

Mapeamento de mudanças na cobertura florestal das várzeas amazônicas utilizando o algoritmo CLASlite

André Bresighello Beig¹

Bianca Darski^{1,2}

Thiago Sanna Freire Silva¹

¹ Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP - Univ Estadual Paulista, Departamento de Geografia, Ecosystem Dynamics Observatory. Caixa postal 178, CEP 13506-900. Rio Claro, SP, Brasil.

beig206@hotmail.com, tsfsilva@rc.unesp.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS - Instituto de Biociências, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Caixa Postal 15007 - 91501-970 - Porto Alegre - RS
biadarski@gmail.com

Abstract: Given the effort and time demanded for manually mapping forest cover change, tools that can automate this process are essential for monitoring large areas. The CLASlite algorithm is one of many tools that can be used for automated forest mapping, utilizing fractional cover to generate a subpixel analysis. In areas such as the *várzea* floodplains of the Amazon basin, the high discharges and sediment loads, together with the shallow slopes, generate a highly dynamic landscape due to fluvial processes. Our study therefore evaluated the accuracy of the CLASlite forest mapping algorithm in determining forest cover changes caused by fluvial dynamics, by comparing automated results with manually generated maps, both based on a time series of five Landsat 5/TM images, from 2005 to 2009. The study site was a small subset of the Mamirauá Sustainable Development Reserve, located in the Solimões/Amazon river floodplain, Brazil. By testing different combinations of algorithm parameters for the CLASlite forest cover mapping tool, we were able to determine how each parameter influenced mapping accuracy. Overall, the CLASlite algorithm has been shown to be very effective in mapping already consolidated forest areas, but efficiency decreases for areas closer to the riverbed, which are the most susceptible to river dynamics.

1. Introdução

Os rios amazônicos de “águas brancas” são caracterizados por uma coloração turva devido à alta carga de sedimentos em suspensão, estimada entre 600 e 700 Mt anuais, originada da erosão dos Andes e seus sopés (Dunne et al. 1989). Estes rios são relativamente ricos em minerais dissolvidos, possuem pH neutro, e suas águas e planícies de inundação são bastante férteis, sendo denominadas de *várzeas* (Junk 1997) e ocupando uma área de aproximadamente 400.000 km², (Melack e Hess, 2010). Em conjunto com o baixo declive da planície Amazônica, de 2 a 3 cm/km (Irion et al. 1997), a elevada carga de sedimentos gera uma paisagem com elevado dinamismo hidrogeomorfológico e altas taxas de erosão e sedimentação (Peixoto et al. 2009, Fragal et al. 2016).

Diferentemente das florestas de terra firme, a extensão das florestas de várzea é afetada diretamente pelo dinamismo fluvial. Este dinamismo caracteriza as várzeas como uma zona de transição entre os ambientes aquáticos e terrestres, afetada pelo pulso de inundação anual recorrente que atua como principal força controladora da paisagem e da biota (Junk et al., 1989). De acordo com Junk et al. (1998), a presença de inundação recorrente cria novos locais para colonização através da deposição de sedimentos ou remoção de áreas pela erosão aluvial e migração de canais (Peixoto et al. 2009). Este dinamismo da paisagem, em conjunto com o difícil acesso às áreas de várzeas na Amazônia, tornam as técnicas de sensoriamento remoto mais adequadas para o estudo e monitoramento da dinâmica destas paisagens, uma vez que

diminuem a necessidade de visitas a campo e permitem visualizar as mudanças espacialmente e ao longo do tempo.

O mapeamento manual de áreas com cobertura florestal demanda uma grande quantidade de tempo e esforço, e o uso de ferramentas que automatizem o mapeamento torna-se essencial para investigações cobrindo grandes extensões. Uma destas ferramentas é o algoritmo *Carnegie Landsat Analysis System Lite* (CLASlite) (Asner et al. 2009), baseado no *Carnegie Landsat Analysis System* (CLAS). O algoritmo CLASlite utiliza módulos fundamentais do CLAS, porém com uma abordagem focada para a automação, gerando imagens de mudança de cobertura florestal a partir de imagens de satélite sem a necessidade de pré-processamento, realizando automaticamente as seguintes etapas: 1) calibração radiométrica e correção atmosférica; 2) geração de máscaras de água, nuvens e sombras; 3), decomposição dos pixels da imagem em termos de fração dos tipos de cobertura de superfície, possibilitando uma análise subpixel; 4) classificação da imagem em mapas de cobertura florestal, desflorestamento e distúrbios florestais.

