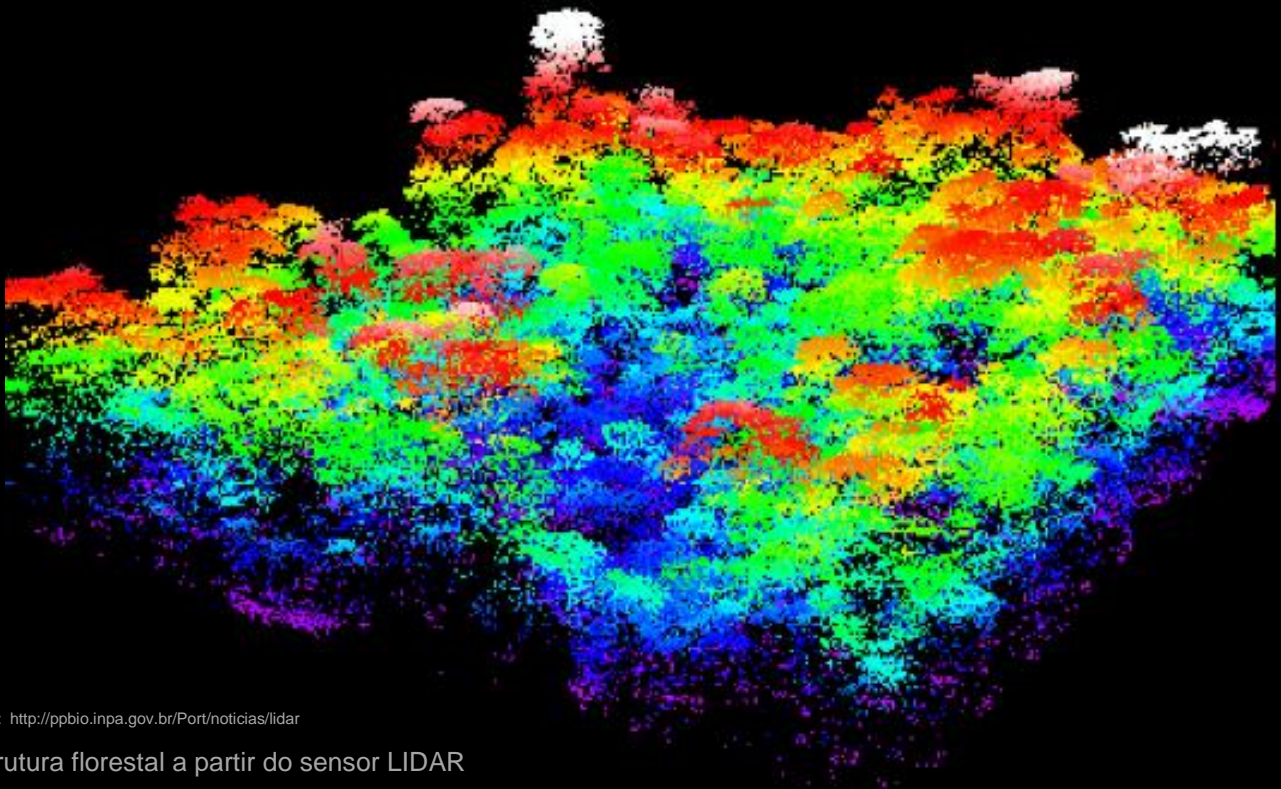




SEMINÁRIO EM DETECÇÃO REMOTA E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM

Trabalho de projecto

Classificação de Espécies Arbóreas com base na análise de detecção remota de dados aéreos multiespectrais de alta resolução



Fonte: <http://ppbio.inpa.gov.br/Port/noticias/lidar>

Estrutura florestal a partir do sensor LIDAR

Índice

1.	Problematização.....	3
2.	Dados e área geográfica de experimentação.....	4
3.	Processamento digital de imagem	5
	3.1 Fluxograma	5
	3.2 Procedimentos Metodológicos Relevantes	6
4.	Análise de exactidão.	10
5.	Análise de resultados.	12
6.	Bibliografia	14
7.	Anexos	16
	7.1 Resultados das Classificações obtidas	16
	7.2 Tabelas	23

1. Problematização

Este trabalho tem por objectivo contribuir para a resolução de problemas operacionais de processamento automático de imagens de detecção remota, que apoiem activamente a gestão florestal sustentável. Esta é de extrema importância para a preservação da biodiversidade nas áreas florestais e silvícolas, necessitando para tal de informação detalhada, nomeadamente, das espécies arbóreas existentes. Nesse sentido, tem como pré-requisitos a existência de inventários florestais, que permitam a monitorização, logo a necessidade de classificação de espécies arbóreas que a ser feita directamente no terreno é cara, morosa e falível.

A pertinência deste trabalho - *classificação e inventariação de espécies arbóreas com base na análise de detecção remota de dados aéreos multiespectrais de alta resolução*, surgiu no seguimento dos interesses individuais constatados por este tema, e consequente eleição da a recensão individual escolhida, que nos levou impreterivelmente á leitura de artigos científicos desta natureza.

A realização deste projecto trouxe-nos uma forte consolidação de conhecimentos nesta área, e permitiu-nos relacionar temáticas e apreender conceitos teóricos, visualizando-os em sede de projecto.

2. Dados e área geográfica de experimentação

Dados:

LOCAL	Sintra
PAÍS	Portugal
SENSOR	Camera aérotransportada DMC
SERIAL NUMBER	DMC01-0129
CBU Serial Number	01000084
DATA SET NAME	F008_0236_rgbn.tif F008_0629_rgbn.tif
FORMATO DOS DADOS	RASTER convertido em GEOTIFF
DATA DE PRODUÇÃO	2010
DADOS DE REFERÊNCIA	Imagem aérea
PRODUTOR	INTERGRAPH
Nº COLUNAS	13824
Nº LINHAS	7680
TAMANHO DO PIXEL	0,231682 x 0,231682 Metros
ÁREA DA IMAGEM	3,2 Km x 1,779 Km
NÚMERO DE BITS	16 Bits
NÚMERO DE BANDAS	4 Bandas
BANDA1	Vermelho
BANDA2	Verde
BANDA3	Azul
BANDA4	Infra-vermelho próximo
SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
SISTEMA REFERENCIA	GEOTIF (Tranverse Mercator)
DATUM	WGS-84
ROTATION	66,690045

Área geográfica de experimentação

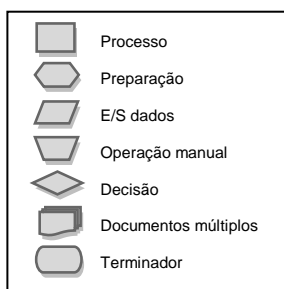
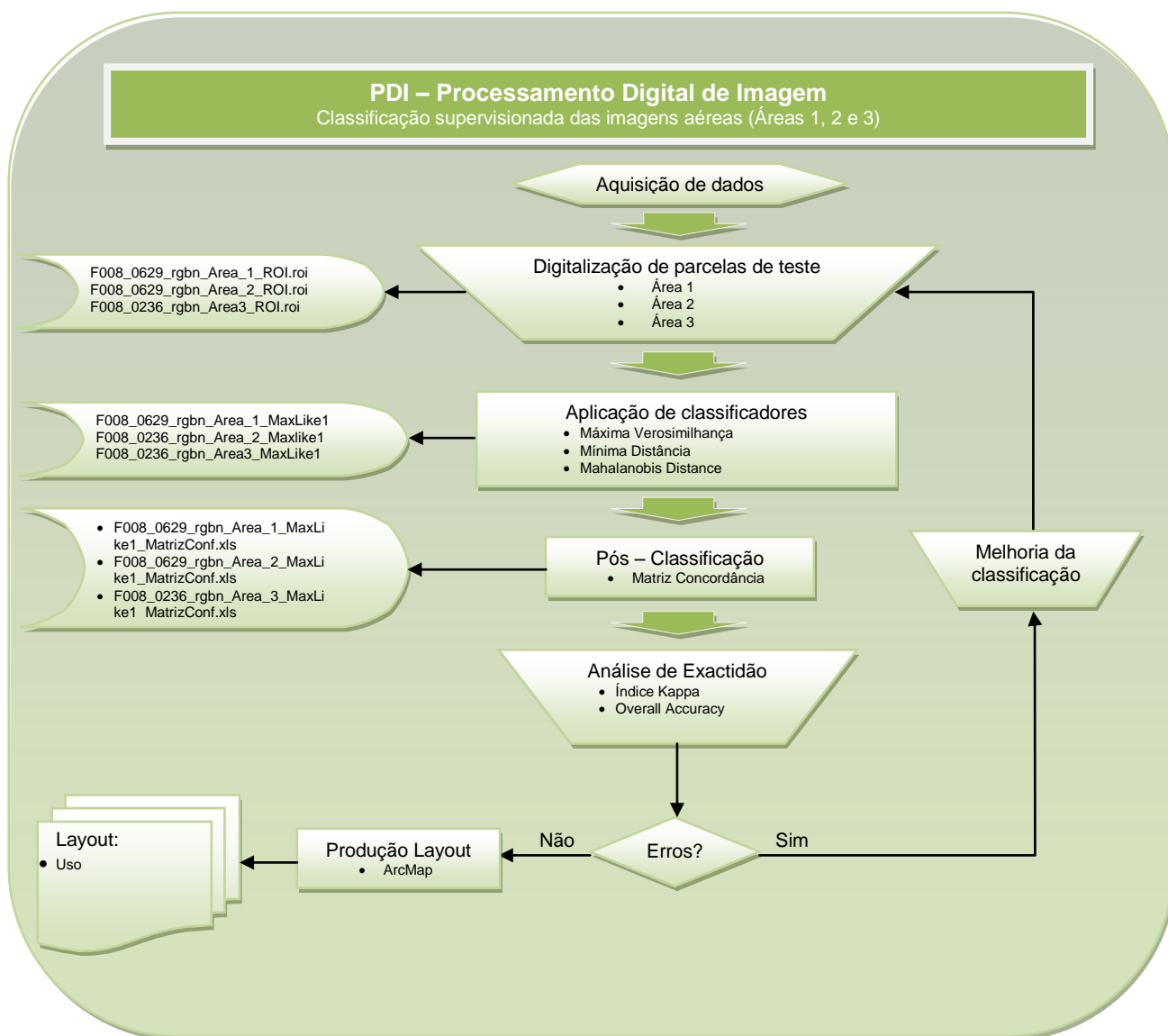
Tendo o projecto como objectivo principal a separação de espécies arbóreas, optamos por efectuar a experimentação com imagens da zona florestal de Sintra por abranger uma grande variedade de espécies.

