

## SENSORIAMENTO REMOTO PARA MAPEAMENTO URBANO: CLASSIFICAÇÃO DE COBERTURA, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Bárbara M. Giacom-Ribeiro

<sup>1</sup> Curso de Arquitetura e Urbanismo, Coordenadoria Acadêmica,  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) Campus Cachoeira do Sul, [barbara.giaccom@ufsm.br](mailto:barbara.giaccom@ufsm.br)

### RESUMO

O uso de informações atualizadas e detalhadas sobre o meio urbano é estratégico para seu planejamento e gestão e, nesse âmbito, as geotecnologias têm se mostrado como recurso essencial para coleta e sistematização de informações sobre o ambiente natural e antropizado. Com o objetivo principal de construir uma base de dados geográficos, são utilizadas imagens do sensor WorldView-2 e nuvem de pontos LiDAR, bem como dados auxiliares (e.g., socioeconômicos) para mapeamento do meio urbano. A metodologia é eficiente e passível de reprodução em outros estudos. Os resultados são de grande importância para construção de banco de dados sobre o ambiente urbano, seu uso e ocupação, e têm potencial para subsidiar o planejamento e a gestão integrados, possibilitando decisões sobre o território mais adequadas à realidade local.

**Palavras-chave** — mapeamento temático, cobertura do solo, uso do solo, ocupação do solo, área urbana.

### ABSTRACT

*The use of up-to-date and detailed information about the urban environment is strategic for its planning and management and, in this context, geotechnologies have proved to be an essential resource for collecting and systematizing information about the natural and anthropized environment. Imagery of the WorldView-2 sensor and LiDAR point cloud, as well as ancillary data (e.g., socioeconomic) are used for mapping the urban environment, with the main objective of building a geographic database. The methodology is efficient and reproducible in other studies. The results are of great importance for setting up a database on the urban environment, its use and occupation, and have the potential to support integrated planning and management, making decisions on the territory more appropriate to the local reality.*

**Keywords** — thematic mapping, land cover, land use, land occupancy, urban area.

### 1. INTRODUÇÃO

Em sensoriamento remoto, a classificação digital de uma imagem tem o objetivo de separá-la em “temas”, conforme as diretrizes utilizadas para esta separação. Desta forma, o mapa temático é elaborado associando elementos relacionados às estruturas territoriais, à geografia, à estatística, aos recursos

naturais e estudos ambientais. Mapas temáticos contêm, então, informações sistematizadas da área analisada, que podem ser consultadas, selecionadas, analisadas, processadas, etc., de modo possibilitar ou facilitar, por exemplo, o melhor delimitamento de um problema, a tomada de decisões, o planejamento de diretrizes e ações, entre inúmeras possibilidades.

O mapeamento temático do *uso do solo* consiste na interpretação técnica de características do uso que uma determinada região apresenta. Em urbanismo, o uso do solo diz respeito ao modo como um terreno está sendo utilizado, como, por exemplo, uso residencial, comercial, etc. A *ocupação do solo* traduz a dimensão da edificação sobre o terreno (i.e., número de pavimentos). Estes instrumentos compõem os índices urbanísticos utilizados pelas prefeituras municipais para a gestão de suas áreas urbanas, bem como para o planejamento da expansão urbana [1].

O uso do solo é um conceito abstrato, uma mistura de fatores culturais e econômicos, a maioria dos quais não pode ser diretamente determinada por meio do sensoriamento remoto [2], mas é possibilitada com o auxílio de informações auxiliares (e.g., dados censitários, cartoriais, etc.) [e.g. 3]. Por sua vez, a *cobertura do solo* estabelece relações diretas com a radiância espectral detectada por sensores imageadores, pois se refere aos aspectos físicos da superfície, e é traduzida em classes como “vegetação rasteira”, “concreto”, “água”, entre outros [4, 5].

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de mapeamento de cobertura, uso e ocupação do solo urbano por meio de classificação digital de imagens e utilizando dados auxiliares. A metodologia empregada para classificação da cobertura do solo utilizando a abordagem baseada em objetos (GEOBIA - *Geographic-Object-Based Image Analysis*) tem sido exaustivamente abordada em estudos de diferentes propósitos, escalas e fontes de dados – para uma revisão abrangente de trabalhos recentes sobre este assunto, vide [6, 7]. Em [8, 9] encontra-se o detalhamento sobre a classificação da cobertura do solo, que serviu de insumo para as classificações do uso e da ocupação do solo, que são o foco do presente trabalho.