Para que estas ferramentas possam ser utilizadas adequadamente, gerando resultados confiáveis além de acelerarem o processo de mapeamento e monitoramento de áreas florestais, é necessário mensurar sua eficácia. Desse modo, poderemos minimizar os possíveis erros gerados e evitar interferências nas análises realizadas com seus produtos. Assim, o presente trabalho teve como objetivo quantificar o desempenho do mapeamento automatizado de florestas realizado pelo algoritmo CLASlite, em relação ao mapeamento manual tradicional, para uma área da Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá (RDSM), Amazonas, Brasil.

2. Materiais e métodos

Como área de estudo, foi escolhida uma porção da Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá, AM (Figura 1), localizada próxima ao município de Tefé, cerca de 550 km à montante de Manaus. A RDSM corresponde à planície de inundação do Rio Solimões/Amazonas, sendo a maior área dedicada à preservação ambiental de áreas úmidas do Brasil. A RDSM cobre uma área aproximada de 11.240 km² e é considerada Patrimônio da Humanidade pela UNESCO. Na região da RDSM, o pulso de inundação pode chegar a 12 m dentro das áreas florestadas (Ferreira-Ferreira et al., 2014).

Foram utilizadas cinco imagens do satélite Landsat 5, sensor *Thematic Mapper* (TM), adquiridas através do portal *EarthExplorer* (www.earthexplorer.usgs.gov), para a órbita/ponto 001/062, que engloba a RDSM. Cada imagem corresponde a um ano no intervalo de 2005 a 2009, todas adquiridas entre setembro e novembro, pois caracterizam o período de baixo nível de água dos rios amazônicos (Tabela 1). Adquirimos as imagens na forma dos produtos *Landsat Climate Data Record* (CDR), os quais já são disponibilizados com correções geométricas e atmosféricas, em escalas de valores de reflectância de superfície, e que incluem como parte do produto máscaras de cobertura de nuvens e sombra de nuvens.

Para medir a eficiência do CLASlite como algoritmo de mapeamento de cobertura florestal, utilizamos uma base de comparação obtida através de mapeamento manual detalhado, utilizando o *software* QGIS 2.14.3, para os cinco anos da série de imagens. Como algumas das imagens apresentam cobertura de nuvens, estas áreas foram excluídas do mapeamento manual de todas as imagens, buscando minimizar a introdução de erros de quantificação de mudanças de cobertura. Criamos um arquivo vetorial para cada imagem, onde a cobertura foi mapeada entre as classes “Floresta” e “Não-Floresta”, utilizando como referência a composição das bandas 5, 4 e 3 do Landsat 5 TM, em uma escala de mapeamento de 1:25000. Como forma de isolar as áreas de várzea para os mapeamentos realizados,

utilizamos uma máscara de corpos d'água fornecida pelo Instituto Mamirauá (Ferreira-Ferreira, Comunicação Pessoal), seguida do recorte do rio Solimões e a aplicação de um *buffer* de 3 km à área recortada.

Tabela 1: Data de aquisição das imagens utilizadas no estudo.