O projecto teve como áreas de experimentação 3 zonas florestais, para as quais criamos 3 *Spatial Subset* (uma por elemento do grupo) com 5000 linhas por 5000 colunas a partir das imagens originais F008_0236_rgbn.tif e F008_0629_rgbn.tif, com bandas no visível (azul, verde e vermelho) e no infravermelho próximo, obtidas com uma camera DMC da INTERGRAPH, as quais renomeamos acrescentando o número

da área, resultando as imagens *F008_0629_rgbn_Area_1.tif*, *F008_0629_rgbn_Area_2.tif* e *F008_0236_rgbn_Area_3.tif* que nos serviram de base para o projecto.

3. Processamento digital de imagem

3.1 Fluxograma



3.2 Procedimentos Metodológicos Relevantes

O projecto desenvolveu-se numa única etapa/módulo (PDI - Processamento Digital de Imagem), tendo sido aplicados os mesmos procedimentos metodológicos a cada uma das áreas de experimentação.

Esta etapa/módulo foi realizada no software informático ENVI 4.2, consistiu na obtenção de dados/informação, criação de amostras com os temas identificados nas imagens (ROI's), posterior classificação supervisionada (mínima distância, máxima verosimilhança e distância mahalanobis), com o objectivo de identificar e separar espécies arbóreas e por fim, a obtenção de imagens classificadas tendo por base temas agrupados em 3 classe/elementos naturais presentes nas imagens, vegetação, água e solos e áreas artificializadas.

Na sua realização foram efectuados os seguintes procedimentos relevantes:

- Aquisição de dados;
- Digitalização de *parcelas teste* (ROI);
- Aplicação de classificadores;
- Análise de exactidão (tratado num ponto separadamente);
- Melhoria da classificação;
- Generalização temática;
- Análise de resultados (tratado num ponto separadamente).

Aquisição de dados

O procedimento de aquisição de dados consistiu na extracção 3 *Spatial Subset* (uma por elemento do grupo) com 5000 linhas por 5000 colunas a partir das imagens originais F008_0236_rgbn.tif e F008_0629_rgbn.tif com 4 bandas espectrais (azul, verde, vermelho e próximo infravermelho) obtidas com uma camera DMC da INTERGRAPH, na criação de composições coloridas em síntese aditiva RGB e na modificação de contraste, das quais resultaram as imagens *F008_0629_rgbn_Area_1.tif*, *F008_0629_rgbn_Area_2.tif* e *F008_0236_rgbn_Area_3.tif* que nos serviram de base para o projecto.

Como principais características, destaca-se o formato em Geotiff e a muito alta resolução espacial das imagens (pixel=0,231682 x 0,231682 Metros).

Digitalização de parcelas/áreas de teste (ROI)

As parcelas/áreas de teste representam o comportamento médio dos temas que deverão ser classificados automaticamente.

Neste projecto, a digitalização das parcelas de teste foi organizada tendo por base 4 temas agregadores, *vegetação, água, solos/territórios artificializados e sombra*, utilizando os critérios cor, forma e textura/densidade respectivamente e usando 3 amostras de parcelas com diferentes referenciais, ou seja, uma amostra por cada elemento do grupo não contendo necessariamente o mesmo número de temas.

A digitalização foi efectuada sobre as imagens em síntese aditiva falsa cor de cada uma das áreas e a metodologia usada para atribuição de identificadores aos temas, foi de ROI's diferentes para temas diferentes, de onde resultaram os temas por classes e por áreas da tabela 11 *Temas/ROI's identificadas e criados por área de experimentação* em anexo.

Separadamente às classes agregadoras, criamos a classe *sombra*, para conseguirmos separa-la/isola-la dos outros elementos e posteriormente, poderemos reclassifica-la nos temas correspondentes. De igual modo, procedemos com os temas efectuados sobre os telhados, que por apresentarem cores diferentes criamos temas diferentes, para posteriormente nos permitir reclassifica-los e agrega-los num só.

Quanto às parcelas, em cada uma das amostras e por cada tema (ROI) digitalizamos entre 4 a 8 polígonos em áreas com reflectâncias espectrais semelhantes (critério cor), respeitando as formas e texturas/densidades e atribuindo-lhes a mesma ROI.

O critério primário usado foi a cor por ser o critério dominante para imagens aéreas DMC.

Aplicação de classificadores

Esta etapa consiste em agrupar conjuntos de pixéis com o mesmo comportamento espectral em classes/temas diferentes, tendo como referência as assinaturas espectrais de cada tema, ou seja, a classificação de temas foi feita pela escolha das características que os descrevem para os diferenciar entre si.

O método utilizado foi a classificação supervisionada, em que os classificadores orientam a sua procura de classes/temas a partir das parcelas de teste criadas anteriormente para as regiões de interesse (ROI's). O princípio deste tipo de classificação, baseia-se no uso de algoritmos para determinar os pixéis que representam valores de reflexão específicos para cada um dos temas a classificar.

Os classificadores utilizados foram a máxima verosimilhança (MaxLike) que se baseia na noção de *função de densidade de probabilidade*, mínima distância (MinDist) que assenta na noção de *média de cada classe/tema* em cada uma das bandas espectrais, atribuindo cada um dos pixéis desconhecidos à classe/tema cuja média seja mais próxima dele e distancia mahalanobis (MahaDist), idêntico à mínima distancia com excepção para o pressuposto de que as co-variâncias das amostras são iguais. As tabelas 2 a 10 em anexo apresentam os parâmetros fixos e variáveis utilizados nas diferentes classificações de cada uma das áreas.

No sentido de aferirmos a melhor classificação, aplicamos os mesmos classificadores a todas as áreas de experimentação, variando os seguintes parâmetros:

- *Máxima Verosimilhança* – N^o de bandas e probabilidades de pertença;
- *Mínima Distancia* - N^o de bandas, máximo desvio padrão à média e máxima distância de erro;
- *Distancia Mahalanobis* - N^o de bandas e máxima distância de erro.

Das classificações efectuadas, constatou-se ser o classificador *Máxima Verosimilhança* com as 4 bandas e *Set probability threshold = None* o que melhores resultados apresentou para as 3 áreas, daí resultando as imagens *F008_0629_rgbn_Area_1_MaxLike1*, *F008_0629_rgbn_Area_2_MaxLike1* e *F008_0236_rgbn_Area_3_MaxLike1*.

Relativamente à análise da precisão global (Overall accuracy), que consiste na proporção entre o número total de amostras correctamente classificadas (valores da diagonal principal) e a dimensão da amostra, que mede a qualidade da classificação como um todo, ou seja, sem a indicação da qualidade dos temas analisados, verificou-se existir uma precisão elevada (87,7066%, 91,0909% e 84,3120% respectivamente) em todas as áreas de experimentação. De igual modo, na análise do índice K que testa a exactidão da classificação relativamente aos elementos presentes na imagem, também se verificou existir uma concordância elevada ($> 0,8$) nas 3 áreas. No entanto, manteve-se alguma confusão espectral nos temas *solo_2* (50,14%) com *solo_7* (41,26%) da Área 1 e *veget_11* (62,3%) com *veget_9* (21,73%) e *solo_5* (55,64%) com *solo_4* (31,56%) da Área 3, por apresentarem reflectâncias idênticas, os quais não foi possível eliminar, possivelmente devido à abordagem utilizada (pixel – pixel).

Desta forma e para cada uma das classificações foram definidos padrões a partir das parcelas de teste digitalizadas, que por sua vez determinou um padrão sobre a totalidade da imagem.

Após a classificação, o resultado final foi apresentado na forma de uma imagem de uma só banda.

Melhoria da classificação

A *Melhoria da classificação* utiliza-se quando existe confusão espectral.

Após análise da matriz de concordância de cada uma das áreas, e no sentido de melhorarmos os temas com maior confusão espectral, aumentamos o número de temas, digitalizamos novas parcelas de teste para os temas criados, refizemos as classificações e recalculamos a concordância tendo obtido os ficheiros *F008_0629_rgbn_Area_1_MaxLike1*, *F008_0629_rgbn_Area_2_MaxLike1* e *F008_0236_rgbn_Area3_MaxLike1*.

