para a Vegetação		
Classes de inundação (Ferreira-Ferreira et al., 2014)	<i>Arapaima gigas</i>	<i>Saimiri vanzolinii</i>	Classes de vegetação (Ferreira-Ferreira et al., 2014)	<i>Arapaima gigas</i>	<i>Saimiri vanzolinii</i>
1	85	10	Corpos d'água	1	100
40	65	30	Herbácea	40	95
105	60	50	Chavascal	80	7
125	40	70	Várzea baixa	60	38
175	10	80	Várzea alta	65	13
295	3	95			
365	1	100			

A partir dos valores de resistência designados para as classes de inundação e os valores de importância para as classes de vegetação, delineou-se um modelo de custo, baseado na curva de ajuste dos valores de resistência da inundação ponderada pela importância de cada tipo de habitat para as espécies em questão. Com isso, a resistência para cada animal é dada pelas Equações 1 e 2:

$$R_s = (-0.0008 * x^2 + 0.5333 * x + 9.444) * \omega_v \quad (1)$$

$$R_p = (128.5 * e^{(-0.013 * (x))}) * \omega_v \quad (2)$$

onde  $R_s$  é resistência ao movimento do *Saimiri vanzolinii*;  $R_p$  é a resistência ao movimento do *Arapaima gigas*;  $x$  é o tempo de inundação em dias;  $\omega_v$  é o valor de importância por classe da vegetação.

### 2.3 Simulações de deslocamento

Foram selecionadas dez manchas de habitats preferenciais espalhadas pela paisagem, para cada espécie, gerando cinco pares de habitat (origens e destinos). De acordo com Paim (2008), a vegetação de chavascal representa o habitat preferencial para o primata, enquanto que o para peixe, os habitats preferenciais foram alocados nos lagos de grande porte e lagos com presença de macrófitas ao longo da RDS Mamirauá. Utilizou-se a análise LCP, implementada no software LSCorridor<sup>1</sup>, para avaliar as rotas potenciais de dispersão dos animais entre as origens e destinos selecionados. Para cada combinação de par de habitats e espécie, foram realizadas 10 simulações de rotas de dispersão potenciais.

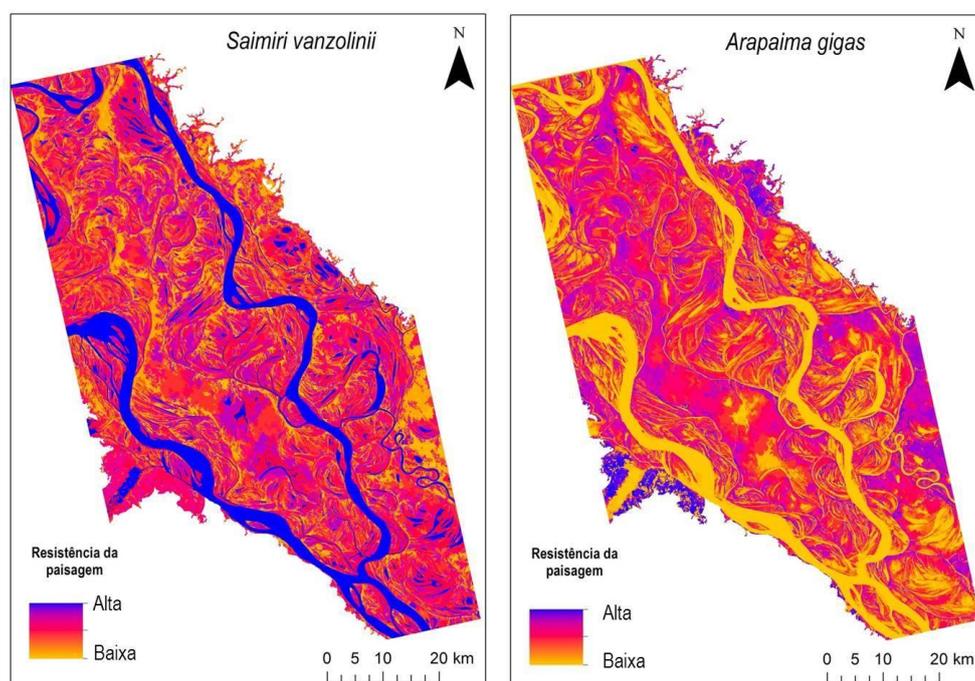
## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Resistência da paisagem