Ano	Data
2005	04/09
2006	07/09
2007	10/09
2008	28/09
2009	18/11

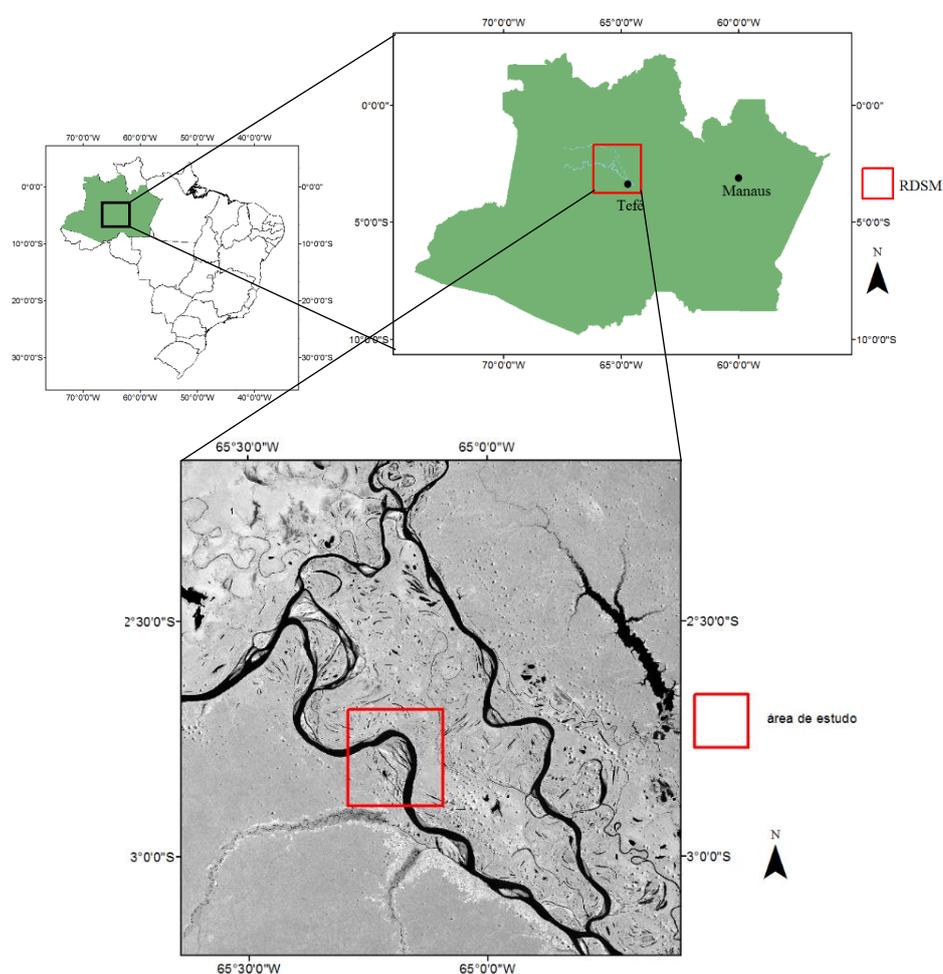


Figura 1: Área de estudo, localizada na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, AM.

Para o mapeamento automatizado de cobertura florestal, o algoritmo CLASlite solicita a definição de dois parâmetros pelo usuário, os quais determinarão o que o algoritmo considerará como floresta: a porcentagem de solo exposto (S), com um valor entre 5% e 25%, e a porcentagem de vegetação fotossintética (PV), variando entre 70% e 85%. Com o objetivo de determinar a melhor combinação dos dois parâmetros, executamos o algoritmo nas configurações padrão ($S < 20$; $PV \geq 80$) e nos valores máximos e mínimos de ambos os parâmetros: $S < 05$, $PV \geq 70$; $S < 05$, $PV \geq 85$; $S < 25$, $PV \geq 70$; $S < 25$, $PV \geq 85$.

Em seguida, computamos as áreas de cobertura florestal obtidas pelo mapeamento manual e pelo algoritmo, para quantificar as diferenças entre ambos e definir o melhor ajustamento dos parâmetros S e PV para o mapeamento de florestas de várzea. Após a definição do melhor ajuste, calculamos as áreas em que houve concordância, ou não, entre o mapeamento manual e o realizado pelo CLASlite.

3. Resultados e Discussão

As áreas de cobertura florestal identificadas por mapeamento manual variaram entre 17845 ha no ano de 2008 e 18027 ha no ano de 2005. Já o mapeamento realizado pelo CLASlite variou entre 8005 ha no ano de 2007, sendo a menor área de cobertura florestal identificada, onde foram utilizados os parâmetros $S < 05$, $PV \geq 85$, e 20282 ha no ano de 2009, sendo a maior área de cobertura floresta identificada, utilizando os parâmetros $S < 25$, $PV \geq 70$ (Tabela 2). Observamos que as áreas de cobertura florestal identificadas variaram mais conforme o valor do parâmetro S, que identifica a porcentagem de solo exposto. O parâmetro de porcentagem de vegetação fotossintética também alterou as medições, porém em menor escala, de maneira que quanto menor o valor, maior a área identificada como cobertura florestal.

Tabela 2: Área de cobertura florestal, em hectares, para o mapeamento manual e para as combinações dos parâmetros do CLASlite, onde S é a porcentagem de solo exposto PV é a porcentagem de vegetação fotossintética.