Generalização temática

Esta etapa corresponde à aplicação de filtros, que podem ser de dois tipos: de *realce*, que destacam as transições radiométricas bruscas e os de *alisamento* que atenuam essas transições.

Neste trabalho, não foi efectuada a generalização temática por entendermos não ser necessária para os objectivos do trabalho, bem como, pelo facto de existir uma grande variância espectral e elevada resolução radiométrica na imagem.

4. Análise de exactidão.

A análise de exactidão é aferida pelo cálculo da concordância na matriz de confusão, que possibilita identificar o erro global da classificação, em cada tema e a forma como se deram as confusões entre temas, para testar o resultado de uma classificação comparando os dados de amostras independentes (ex: uma de cada elemento do grupo) se traduzem numa classificação concordante. Neste caso e por se tratar de 3 áreas distintas, a matriz de concordância foi efectuada para cada uma das áreas de experimentação, para avaliar a qualidade das classificações (imagem classificada) e a amostra com a verdade de campo (ROI's).

Nesse sentido, após análise das matrizes de concordância das primeiras classificações, efectuamos a sua melhoria, novas classificações e posteriormente, novas matrizes para as áreas 1 e 3, onde obtivemos valores de precisão global de 87,7066% para a área 1, de 91,0909% para a área 2 e de 84,3120% para a área 3 e concordância globais (index Kappa) de 0,8693 para a área 1, de 0,9025 para a área 2 e de 0,8328 para a área 3 (ver tabelas 12, 13 e 14 em anexo). Os melhores resultados obtidos na área 2 poder-se-ão ter ficado a dever à maior homogeneidade da área 2 relativamente às restantes, conforme se pode verificar pelos menores valores da variância e desvio padrão da tabela 1.

	Banda	Área 1	Área 2	Área 3
Média	Azul	13 686,611 412	12 627,091 199	9 575,860 950
	Verde	14 212,742 849	12 466,238 028	10 030,857 032
	Vermelho	14 137,213 333	12 727,707 214	10 332,841 381
	IV Próximo	26 964,710 277	23 934,270 864	23 437,341 686
DesvPad	Azul	10 394,364 442	8 000,019 417	8 224,850 724
	Verde	8 697,360 863	6 749,929 977	7 282,100 629
	Vermelho	6 743,606 783	5 557,749 990	5 632,049 405
	IV Próximo	12 549,593 679	10 630,667 073	13 074,679 719
Variância	Azul	108 042 812,153 114	64 000 310,672 377	67 648 169,432 083
	Verde	75 644 085,981 244	45 561 554,694 403	53 028 989,570 882
	Vermelho	45 476 232,443 724	30 888 584,951 345	31 719 980,500 361
	IV Próximo	157 492 301,507 997	113 011 082,416 966	170 947 249,754 430

Tabela 1 – Média, desvio padrão e variância por área de experimentação

No entanto, apesar das classificações apresentarem uma *concordância elevada*, é de referir a existência de alguns temas com confusão espectral expressiva nas áreas 1 e 3, devido à existência nas imagens de valores de reflectância iguais para elementos diferentes, os quais não foi possível eliminar, possivelmente devido à abordagem utilizada (pixel – pixel), que não nos permitiu utilizar a *forma* e a *textura* para melhorar as classificações.

Assim, a Área 1 apresenta confusão espectral entre os temas *solo_2* (50,14%) e *solo_7* (41,26%), que correspondem a caminhos e telhados de lusalite, ambos de cor branca. De igual modo, a Área 3 apresenta alguma confusão espectral entre os temas *veget_11* (62,3%) e *veget_9* (21,73%) e *solo_5* (55,64%) e *solo_4* (31,56%), que representam copas e matos rasteiros secos de cor cinzenta e caminhos e telhados de cor branca.

Analisando os erros de *omissão* e *comissão* que consistem em verificar a percentagem de pixéis excluídos do tema ao qual pertencem e na inclusão em temas aos quais não pertencem na realidade, respectivamente, constata-se existirem problemas na *veget_12* e *solo_2* da área 1 e *veget_11* e *solo_5* da área 3 relativamente à omissão e *veget_12*, *solo_3* e *solo_7* da área 1, *agua_2* e *sombra_1* da área 2 e *veget_10* da área 3 relativamente aos erros de comissão. A precisão do *produtor* relaciona-se com os erros de *omissão*, sendo a quantidade/percentagem de pixéis bem classificados em cada tema (precisão do *produtor* = diagonal principal = 100% - erro de omissão) e a precisão do *utilizador* relaciona-se com os erros de

comissão (precisão *utilizador* = 100% - erro de comissão) conforme apresentamos na tabela 15 em anexo).

5. Análise de resultados.

Considerando-se a muito alta resolução espacial das imagens aéreas utilizadas no projecto, ou seja, um pixel capaz de identificar objectos com 22 centímetros, era de se esperar que a interpretação visual das imagens proporcionassem uma exactidão elevada, pelo facto de permitir identificar os diferentes tipos de elementos contidos nas imagens de forma mais precisa relativamente a imagens de menor resolução espacial.

Sendo o objectivo deste trabalho a classificação de espécies arbóreas através de imagens de muito alta resolução, pensamos que globalmente, poder-se-á assumir que os resultados obtidos foram satisfatórios, dado que deles resultou um elevado número de classes sem grande confusão espectral. No entanto, verificou-se existir alguma confusão espectral nalguns temas, que nos levam a questionar *em que medida dados de muito alta resolução espacial permitem uma melhor separação espectral de espécies arbóreas.*

Nesse sentido, partido da experimentação efectuada em 3 áreas de teste distintas, parece-nos que a resolução espacial muito elevada pode causar alguns problemas (ruído) na extracção automática dos elementos pela sua assinatura espectral, inferindo-se que resoluções espaciais elevadas poderão não ser solução para resolver o problema da separação de espécies arbóreas, mas sim, a conjugação das resoluções espacial e espectral. Simonelli Cardoso Fernandes conclui na sua Dissertação de Mestrado que a *“Os resultados do desempenho médio das classificações foram maiores para as imagens multiespectrais. Isso mostra que no caso das imagens pancromáticas, apesar da alta resolução espacial para a classificação, o principal factor interferente para o aumento do desempenho médio de classificação é a limitada qualidade espectral”* (FERNANDES, 2005, pag. 90). Por outro lado, também Tarek Rashed afirma *“maior resolução espacial em imagens de detecção remota é normalmente acompanhada por um aumento do nível de ruído nos dados, que tende a confundir a interpretação (...), no sensoriamento da superfície da Terra, sistemas hiperespectrais com um grande número de bandas espectrais estreitas para a identificação, precisa das propriedades químicas e físicas de materiais*

(...). *No entanto, dados de detecção remota com melhores técnicas de análise espectral e resolução espacial, e imagens mais especializadas, normalmente são necessárias quando é desejado um nível mais detalhado de discriminação de classes da cobertura da terra no processo de mapeamento.*” (RASHED et al, pag. 23, 49 e 54).

No entanto, Duccio Rocchini ao citar Kerr e Ostrovsky afirma que “*dados de satélite com resolução espacial mais fina parece permitir estreitar o fosso entre campo e dados de detecção remota de satélites de baixa resolução e garantir uma significativa relação entre heterogeneidade espectral e riqueza de espécies.*” e que por outro lado “*a resposta espectral de diferentes características de coberturas do solo (e, portanto, diferentes espécies) em imagens com maior resolução espectral deve apresentar maior complexidade, extensão do raciocínio, complexidade baseada nas assinaturas espectrais. Heterogeneidade espectral pode ser a base para a sustentação de amostragem do trabalho de campo baseado espécies, o que poderá melhorar os dados de detecção remota.*” (ROCCHINI, 2007, pag. 431). De referir ainda Matthew L. Clark que afirma “*Um grande desafio é desenvolver sistemas de classificação que podem maximizar a informação espectral, espacial e temporal contida nas imagens digitais enquanto acomoda inerentes variação dentro de espécies.*” (CLARK, 2005, pag. 22).

Para sustentar o anteriormente referido, o trabalho de projecto deverá ser complementado com a análise de outras imagens das mesmas áreas de estudo e temporalmente próximas, conjugando menores resoluções espaciais com maiores resoluções espectrais.

Para futuras análises, dever-se-á utilizar dados de referência baseados em amostras verdadeiras (verdade de campo), com medições efectuadas em cima da copa das árvores com um espectrorradiómetro, posição de cada árvore no povoamento florestal, identificação da espécie arbórea, bem como, outros parâmetros florestais.