Os mapas de cobertura da terra e da dinâmica da inundação (Ferreira-Ferreira et al., 2014) foram essenciais para a produção de mapas de resistências que caracterizassem

<sup>1</sup> Comunicação pessoal de Milton Cezar Ribeiro, em 10 de setembro de 2014

adequadamente as restrições da paisagem aos organismos estudados (Figura 2). A avaliação da resistência para as espécies estudadas só foi possível pelas características proporcionadas pelo sensor SAR ALOS/PALSAR, o qual propicia a detecção de inundações e identificação das formações vegetais com uma resolução espacial de aproximadamente 25m, e resolução temporal suficiente para caracterizar as variações associadas ao pulso de inundações. Os mapas de resistência da paisagem gerados enfatizam uma maior resistência à dispersão do primata em locais onde existem corpos de água permanente (Figura 2). De acordo com Ayres & Clutton-Brock (1992), rios com ~50m de largura não constituem uma barreira geográfica para macacos de médio porte, como o *Saimiri vanzolinii*. De fato, a resistência nesses locais não é máxima, mas representam um maior custo energético para atravessá-los. Já para o peixe, a resistência imposta pela sazonalidade da paisagem é maior em áreas que passam menos de 40 dias inundadas. O mapa de resistência do pirarucu também ressalta locais da paisagem da RDS Mamirauá que não são utilizados pela espécie por nunca inundarem.



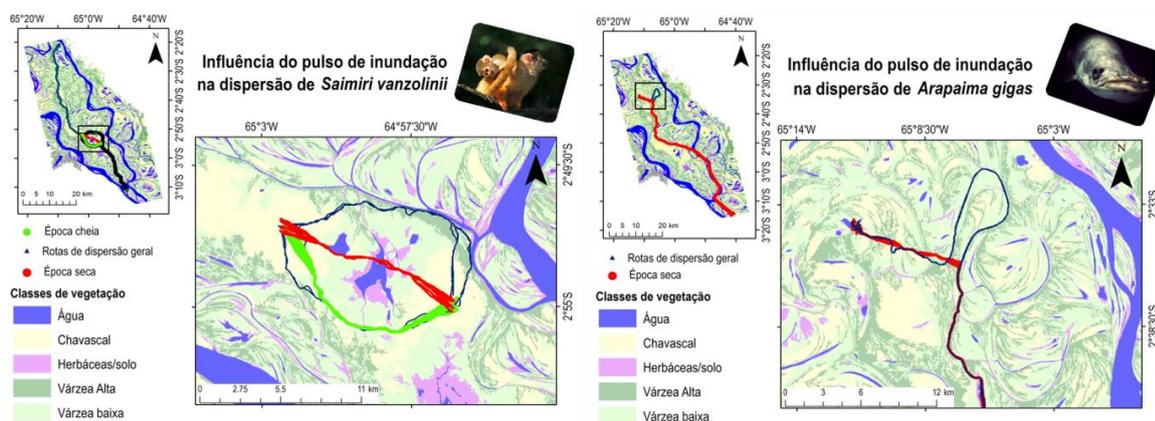
**Figura 2:** Resistência da paisagem a dispersão de *Saimiri vanzolinii* e *Arapaima gigas*, na RDS Mamirauá. Os tons amarelos indicam os locais com maior viabilidade de passagem, enquanto os tons azuis os locais com maior resistência a dispersão das espécies avaliadas.

### 3.2. Simulações de rotas de dispersão

O macaco-de-cheiro-da-cabeça-preta *Saimiri vanzolinii* tem preferência por chavascais, independente da sazonalidade (Paim, 2008). Em geral, as rotas de dispersão desses animais são constituídas por áreas com florestas de várzea alta, distribuídas ao longo de toda a reserva, e que se conectam com os habitats preferenciais do primata (Figura 3). Ao avaliar duas manchas de habitats (vegetação de chavascal) separadas por um mosaico de outras formações vegetais, observa-se a discrepância entre os caminhos de menor custo delineados para as épocas de seca e de cheia. Durante a seca, o caminho realizado pelo primata passa tanto por áreas de várzea baixa, quanto por áreas com coberturas de herbáceas, e nem mesmo o lago Buá-Buá se constituiu como uma barreira à dispersão da espécie. Já na época de cheia, os caminhos de menor custo corresponderam às áreas com vegetação de várzea alta, a qual apresenta as menores alturas e tempo de inundações. Esse fato, associado a uma vegetação mais densa, propicia melhores rotas de dispersão para uma espécie arborícola, que raramente

utiliza recursos no solo. Esse pode ter sido o motivo das simulações não resultarem em caminhos que passassem por áreas de vegetação de várzea baixa: as copas mais esparsas e a maior altura da inundação podem dificultar a dispersão da espécie, aumentando o custo de deslocamento.