Ano	Área manual	Área $S < 05$; $PV \geq 70$	Área $S < 05$; $PV \geq 85$	Área $S < 20$; $PV \geq 80$	Área $S < 25$; $PV \geq 70$	Área $S < 25$; $PV \geq 85$
2005	18027	10617	9585	17822	19359	16542
2006	17948	16718	16044	19342	20245	18951
2007	17950	8735	8005	18039	19469	17397
2008	17845	13202	12596	18647	19856	18163
2009	17868	16494	15969	19284	20282	19014

As diferenças entre a área dos mapeamentos manuais e dos realizados pelo CLASlite variaram ano a ano, para todos os anos da série (Tabela 3). Os valores de $S < 20$; $PV \geq 80$, que são os padrões do algoritmo, foram considerados como a parametrização mais precisa, pois a amplitude da diferença entre as áreas calculadas foi a menor.

Tabela 3: Relação da diferença entre a área mapeada pelo CLASlite em relação à área mapeada manualmente. Todas as áreas estão em hectares. Valores negativos indicam que as áreas mapeadas pelo CLASlite foram inferiores à área mapeada manualmente. Valores positivos indicam que mais áreas foram mapeadas pelo CLASlite em comparação com o mapeamento manual.

Ano	Área manual	Diferença $S < 05$; $PV \geq 70$	Diferença $S < 05$; $PV \geq 85$	Diferença $S < 20$; $PV \geq 80$	Diferença $S < 25$; $PV \geq 70$	Diferença $S < 25$; $PV \geq 85$
2005	18027	-7410 (-41,1%)	-8442 (-46,8%)	-205 (-1,1%)	1332 (+7,4%)	-1485 (-8,2%)
2006	17948	-1230 (-6,9%)	-1904 (-10,6%)	1394 (+7,8%)	2297 (+12,85)	1003 (+5,6%)
2007	17950	-9215 (-51,3%)	-9945 (55,4%)	89 (+0,5%)	1519 (+8,5%)	-553 (-3,1%)
2008	17845	-4643 (-26,0%)	-5249 (29,4%)	802 (+4,5%)	2011 (+11,3%)	318 (+1,8%)
2009	17868	-1374 (-7,7%)	-1899 (-10,6%)	1416 (+7,9%)	2414 (+13,5%)	1146 (+6,4%)

As Figuras 2 a 6 a mostram as áreas em que houve concordâncias, omissões e comissões entre o mapeamento manual, utilizado como base, e aquele realizado pelo CLASlite.