6. Bibliografia

- CAETANO, M., (2009), *Classificação de imagens AWiFS com uma abordagem combinada pixel/objecto*, in http://www.igeo.pt/gdr/pdf/Costa_XIV_SBSR2009.pdf (acedido em Outubro de 2010).
- CENTRO CANADENSE DR, *Glossary of remote sensing terms*, http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=pt-PT&sl=en&u=http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/glossary/index_e.php%3Fid%3D2965&prev=/search%3Fq%3DOverall%2Baccuracy%26hl%3Dpt-PT%26rlz%3D1R2SKPT_pt-PTPT397%26prmd%3Divns&rurl=translate.google.pt&twu=1&usq=ALkJrhqV6rvBGI61sZGZUdricD8CkEtrLq (acedido em Janeiro de 2011).
- CLARK, M. L. et al, (2005), *Hyperspectral discrimination of tropical rain forest tree species at leaf to crown scales*. In http://www.geog.ucsb.edu/viper/viper_pubs/clark_et_al2005.pdf (acedido em Janeiro de 2011),
- ENCARNAÇÃO, S., *Interpretação da dimensão geográfica do objecto em detecção remota*, in http://www.apgeo.pt/files/docs/CD_V_Congresso_APG/web/_pdf/C_1_2_1_14Out_Encarnacao_Interpretacao.pdf (acedido em Outubro de 2010).
- FERNANDES, S. C., (2005), *Avaliação de imagens de satélite de alta e muito alta resolução espacial para a discriminação de classes de uso e ocupação do solo – Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos*, Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia, Brasil, in <http://vsites.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/diss-ptarh/Dissertacao%20079%20-%20SIMONELLI.pdf> (acedido em Janeiro de 2011):
- KERR, J. T., & Ostrovsky, M. (2003). *From space to species: Ecological applications for remote sensing*. Trends in Ecology and Evolution, 18, 299–305.

MURTEIRA, C. B., et al, (2009), *Classificação Orientada a Objectos na Geração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro*, in <http://mar.te.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.16.04.39/doc/7789-7796.pdf> (acedido em Outubro de 2010).

RASHED, T., et al, *Remote Sensing and Digital Image Processing – Volume 10*, EARSeI Series Editor/Springer, Porto.

ROCCHINI, D., (2007), *Effects of spatial and spectral resolution in estimating ecosystem α -diversity by satellite imagery*, ELSVIER/ScienceDirect, in http://www.rocchini.net/pdf/rem_sens_env_alpha.pdf (acedido em Janeiro 2011).

http://www.isa.utl.pt/dm/geomat/geomat/Taula26_Validacao_NDVI.pdf, *Avaliação da precisão de uma carta temática obtida por processamento de imagens multiespectrais*, (acedido em Janeiro de 2011).

http://pt.wikilingue.com/es/Matriz_de_confus%C3%A3o (acedido em Outubro de 2010)

http://www.conferences.earsel.org/system/uploads/asset/file/88/earsel-symposium-2010_8-01.pdf (acedido em Outubro de 2010).