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o mapeamento da *cobertura do solo* foi utilizada uma imagem orbital do sensor WorldView-2 (DigitalGlobe) obtida em 22/06/2014, do tipo *Ortho Ready Standard Level-2A*, com ângulo *off-nadir* 17,7° e resolução radiométrica de 11 bits, contendo as oito bandas multiespectrais, com resolução

espacial de 2,00 m, e a banda pancromática, com resolução espacial de 0,50 m. Os resultados obtidos na classificação da cobertura do solo serão utilizados na classificação do *uso do solo*, juntamente com dados auxiliares. Por sua vez, estes resultados representam dado de entrada para a determinação da *ocupação do solo*, que também utiliza um Modelo Digital de Superfície (MDS), proveniente de uma nuvem de pontos de LiDAR aerotransportado adquirido por um sensor de alta

performance modelo Leica ALS-60 (LEICA Geosystems), com densidade de pontos entre 2,20 a 3,48 pontos/m<sup>2</sup> (abertura máxima de 75°). Os dados referem-se à área da bacia hidrográfica Mãe d'Água, em Viamão, Rio Grande do Sul.

Os passos metodológicos realizados nas etapas de preparação dos dados (i.e., pré-processamento) e mapeamento da cobertura, do uso e da ocupação do solo estão resumidos no diagrama de blocos da Figura 1.

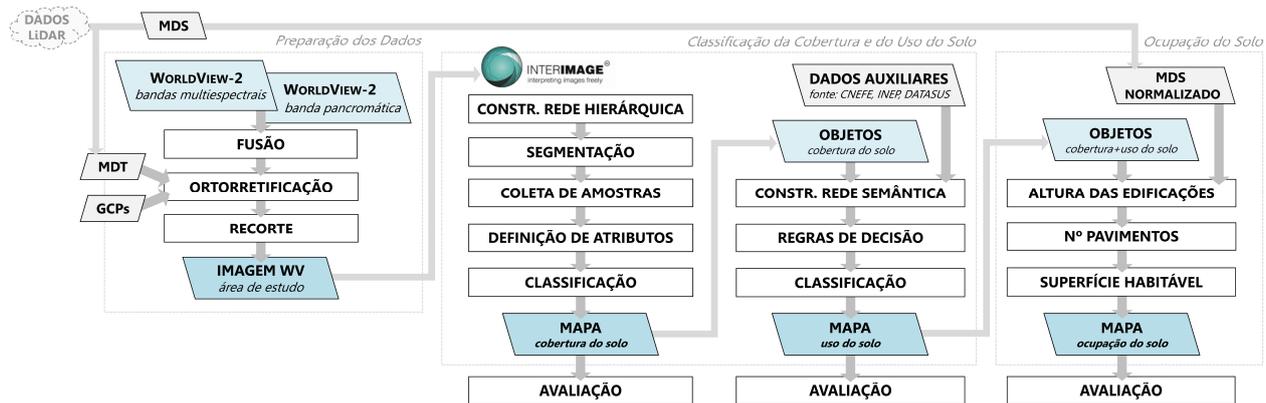


Figura 1. Passos metodológicos para pré-processamento da imagem, classificação da cobertura, do uso e da ocupação do solo.

O pré-processamento refere-se ao processamento inicial de dados brutos, neste caso, a imagem de satélite, para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído.

Fusão de bandas: em sensoriamento remoto, a fusão de imagens realizada no domínio espectral tem o objetivo de aumentar a resolução espacial das bandas multiespectrais, inserindo a informação espacial mais detalhada da banda pancromática. A fusão das imagens das bandas pancromática e multiespectrais foi realizada pelo método de fusão *Pansharpening*, que tem apresentado os melhores resultados para fusão de bandas de alta resolução espacial [e.g., 10]. O resultado do processo de fusão é um produto híbrido com 8 bandas espectrais e resolução espacial igual a 0,50 m.

Ortorretificação: este processo consiste na correção de diversas distorções geométricas existentes em imagens adquiridas por sensores remotos. Imagens brutas possuem distorções geométricas significativas que impossibilitam sua sobreposição direta com dados de origem cartográfica em um SIG. Resumidamente, estas distorções são decorrentes da posição do satélite, do sensor, da superfície física da Terra (i.e., relevo e curvatura) e da projeção cartográfica [11]. A imagem híbrida, produto da fusão, foi orrorretificada com base em modelagem matemática relativa, utilizando os coeficientes polinomiais racionais contidos nos metadados da imagem. O modelo digital de elevação utilizado é o MDT proveniente do processamento da nuvem de pontos LiDAR [8].

### 2.1. Classificação da cobertura do solo

A classificação do uso do solo foi realizada utilizando o *software* InterIMAGE v1.41, que é um *software* livre para

interpretação de imagens, que possui código aberto, capacidade de customização e ferramentas de extensão [12]. É um aplicativo multiplataforma implementado para os sistemas operacionais Linux e Windows. O sistema foi desenvolvido em C++, usa o *framework* QT4 para a construção da interface com o usuário, a biblioteca de classes VTK *Visualization Toolkit* e a biblioteca TerraLib para as operações geográficas e de processamento de imagens [13].