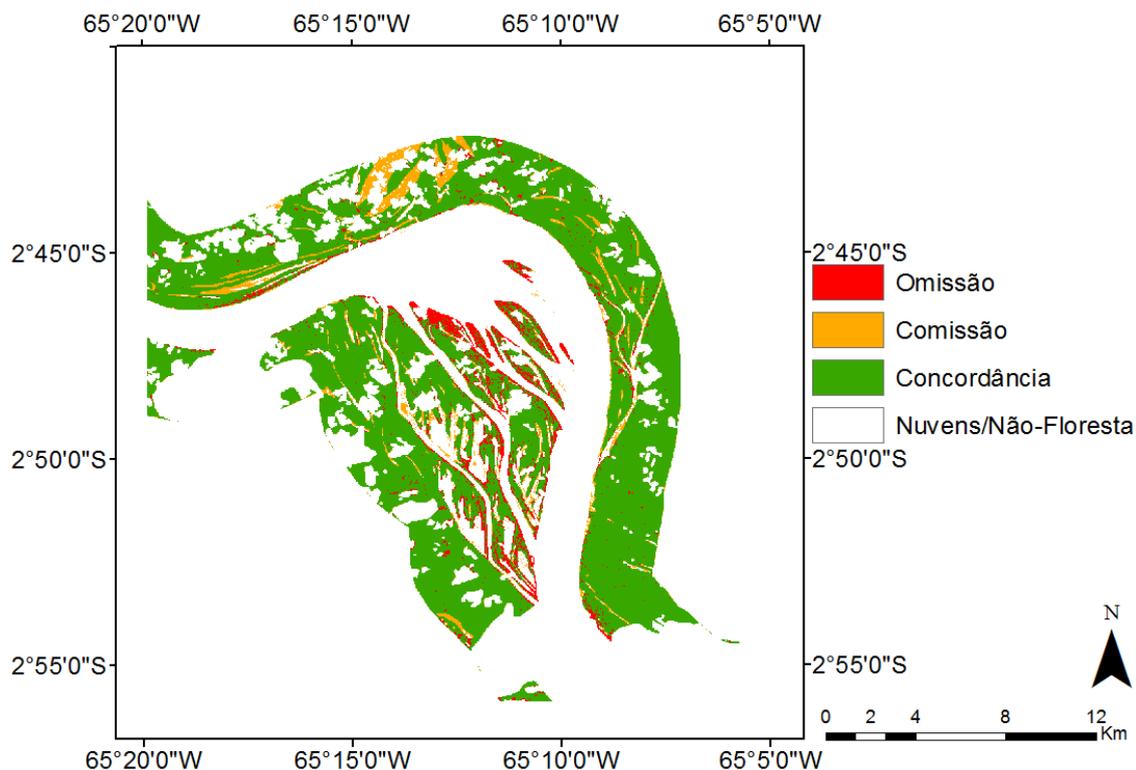


Figura 2: Mapa de concordância entre os mapeamentos realizados, para o ano de 2005.

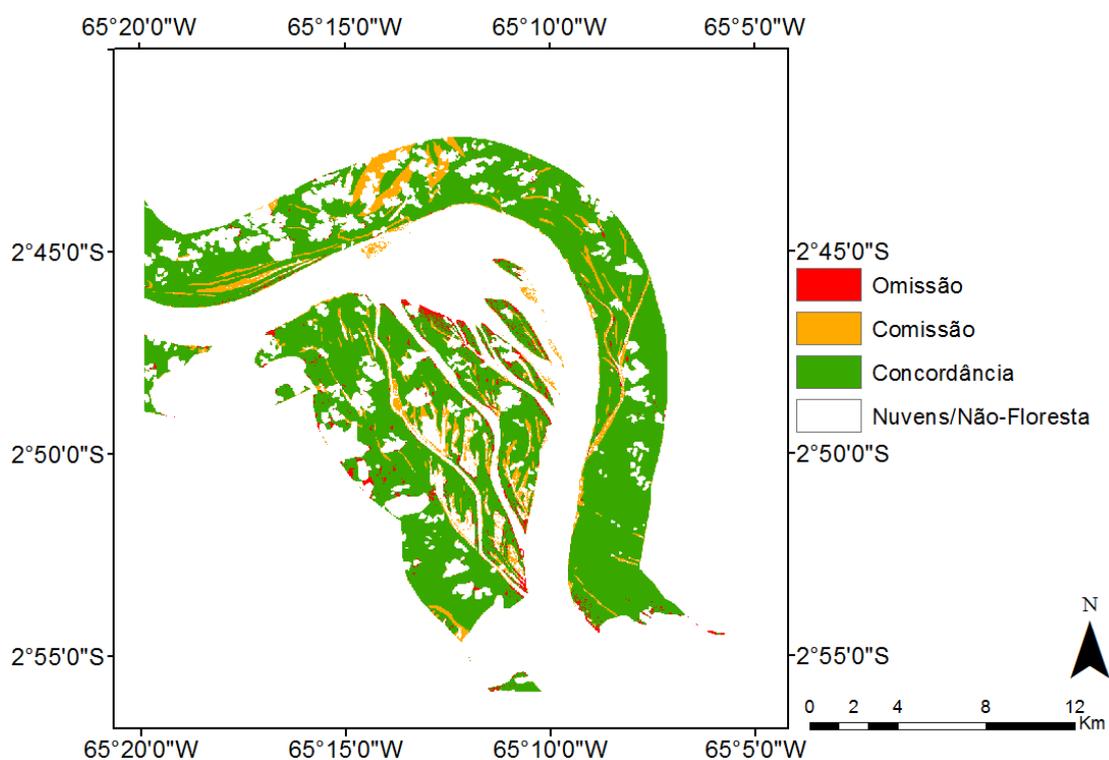


Figura 3: Mapa de concordância entre os mapeamentos realizados, para o ano de 2006.