7. Anexos

7.1 Enquadramento



7.2 Resultados das Classificações obtidas

Imagem classificada da Área 1 pelo classificador Máxima Verosimilhança

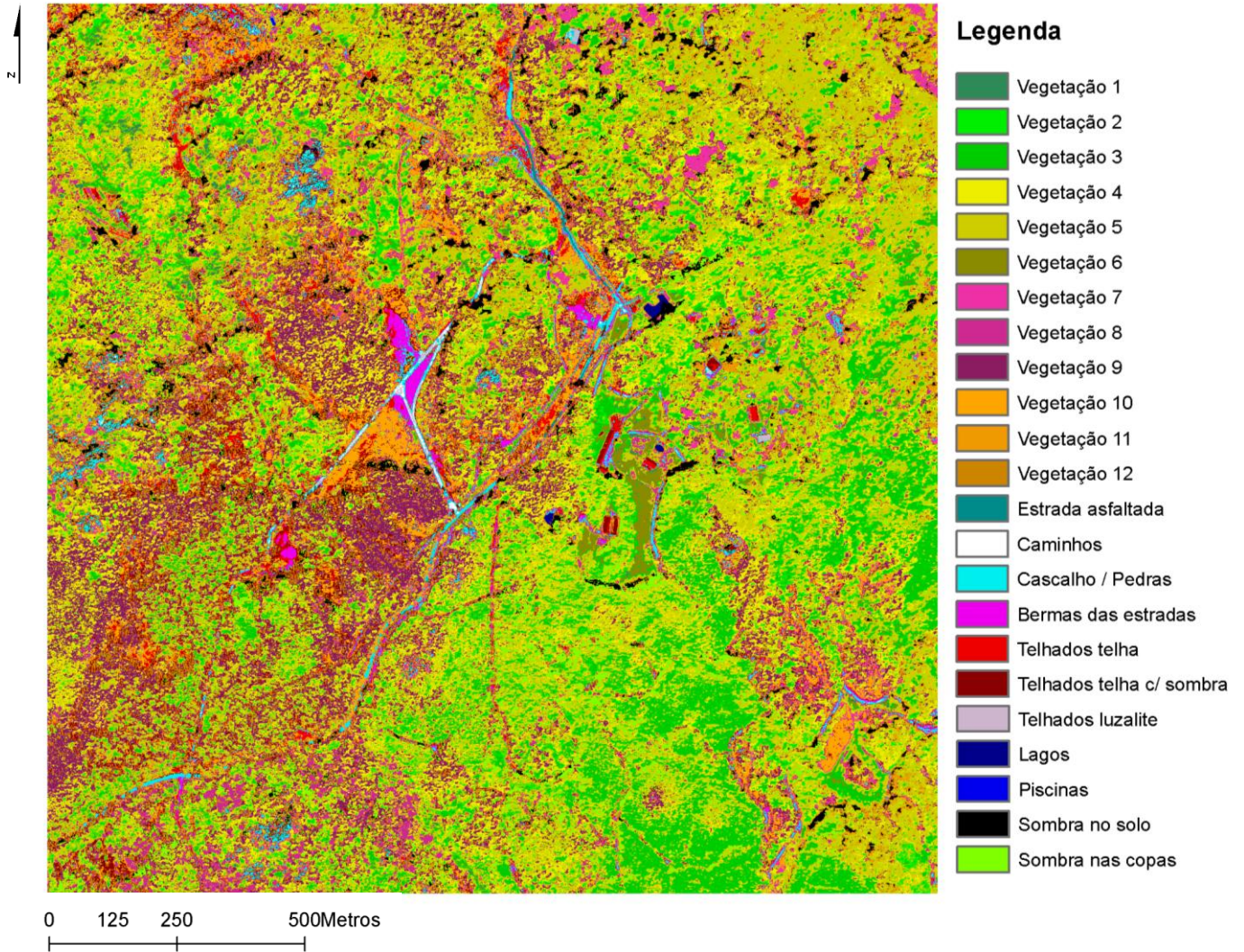


Imagem classificada da Área 2 pelo classificador Máxima Verosimilhança

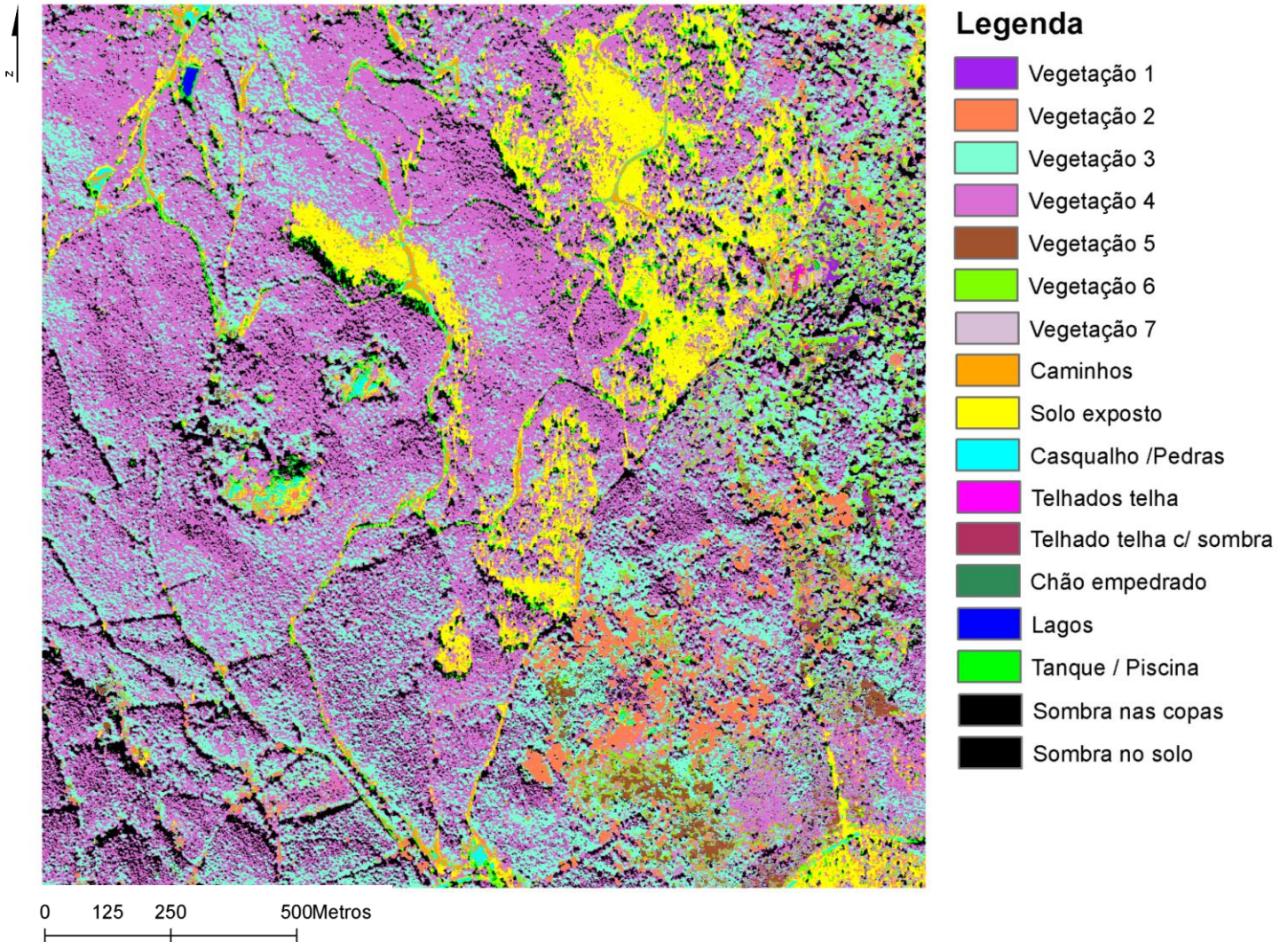
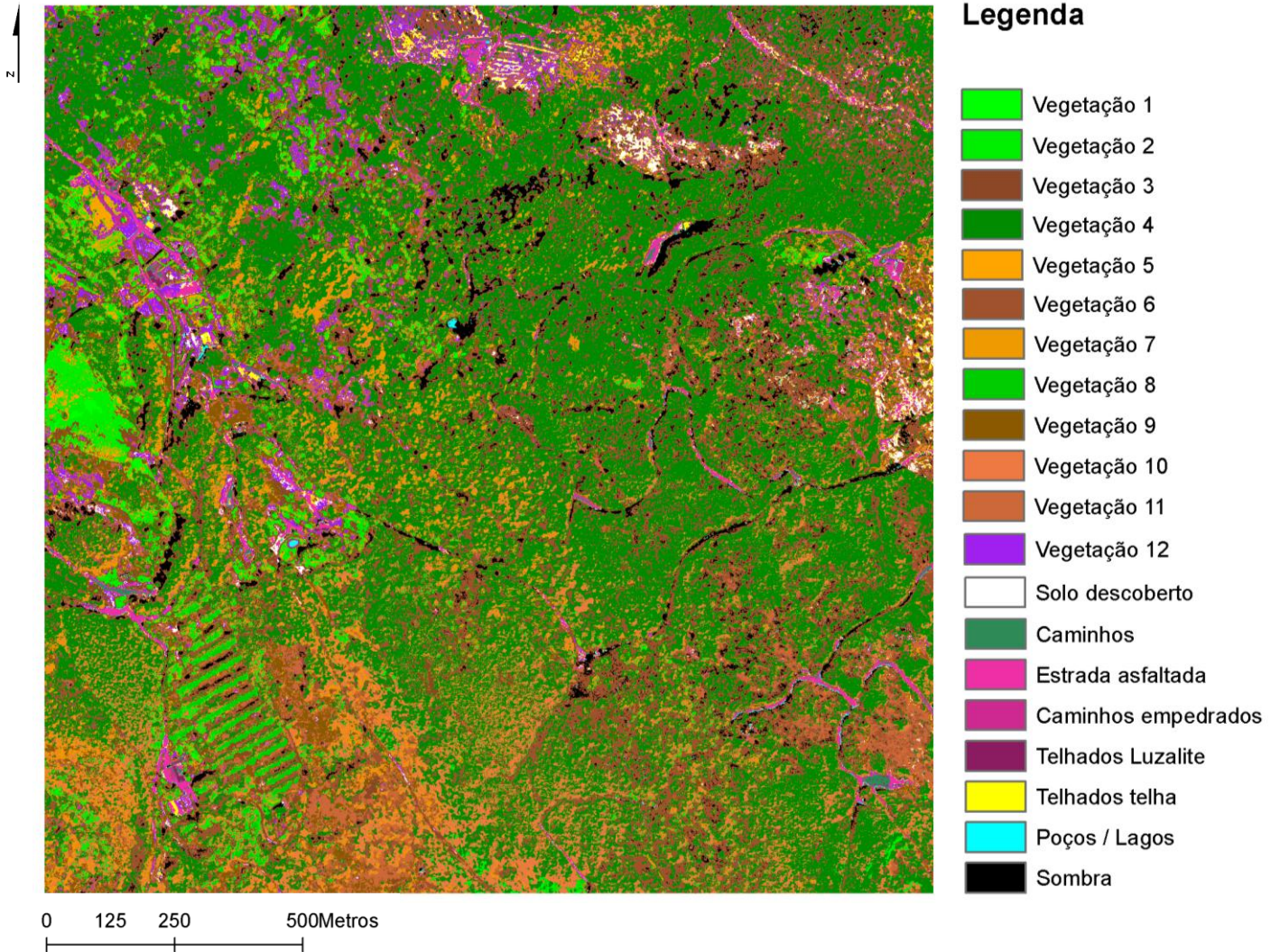
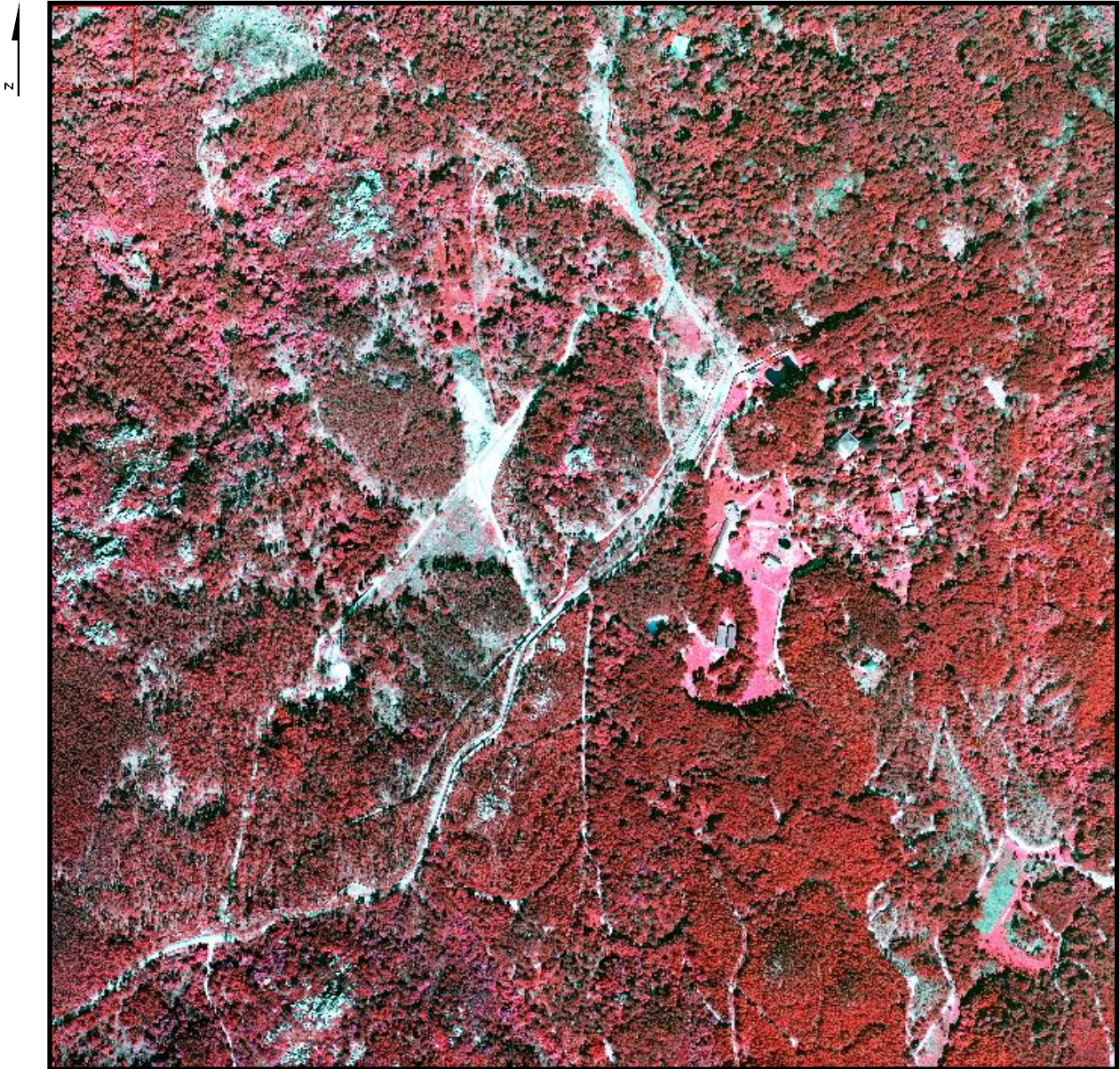