O pirarucu em geral se aproveita do fato da várzea ficar inundada boa parte do ano, e se dispersa por dentro da paisagem de várzea ao invés de usar os grandes rios, mais comumente usados na vazante (Castello, 2008) (Figura 3). A rota de menor custo para a dispersão da espécie não representa a menor distância entre os habitats preferenciais. Isso indica, que a áreas de vegetação inundadas proporcionam uma maior quantidade de recursos e de habitats favoráveis à espécie. Na época de seca, entretanto, a rota de menor distância representa o caminho com menor custo para o pirarucu.



**Figura 3:** Resultado das simulações de rotas de dispersão das espécies estudadas na RDS Mamirauá. À esquerda, as rotas preferenciais simuladas para a espécie de macaco arborícola *Saimiri vanzolinii* (macaco-de-cheiro-da-cabeça-preta), e à direita as rotas preferenciais simuladas para *Arapaima gigas* (pirarucu).

#### 4. Conclusão

Os resultados obtidos realçam o potencial das imagens SR e evidenciam a importância da variabilidade hídrica sazonal sobre a dispersão das espécies. A partir dos resultados preliminares foi possível perceber as diferenças nas escolhas de caminhos para a dispersão das espécies selecionadas nas diferentes estações do pulso de inundação. Os resultados obtidos representam hipóteses testáveis que podem ser posteriormente utilizadas para aperfeiçoar as equações e o método empregado, por meio das informações coletadas a respeito da ecologia das espécies, constituindo-se em uma forma clara de interação entre duas áreas da ciência com mútuas vantagens. Espera-se no futuro realizar-se mais consultas a especialistas e aumentar o número de simulações para compreender melhor as estratégias de dispersão e fluxo gênico das espécies avaliadas nas áreas das várzeas amazônicas. A continuação do presente estudo buscará auxiliar na gestão e proposição de novas áreas para conservação, levando em consideração a conectividade dos habitats, fundamental para a manutenção do fluxo gênico entre as populações.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq/Rede Geoma (Processo 550373/2010-1) pelo financiamento do projeto, e ao CNPq e Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSMM – OS/MCTI) pela bolsa de apoio técnico conferida a A. S. Streher. Este estudo foi realizado no âmbito da Kyoto & Carbon Initiative, da Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (JAXA), e os dados ALOS PALSAR foram fornecidos pelo JAXA EORC.