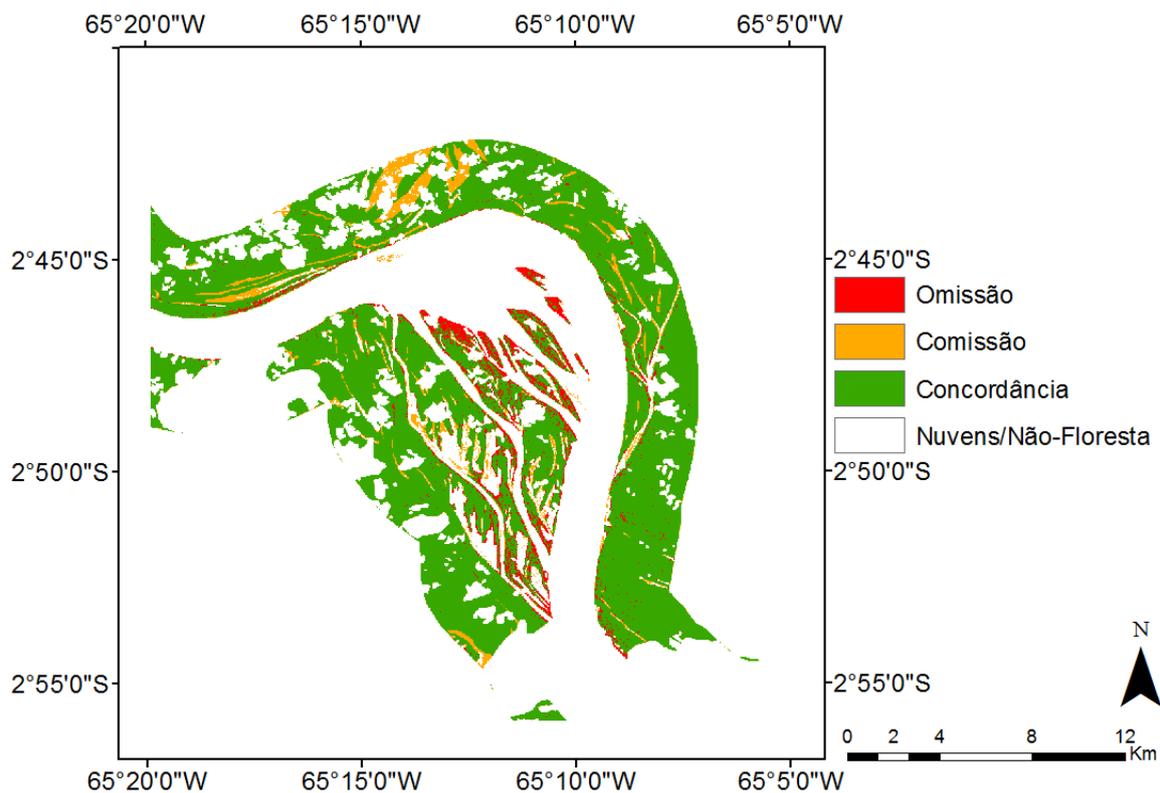


Figura 4: Mapa de concordância entre os mapeamentos realizados, para o ano de 2007.