Imagem classificada da Área 3 pelo classificador Máxima Verosimilhança

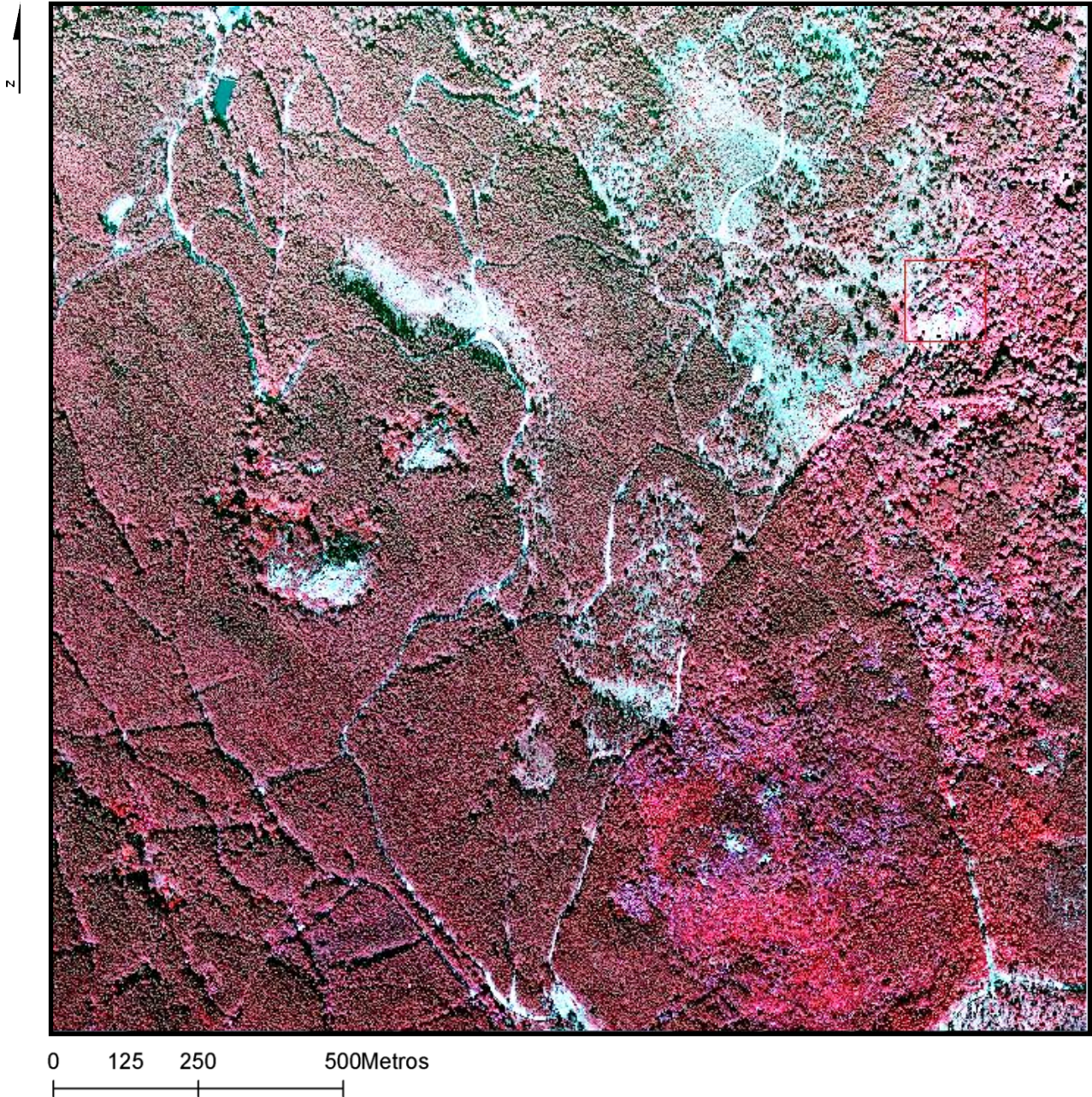


Área 1 - Spacial Subset da Imagem classificada F008_0629_rgbn.tif

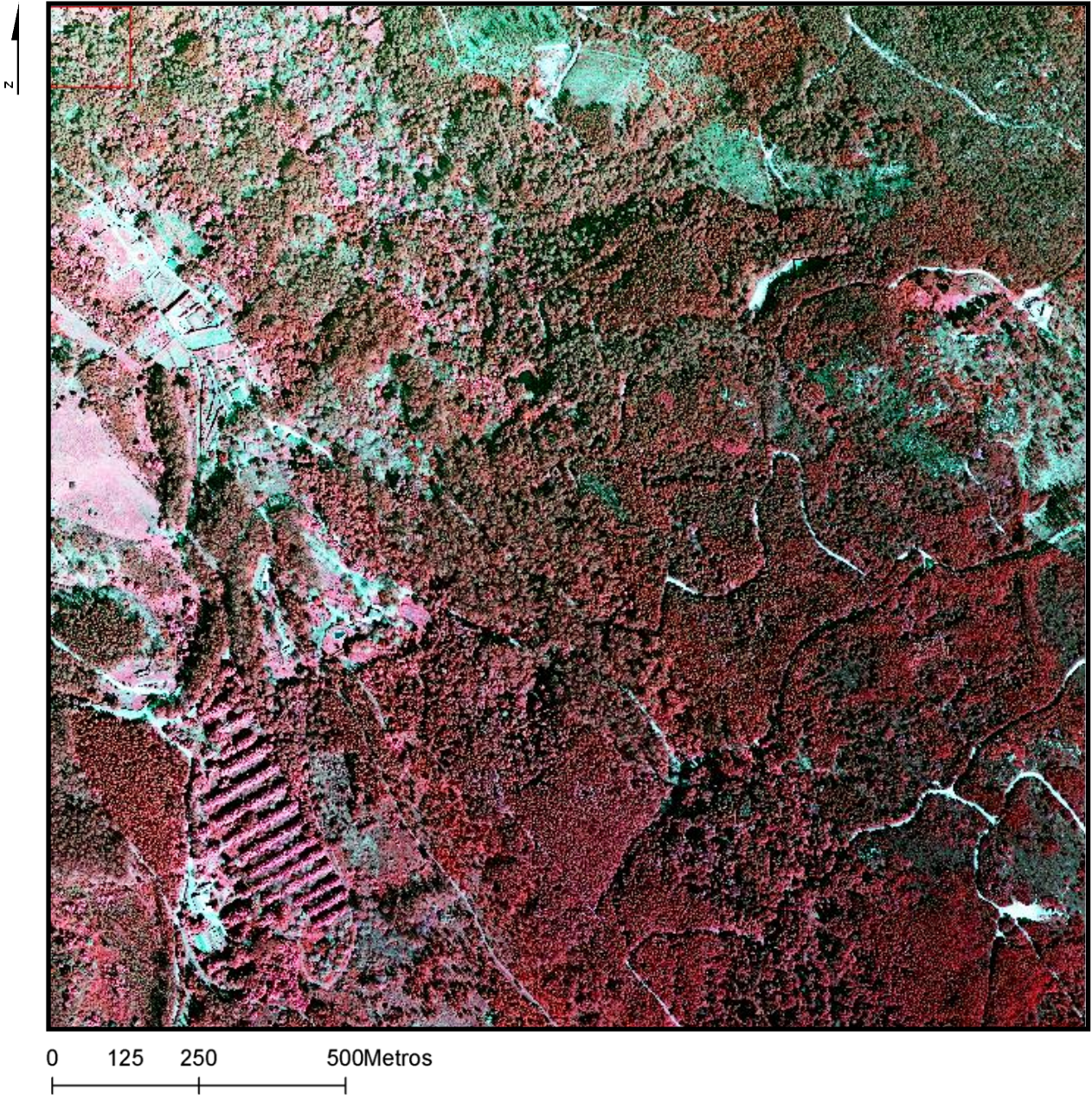


0 125 250 500Metros

Área 2 - Spacial Subset da Imagem classificada F008_0629_rgbn.tif



Área 3 - Spacial Subset da Imagem classificada F008_0236_rgbn.tif



7.3 Tabelas

Classificadores – parâmetros

- Área 1

Classificador	Parâmetros					Ficheiro Output
	Spetral Subset	Nº ROI	Probabilidade			
			None	Single	Multiple	
Máxima Verosimilhança	1-2-3-4	23	X			F008_0629_rgnb_Area_1_MaxLike1
	1-3-4	23	X			F008_0629_rgnb_Area_1_MaxLike2
	1-2-3-4	23		X		F008_0629_rgnb_Area_1_MaxLike3
	1-3-4	23		X		F008_0629_rgnb_Area_1_MaxLike4

Tabela 2 – Parâmetros usados no classificador máxima verosimilhança (LIKELIHOOD) – Área 1

Classificador	Parâmetros										Ficheiro	
	Spetral Subset	Nº ROI	Max Desvpad à média			Max distância de erro						
			None	Single	Multiple	Valor	None	Single	Multiple	Valor		
Distância mínima	1-2-3-4	23	X						X			F008_0629_rgnb_Area_1_MinDist1
	1-3-4	23	X					X				F008_0629_rgnb_Area_1_MinDist2
	1-2-3-4	23		X						X		F008_0629_rgnb_Area_1_MinDist3
	1-2-3-4	23		X		9000				X		F008_0629_rgnb_Area_1_MinDist4
	1-2-3-4	23		X		10000				X		F008_0629_rgnb_Area_1_MinDist5
	1-2-3-4	23		X		11000				X		F008_0629_rgnb_Area_1_MinDist6
	1-2-3-4	23		X		12000				X		F008_0629_rgnb_Area_1_MinDist7