## 5. Referências Bibliográficas

- Adriaensen, F. et al., 2003. The application of “least-cost” modelling as a functional landscape model. **Landscape and Urban Planning**, 64(4), pp.233–247.
- Affonso, A.G., 2012. Relação entre parâmetros ambientais e a densidade de pirarucu nos lagos de várzea de Mamirauá: uma análise multi-sensor. **Tese de Doutorado em Sensoriamento Remoto**. INPE., 147p.
- Ayres, J. M. **As Matas de Várzea do Mamirauá: Médio Rio Solimões**. Brasília: Sociedade Civil Mamirauá; CNPq., 1995. 124p. (Estudos do Mamirauá, 1).
- Araripe, J. et al., 2013. Dispersal capacity and genetic structure of *Arapaima gigas* on different geographic scales using microsatellite markers. **PloS one**, 8(1), p.e54470.
- Arnesen, A.S. et al., 2013. Monitoring flood extent in the lower Amazon River floodplain using ALOS/PALSAR ScanSAR images. **Remote Sensing of Environment**, 130, pp.51–61.
- Ayres, J.M. & Clutton-Brock, T.H., 1992. River boundaries and species range size in amazonian primates. **American Society of Naturalists**, 140(3), pp.531–537.
- Castello, L., 2008. Lateral migration of *Arapaima gigas* in floodplains of the Amazon. **Ecology of Freshwater Fish**, 17(1), pp.38–46.
- Correa, S.B. & Winemiller, K.O., 2014. Niche partitioning among frugivorous fishes in response to fluctuating resources in the Amazonian floodplain forest. **Ecology**, 95(1), pp.210–24.
- Costa, M.P.F., 2004. Use of SAR satellites for mapping zonation of vegetation communities in the Amazon floodplain. **International Journal of Remote Sensing**, 25(10), pp.1817–1835.
- Ferreira-Ferreira, J., Silva, T. S. F., Streher, A. S., Affonso, A. G., de Almeida Furtado, L. F., Forsberg, B. R., ... & de Moraes Novo, E. M. L. (2014). Combining ALOS/PALSAR derived vegetation structure and inundation patterns to characterize major vegetation types in the Mamirauá Sustainable Development Reserve, Central Amazon floodplain, Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, 1-19.
- Hawes, J.E. et al., 2012. Landscape-scale variation in structure and biomass of Amazonian seasonally flooded and unflooded forests. **Forest Ecology and Management**, 281, pp.163–176.
- Henderson, F.M. & Lewis, A.J., 2008. Radar detection of wetland ecosystems: a review. **International Journal of Remote Sensing**, 29(20), pp.5809–5835.
- Hees, L.L.; Melack, J.M., Filoso, S., Wang, Y., 1993. Delineation of inundated area and vegetation along the Amazon floodplain with the SIR-C synthetic aperture radar. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 33(4), pp. 896-904.
- Hess, L.L. et al., 2003. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. **Remote Sensing of Environment**, 87(4), pp.404–428.
- Junk, W.J., Bayley, P.B. & Sparks, R.E., 1989. The flood pulse concept in river floodplain systems. In C. P. F. A. S. 106 Spec, ed. **Proceedings of the International Large River Symposium**. pp. 110–127.
- Martinez J, Letoan T (2007) Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the Amazon floodplain using multitemporal SAR data. **Remote Sensing of Environment**, 108(3), pp.209–223.
- Paim, F.P., 2008. **Estudo comparativo das espécies de Saimiri Voigt, 1831 (Primates, Cebidae) Na Reserva Mamirauá, Amazonas**. Museu Paraense Emílio Goeldi/Universidade Federal do Pará.
- Peixoto JMA, Nelson B, Wittmann F, 2009. Spatial and temporal dynamics of river channel migration and vegetation in central Amazonian white-water floodplains by remote-sensing techniques. **Remote Sensing of Environment**, 113(10):2258–2266
- Ramallo EE, Macedo J, Vieira TM, Valsecchi J, Calvimontes J, Marmontel M, Queiroz HL (2009) Ciclo Hidrológico nos ambientes de várzea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá- Médio Solimões, período de 1990 a 2008. **Uakari** 5(1):61–87.
- Sawyer, S.C., Epps, C.W. & Brashares, J.S., 2011. Placing linkages among fragmented habitats: do least-cost models reflect how animals use landscapes? **Journal of Applied Ecology**, 48(3), pp.668–678.
- Silva, T.S.F., Costa, M.P.F. & Melack, J.M., 2010. Spatial and temporal variability of macrophyte cover and productivity in the eastern Amazon floodplain: A remote sensing approach. **Remote Sensing of Environment**, 114, pp.1998–2010.
- Silva, T.S.F., .., Melack, J.M., Streher, A. S., Ferreira-Ferreira, J., de Almeida Furtado, L. F. Capturing the dynamics of Amazonian wetlands using synthetic aperture radar: lessons learned and future directions. In: **Advances in Wetland Classification and Mapping**. Eds. Ralph Tiner, Victor Klemas, Megan Lang. Taylor and Francis/CRC Press.
- Wittmann, F., Anhof, D. & Junk, W.J., 2002. Tree species distribution and community structure of central Amazonian várzea forests by remote-sensing techniques. **Journal of Tropical Ecology**, 18(06), 805-820.
- Wittmann F, Schöngart J, Junk WJ (2010) Phytogeography, species diversity, community structure and dynamics of central Amazonian floodplain forests. In: Junk WJ, Piedade MTF, Wittmann F, Schöngart J, Parolin P (eds) **Central Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management**. Springer, Berlin/Heidelberg/New York.