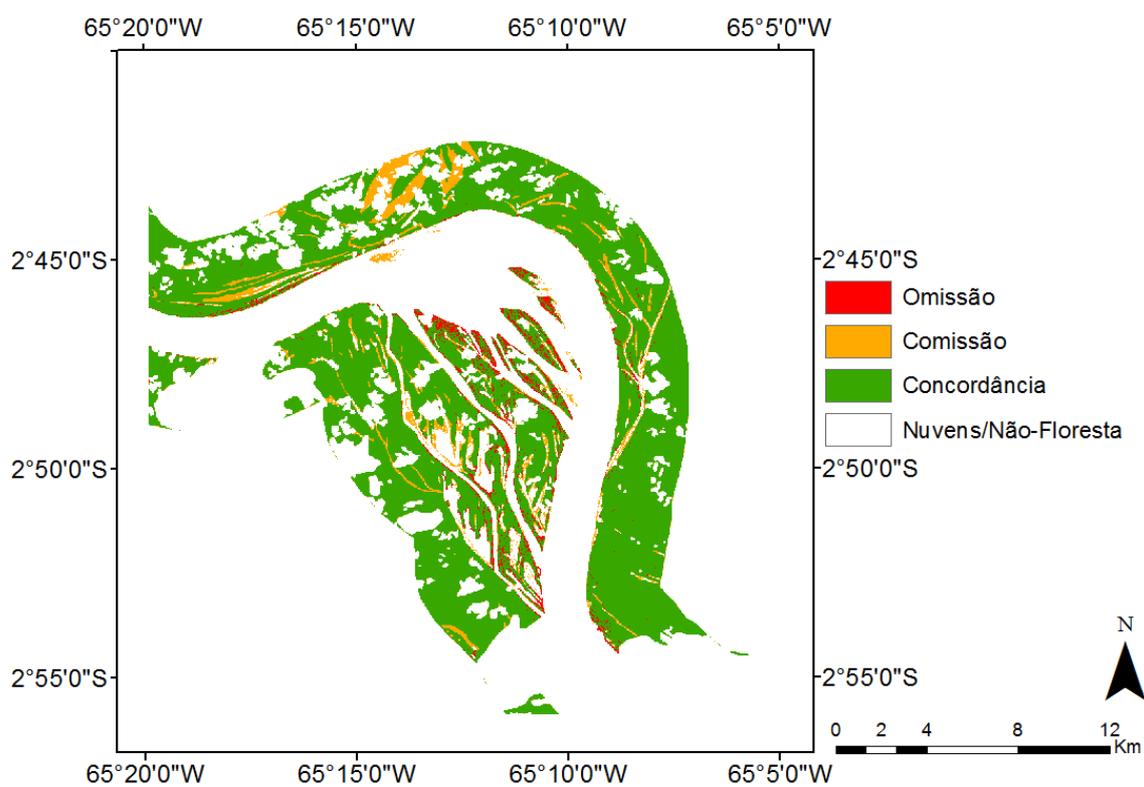


Figura 5: Mapa de concordância entre os mapeamentos realizados, para o ano de 2008.

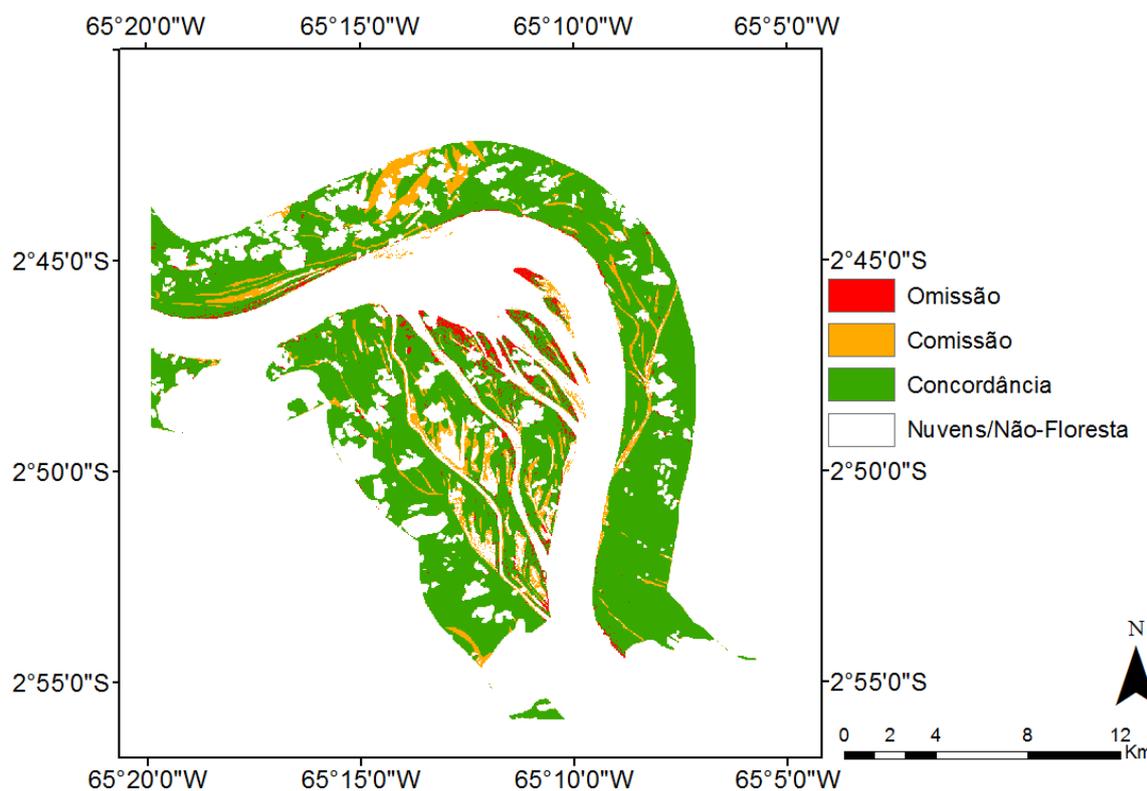


Figura 6: Mapa de concordância entre os mapeamentos realizados, para o ano de 2009.