Tabela 3 – Parâmetros usados no classificador mínima distância – Área 1

Classificador	Parâmetros						Ficheiro
	Spetral Subset	Nº ROI	Max Distance Error				
			None	Single	Multiple	Valor	
Mahalanobis_Distance	1-2-3-4	23	X				F008_0629_rgnb_Area_1_MahaDist1
	1-3-4	23	X				F008_0629_rgnb_Area_1_MahaDist2
	1-3-4	23		X			F008_0629_rgnb_Area_1_MahaDist3
	1-2-3-4	23		X			F008_0629_rgnb_Area_1_MahaDist4

Tabela 4 – Parâmetros usados no classificador mahalanobis distância – Área 1

- Área 2

Classificador	Parâmetros					Ficheiro Output
	Spetral Subset	Nº ROI	Probabilidade			
			None	Single	Multiple	
Máxima Verosimilhança	1-2-3-4	17	X			F008_0629_rgbn_Area_2_MaxLike1
	1-3-4	17	X			F008_0629_rgbn_Area_2_MaxLike2
	1-2-3-4	17		X		F008_0629_rgbn_Area_2_MaxLike3
	1-3-4	17		X		F008_0629_rgbn_Area_2_MaxLike4

Tabela 5 – Parâmetros usados no classificador máxima verosimilhança (LIKELIHOOD) – Área 2

Classificador	Parâmetros										Ficheiro Output	
	Spetral Subset	Nº ROI	Max Desvpad à média				Max distancia de erro					
			None	Single	Multiple	Valor	None	Single	Multiple	Valor		
Distância mínima	1-2-3-4	17	X					X				F008_0629_rgbn_Area_2_MinDist1
	1-3-4	17	X					X				F008_0629_rgbn_Area_2_MinDist2
	1-2-3-4	17		X					X			F008_0629_rgbn_Area_2_MinDist3
	1-2-3-4	17		X		6000			X			F008_0629_rgbn_Area_1_MinDist4
	1-2-3-4	17		X		7000			X			F008_0629_rgbn_Area_1_MinDist5
	1-2-3-4	17		X		8000			X			F008_0629_rgbn_Area_1_MinDist6
	1-2-3-4	17		X		9000			X			F008_0629_rgbn_Area_1_MinDist7

Tabela 6 – Parâmetros usados no classificador mínima distância – Área 2

Classificador	Parâmetros						Ficheiro Output
	Spetral Subset	Nº ROI	Max Distance Error				
			None	Single	Multiple	Valor	
Mahalanobis_Distance	1-2-3-4	17	X				F008_0629_rgbn_Area_1_MahaDist1
	1-3-4	17	X				F008_0629_rgbn_Area_1_MahaDist2
	1-3-4	17		X			F008_0629_rgbn_Area_1_MahaDist3
	1-2-3-4	17		X			F008_0629_rgbn_Area_1_MahaDist4

Tabela 7 – Parâmetros usados no classificador mahalanobis distância – Área 2

- Área 3

Classificador	Parâmetros					Ficheiro Output
	Spectral Subset	Nº ROI	Probabilidade			
			None	Single	Multiple	
Máxima Verosimilhança	1-2-3-4	20	X			F008_0236_rgbn_Area_3_MaxLike1
	1-3-4	20	X			F008_0236_rgbn_Area_3_MaxLike2
	1-2-3-4	20		X		F008_0236_rgbn_Area_3_MaxLike3
	1-3-4	20		X		F008_0236_rgbn_Area_3_MaxLike4

Tabela 8 – Parâmetros usados no classificador máxima verosimilhança (LIKELIHOOD) – Área 3

Classificador	Parâmetros									Ficheiro	
	Spectral Subset	Nº ROI	Max Desvpad à média				Max distancia de erro				
			None	Single	Multiple	Valor	None	Single	Multiple		Valor
Distância mínima	1-2-3-4	20	X						X		F008_0236_rgbn_Area_3_MinDist1
	1-3-4	20	X						X		F008_0236_rgbn_Area_3_MinDist2
	1-2-3-4	20		X						X	F008_0236_rgbn_Area_3_MinDist3
	1-2-3-4	20		X		9000				X	F008_0236_rgbn_Area_3_MinDist4
	1-2-3-4	20		X		10000				X	F008_0236_rgbn_Area_3_MinDist5
	1-2-3-4	20		X		11000				X	F008_0236_rgbn_Area_3_MinDist6
	1-2-3-4	20		X		12000				X	F008_0236_rgbn_Area_3_MinDist7

Tabela 9 – Parâmetros usados no classificador mínima distância – Área 3

Classificador	Parâmetros						Ficheiro
	Spectral Subset	Nº ROI	Max Distance Error				
			None	Single	Multiple	Valor	
Mahalanobis_Distance		20	X				F008_0236_rgbn_Area_3_MahaDist1
	1-3-4	20	X				F008_0236_rgbn_Area_3_MahaDist2
	1-3-4	20		X			F008_0236_rgbn_Area_3_MahaDist3
		20		X			F008_0236_rgbn_Area_3_MahaDist4

Tabela 10 – Parâmetros usados no classificador mahalanobis distância – Área 3

Temas/ROI's identificados e criados por área de experimentação – Áreas 1, 2 e 3

Classes	Área 1			Área 2		Área 3	
	Temas	Descrição	Cor	Descrição	Cor	Descrição	Cor
Vegetação – veget_	1	Copas rosa claro	Verde mar	Copas rosa claro	Púrpura	Copas rosa claro	Verde
	2	Copas rosa	Verde 1	Copas violeta	Coral	Mato rasteiro	Verde 1
	3	Copas vermelhas	Verde 2	Copas rosa velho	Aquamarine	Copas roxas	Sienna3
	4	Copas rosa velho	Verde 3	Copas rosa velho escuras	Orquídea	Copas velho escuro	Verde 3
	5	Copas rosa muito velho	Amarelo 1	Copas vermelho claro	Castanho	Mato rasteiro rosa mais escuro	Laranja 1
	6	Palmeiras	Amarelo 2	Copas rosa velho claro	Verde claro	Copas preto claro	Sienna
	7	Relva	Amarelo 3	Relva	Thistle	Copas rosa velho	Laranja 2
	8	Copas cinzento claro	Maroon 1			Copas rosa no pomar	Verde 2
	9	Copas roxas	Maroon 2			Mato rasteiro cinzentos	Laranja 4
	10	Pinheiro bravo	Maroon 3			Copas rosa muito escuro	Sienna 1
	11	Matos rasteiros	Laranja 1			Copas cinzento escuro	Sienna 2
	12	Copas pretas	Laranja 2			Copas cinzento esverdeado	Púrpura
Solos e territorios artificializados - solo_	1	Estrada asfaltada	Cyan 3	Caminhos	Laranja	Solo descoberto (cinzento)	Branco
	2	Caminhos	Branco	Solo exposto	Amarelo	Caminhos brancos	Verde mar
	3	Cascalho/pedras	Cyan 1	Cascalho/pedras	Cyan	Caminhos asfaltada (azul claro)	Maroon 1
	4	Bermas das estradas	Magenta 1	Telhados telha marselha	Magenta	Caminhos empedrados	Maroon 2
	5	Telhados telha marselha	Vermelho 1	Telhados telha Marselha com sombra	Maroon	Telhados brancos	Maroon 3
	6	Telhados telha Marselha com sombra	Vermelho 3	Chão à volta da piscina	Verde mar	Telhados telha	Amarelo
	7	Telhados luzalite	Thistle 2				
Água - agua_	1	Lagos	Azul 3	Lagos	Azul	Poços/lagos	Cyan
	2	Piscinas	Azul 1	Tanque/Piscina	Verde		
Sombra - sombra_	1	Sombra no solo	Preto	Sombra nas copas	Preto	Sombra	Preto
	2	Sombra nas copas	Chartreuse	Sombra no solo	Preto		

Tabela 11 – Temas/ROI's por área de experimentação – Áreas 1, 2 e 3

Matriz de Concordância da classificação *F008_0629_rgnb_Area_1_MaxLike1* – Área 1

Overall Accuracy = (73820/84167) 87,7066%

Kappa Coefficient = 0,8693

Ground Truth (Percent)