Observamos que para a área de estudo, o algoritmo CLASlite foi eficiente para o mapeamento da cobertura florestal, uma vez que a diferença entre as áreas geradas pela parametrização mais bem ajustada e o mapeamento manual variou entre -1,1% e 7,9%. Além disso, a geração destes mapas se deu de maneira quase que instantânea. O parâmetro de porcentagem de solo exposto (S) mostrou-se o mais influente na detecção de cobertura florestal, de forma que quanto menor o parâmetro, menor a área mapeada como cobertura florestal. Notamos também que a maior parte das divergências entre os mapeamentos ocorreu em áreas próximas da calha do rio ou em ilhas fluviais, de forma que o estágio de sucessão ecológica pode ter uma influência na eficiência de detecção, com o algoritmo sendo mais eficiente nas áreas com cobertura florestal em estágios mais tardios de sucessão. A cobertura de nuvens também se revelou como um problema, uma vez que a eficiência do algoritmo para o mascaramento destas não é 100% eficiente, gerando erros no mapeamento realizado pelo algoritmo posteriormente, tornando-se necessário, portanto, a utilização de uma máscara de nuvens e sombras.

4. Conclusões

Observamos que o algoritmo do CLASlite foi eficiente no mapeamento de áreas de florestas em estágios não iniciais de sucessão, mostrando maiores dificuldades em áreas mais próximas à calha do rio e corpos d'água. Tal discrepância pode ter sido gerada pelo método utilizado pelo algoritmo (mapeamento subpixel) o que pode ter contribuído para as diferenças em áreas em estágio inicial de sucessão. Tendo em vista, porém, que a demanda de tempo para o pré-processamento e geração destes mapas foi muito menor do que a necessária para a geração dos mapas manuais, o CLASlite se mostrou uma ferramenta bastante útil para o estudo de mudanças associadas à cobertura florestal nas várzeas. Estudos futuros são indicados em regiões com dinâmicas diferentes da área estudada, tanto para o melhor

refinamento da utilização dos parâmetros, como para observar se a mesma eficiência e problemas que encontramos se mantêm.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Ecologia Global do *Carnegie Institute* por disponibilizar as licenças do software CLASlite v3.2. A. B. Beig recebe bolsa PIBIC CNPQ (processo nº 118434/2016-0). B. Darski é bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFRGS. T.S.F. Silva é bolsista de produtividade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 310144/2015-9).

Referências Bibliográficas

- ASNER, G. P; KNAPP, D. E; BALAJI, A; PÁEZ-ACOSTA, G. Automated Mapping of Tropical Deforestation and Forest Degradation: CLASlite. **Journal of Applied Remote Sensing**, Vol. 3, 2009
- DUNNE, T; MERTES, L. A. K; MEADE, R. H; RICHEY, J. E; FORSBERG, B. R. Exchanges of sediment between the floodplain and channel of the Amazon River in Brazil. **Geological Society of America Bulletin**, vol. 110, p. 450-467, 1989
- FERREIRA-FERREIRA, J; SILVA, T. F. S; STREHER, A. S. *et al.* 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**, Vol. 23, p. 41-59, 2015
- FRAGAL, E. H; SILVA, T. S. F; NOVO, E. M. L. M. Reconstructing Forest Cover Change in the Amazon Floodplains Using the LandTrendr Algorithm. **Acta Amazonica**, vol. 46, p. 13-24, 2016
- IRION, G; JUNK, W. J; MELLO, J. A. The large central Amazonian river floodplains near Manaus: Geological, climatological, hydrological and geomorphological aspects. In: JUNK, W. J. The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system. **Ecological studies**, vol 126, 525 p. 1997
- JUNK, W; BAYLEY, P. B; SPARKS, R. E. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. **Proceedings of the International Large River Symposium**, *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences* n. 106, p. 110-127, 1989
- JUNK, W. J. The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system. **Ecological studies**, vol 126, 525 p. 1997
- MELACK, J. M; HESS, L. L. Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. In: JUNK, W. J; PIEDADE, M. T. F; WITTMANN, F; SCHÖNGART, J; PAROLIN, P. Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management. 2010.
- PEIXOTO, J. M. A; NELSON, B. W; WITTMANN, F. Spatial and temporal dynamics of river channel migration and vegetation in central Amazonian white-water floodplains by remote-sensing techniques. **Remote Sensing of Environment**, n.113, p. 2258– 2266, 2009.