Class	veget_1	veget_2	veget_3	veget_4	veget_5	veget_6	veget_7	veget_8	veget_9	veget_10	veget_11	veget_12	solo_1	solo_2	solo_3	solo_4	solo_5	solo_6	solo_7	agua_1	agua_2	sombra_1	sombra_2	Total	
veget_1	96,37	0	0	0	0	2,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,35	
veget_2	0	95,39	1,31	0	2,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,15
veget_3	0,16	1,37	92,89	0	3,7	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,33
veget_4	0	1,22	0	82,57	10,6	0	0	0,4	8,99	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,96
veget_5	0,49	2,03	4,04	5,21	77,51	0,36	0	1,98	0,59	0,07	0,33	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26	0,32	0	1,93
veget_6	2,97	0	1,77	0	0	96,91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,38
veget_7	0	0	0	0	0,18	0	96,98	0,16	0,23	0,09	3,23	0	0,04	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0	1,38	0	7,02
veget_8	0	0	0	0,67	0,8	0	0	95,25	0	0,79	0	3,16	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	3,56
veget_9	0	0	0	11,56	4,13	0	0	0,3	89,37	0,01	0	0,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0,05	0	2,64
veget_10	0	0	0	0	0	0	0,89	0,03	0	90,47	0	0	0,3	0,05	0	0	0	5,32	0	0	0	0	0	0	9,5
veget_11	0	0	0	0	0,74	0	1,38	0,2	0	0	75,8	4,94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,56	0,18	0	4,73
veget_12	0	0	0	0	0,06	0	0,19	1,68	0,82	0,05	5,39	68,18	0	0	0	0	0	0,25	0	2,2	0	5,85	0,97	0	1,27
solo_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98,6	0	1,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,8
solo_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50,14	8,73	0	0	0	1,45	0	0	0	0	0	5,41
solo_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	1,06	8,21	84,59	1,67	0	0	0,67	0,05	0	0	0	0	2,31
solo_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	2,99	98,31	0,43	0	0	0	0	0	0	0	7,56
solo_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0,01	0	0,02	99,07	2,03	0	0	0	0	0	0	3,69
solo_6	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	8,2	0	0,79	0	0	0,79	0	0,5	90,13	0	0,02	0	0,5	0	0	5,55
solo_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41,26	0,94	0	0	0	97,88	0	0	0	0	0	6,42
agua_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,79	0	0	0	0	0	0	0	97,22	0	0,18	0	0	7,58
agua_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0	0,09	100	0,12	0	0	0,57
sombra_1	0	0	0	0	0	0	0,32	0	0	0	11,67	19,76	0	0	0	0	0	2,12	0	0,43	0	74,46	4,09	0	4,08
sombra_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,58	1,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,52	94,39	0	3,2
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 12 – Matriz de Concordância da classificação *F008_0629_rgnb_Area_1_MaxLike1* – Área 1

Matriz de Concordância da classificação *F008_0629_rgbn_Area_2_MaxLike1* – Área 2

Overall Accuracy = (39773/43663) 91,0909%

Kappa Coefficient = 0,9025

Ground Truth (Percent)

Class	veget_1	veget_2	veget_3	veget_4	veget_5	veget_6	veget_7	solo_1	solo_2	solo_3	solo_4	solo_5	solo_6	agua_1	agua_2	sombra_1	sombra_2	Total
veget_1	90,37	0	0	0	0,64	2,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,04
veget_2	0	99,77	0	0,09	0	0	0,68	1	0	0	0	0	0	0	0	0,84	0,02	6,08
veget_3	0	0	89,99	12,93	0	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,73
veget_4	0	0	10,01	86,89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	5,87
veget_5	1,02	0	0	0	94	5,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,98
veget_6	8,34	0	0	0	5,36	91,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,61
veget_7	0,28	0,23	0	0	0	0	99,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,03
solo_1	0	0	0	0	0	0	0,11	93,56	0,99	8,61	0,87	2,02	1,09	0	0,18	0	0	2,6
solo_2	0	0	0	0	0	0	0	0,89	98,9	0,83	0	0	0	0,02	0,18	0	0	11,01
solo_3	0	0	0	0	0	0	0	4,55	0,1	88,72	0	0	5,45	0	0,73	0	0	5,33
solo_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96,74	6,68	0	0	0	0	0	2,14
solo_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,39	91,3	0	0	0	0	0	1,4
solo_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,85	0	0	93,46	0	0	0	0	0,89
agua_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,36	0	0	0	11,35
agua_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,62	71,06	0,84	3,19	1,39
sombra_1	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,92	74,12	17,88	4,49
sombra_2	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,92	23,97	78,91	11,04
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 13 – Matriz de Concordância da classificação *F008_0629_rgbn_Area_2_MaxLike1* – Área 2

Matriz de Concordância da classificação *F008_0236_rgnb_Area_1_MaxLike1* – Área 3

Overall Accuracy = (50884/60352) 84,3120%

Kappa Coefficient = 0,8328

Ground Truth (Percent)

Class	veget_1	veget_2	veget_3	veget_4	veget_5	veget_6	veget_7	veget_8	veget_9	veget_10	veget_11	veget_12	solo_1	solo_2	solo_3	solo_4	solo_5	solo_6	agua_1	sombra_1	Total
veget_1	74,43	0,68	0	0	0,93	0	0	9,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,98
veget_2	2,06	83,74	0,84	0,59	9,56	0	0,39	0,99	0,04	1,64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,53
veget_3	0	0	94,9	0,41	0,15	0	0	0,68	8,31	0	1,34	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	4,31
veget_4	0	1,78	0	87,84	0	0	4,53	0	0,31	2,69	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,58
veget_5	1,84	6,67	0,04	0,05	89,19	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,74
veget_6	0	0	0	0	0	78,68	0	0	0	0	1,37	0,24	1,34	0	0	0	0	0,34	19,19	2,22	4,99
veget_7	0	0,5	0	7,06	0	0	79,37	0	0	10,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,39
veget_8	21,67	0,38	0	0	0,04	0	0	88,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,87
veget_9	0	0	2,88	0,27	0	0	0	0	86,62	0	21,73	0,31	0,36	0	0	0	0	0	0	0	5,22
veget_10	0	6,27	0	3,74	0	0	15,71	0,06	0	85,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,21
veget_11	0	0	0,96	0,04	0	4,65	0	0	3,91	0	62,3	6,35	0,69	0	0	0	0	0,22	0	2,55	4,66
veget_12	0	0	0,33	0	0,13	0	0	0	0	0	9,15	87,46	7,22	0	0,92	1,07	0	0,17	0	0	4,68
solo_1	0	0	0,04	0	0	1,94	0	0	0,66	0	3,78	5,41	86,21	0	0	0	0	12,36	0,62	0	4,61
solo_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87,4	0,4	3,66	11,98	0	0	0	3,34
solo_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0	0,04	0	0,86	97,32	1,39	0,82	0,86	0	0,26	0	4,18
solo_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,24	0	91,52	31,56	0	0	0	4,74
solo_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,5	0	2,35	55,64	0,17	0	0	1,84
solo_6	0	0	0	0	0	3,39	0	0	0,08	0	0	0	4,18	0	1,36	0	0	85,01	0	0,07	3,67
agua_1	0	0	0	0	0	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,86	79,03	1,7	3,47
sombra_2	0	0	0	0	0	11,07	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	1,16	93,21	2,99
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 14 – Matriz de Concordância da classificação *F008_0236_rgnb_Area_1_MaxLike1* – Área 3

Precisão do Produtor e Utilizador e erros de Omissão e Comissão – Áreas 1, 2 e 3

Classes	Nº tema	Precisão do Produtor			Precisão do Utilizador			Erro de Omissão			Erro de comissão		
		Área 1	Área 2	Área 3	Área 1	Área 2	Área 3	Área 1	Área 2	Área 3	Área 1	Área 2	Área 3
Vegetação veget_	1	96,37	90,37	74,43	88,54	95,51	74,30	3,63	9,63	25,57	11,46	4,49	25,70
	2	95,39	99,77	83,74	97,62	98,91	81,52	4,61	0,23	16,26	2,38	1,09	18,48
	3	92,89	89,99	94,90	94,02	94,66	87,35	7,11	10,01	5,10	5,98	5,34	12,65
	4	82,57	86,89	87,84	74,86	77,06	94,86	17,43	13,11	12,16	25,14	22,94	5,14
	5	77,51	94,00	89,19	77,46	87,91	95,11	22,49	6,00	10,81	22,54	12,09	4,89
	6	96,91	91,43	78,68	98,98	90,95	79,20	3,09	8,57	21,32	1,02	9,05	20,80
	7	96,98	99,20	79,37	96,07	98,31	76,67	3,02	0,80	20,63	3,93	1,69	23,33
	8	95,25		88,22	96,43		88,39	4,75		11,78	3,57		11,61
	9	89,37		86,62	88,20		71,09	10,63		13,38	11,80		28,91
	10	90,47		85,21	96,31		63,50	9,53		14,79	3,69		36,50
	11	75,80		62,30	93,74		82,57	24,20		37,70	6,26		17,43
	12	68,18		87,46	32,24		79,04	31,82		12,54	67,76		20,96
Solos e territorios artificializados solo_	1	98,60	93,56	86,21	98,94	74,14	76,34	1,40	6,44	13,79	1,06	25,86	23,66
	2	50,14	98,90	87,40	96,99	99,36	85,58	49,86	1,10	12,60	3,01	0,64	14,42
	3	84,59	88,72	97,32	55,24	96,99	96,35	15,41	11,28	2,68	44,76	3,01	3,65
	4	98,31	96,74	91,52	98,74	95,39	80,36	1,69	3,26	8,48	1,26	4,61	19,64
	5	99,07	91,30	55,64	96,33	96,39	79,17	0,93	8,70	44,36	3,67	3,61	20,83
	6	90,13	93,46	85,01	83,76	87,95	89,04	9,87	6,54	14,99	16,24	12,05	10,96
	7	97,88			32,48			2,12			67,52		
Água agua_	1	97,22	99,36	79,03	99,84	100,00	97,42	2,78	0,64	20,97	0,16	0,00	2,58
	2	100,00	71,06		97,51	64,03		0,00	28,94		2,49	35,97	
Sombra sombra_	1	74,46	74,12	93,21	73,75	49,34	79,16	25,54	25,88	6,79	26,25	50,66	20,84
	2	94,39	78,91		76,19	90,44		5,61	21,09		23,81	9,56	

Tabela 15 – Valores das Precisões do Produtor e Utilizador e erros de Omissão e Comissão das áreas 1, 2 e 3