Seguindo a metodologia desenvolvida por [3, 14] (Fig. 1), definiu-se 17 classes de cobertura do solo considerando-se suas possibilidades de identificação na área de estudo: CORPOS D'ÁGUA (lago, córregos), ÁGUA EUTROFIZADA, VEGETAÇÃO RASTEIRA e ARBÓREA, SOLO EXPOSTO, CALÇAMENTO EM "PEDRA TOSCA", PAVIMENTO ASFÁLTICO, PAVIMENTOS CIMENTÍCIOS CLAROS e ESCUROS, COBERTURAS EM CIMENTO CLARO e ESCURO, TELHADOS CERÂMICOS, TELHADOS METÁLICOS, PISCINAS, QUADRAS POLIESPORTIVAS, PONTO DE ÔNIBUS e SOMBRA. A rede hierárquica do modelo foi construída no *software* InterIMAGE v1.41 possuindo um nó-pai e 17 nós-filhos, correspondentes a cada uma das classes (para mais detalhes sobre a classificação da cobertura do solo, bem como sobre a avaliação de tais resultados, veja [8]).

### 2.2. Classificação do uso do solo

A classificação do uso do solo partiu dos resultados obtidos na etapa anterior, utilizando os objetos classificados nas 17 classes de cobertura do solo. Inicialmente, os objetos foram classificados em ESPAÇOS LIVRES (i.e., públicos ou privados) ou EDIFICAÇÕES. Estes foram classificados em cinco classes de uso utilizando-se dados auxiliares, a saber: a) ESTABELECIMENTOS INDUSTRIAIS e ESTABELECIMENTOS

COMERCIAIS E DE SERVIÇOS foram determinados utilizando-se dados do CNEFE – Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos [15]; b) INSTITUIÇÕES DE ENSINO foram identificadas utilizando dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) [16]; c) INSTITUIÇÕES DE SAÚDE foram identificadas utilizando dados do Portal Brasileiro de Dados Abertos [17]; d) as edificações resultantes foram consideradas de USO RESIDENCIAL.

### 2.3. Classificação da ocupação do solo

A classificação da ocupação do solo partiu dos resultados obtidos na etapa anterior, utilizando os objetos classificados especialmente nas classes relativas a EDIFICAÇÕES.

A inferência da altura das edificações, que então são traduzidas para número de pavimentos, foi realizada a partir da diferença entre os Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de Superfície (MDS) (i.e., resultantes dos dados LiDAR), sendo gerado o MDS-normalizado, que fornece a altura real dos pixels de objetos (i.e., não-solo) em relação aos pixels de solo adjacentes [18]. Uma vez que uma edificação abrange vários pixels, calculou-se a média dos valores de altura dos pixels contidos nos polígonos de cada edificação.

A determinação da ocupação do solo de uma área é importante pois auxilia no processo de inferência da população, por meio da identificação da quantidade de domicílios. Para tanto, é calculada a superfície habitável [19], que é a área útil da edificação. A superfície habitável é obtida ao se multiplicar a área da edificação pelo número de pavimentos. Por exemplo, uma edificação cujo polígono possui área de 160 m<sup>2</sup> e 15 metros de altura pode corresponder a um edifício residencial de alto padrão (i.e., um apartamento por andar, com cerca de 160 m<sup>2</sup>), ou a um de padrão inferior, com 10 domicílios de cerca de 75 m<sup>2</sup>. Dados auxiliares relativos ao padrão tipo-morfológico e às características socioeconômicas da área de estudo foram utilizados para solução de possíveis conflitos de classificação.

### 2.4. Avaliação das classificações

A avaliação de ambas as classificações utilizou 300 pontos verificados em campo, tendo sido calculadas a exatidão global e o índice de concordância Kappa [20] para cada caso. A concordância, no caso do mapeamento do uso do solo, refere-se apenas à correta classificação (i.e., sim ou não); no caso da classificação da ocupação do solo, a concordância refere-se à correta atribuição do número de pavimentos da edificação.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento do uso do solo classificou os objetos de edificações resultantes do mapeamento da cobertura do solo em relação à sua função, a saber: residencial, comercial e serviços, industrial, institucional de educação e de saúde. A avaliação da concordância da classificação utilizou dados coletados *in situ* e resultou em 93% de exatidão global e índice de concordância Kappa de 0,945. Os erros de classificação referem-se integralmente a edificações de uso misto (i.e., residencial e comercial).

O mapeamento da ocupação do solo determinou, inicialmente, a altura média de cada edificação, o que permitiu a definição do número de pavimentos de cada edificação, bem como o cálculo da superfície habitável e o número final de domicílios. Este mapeamento apresentou 100% de exatidão global e índice Kappa igual a 1.

A Figura 2 apresenta os mapas resultantes das classificações da cobertura, do uso e da ocupação do solo.

## 4. CONCLUSÕES

Os recursos em geotecnologias disponíveis atualmente possibilitam a aquisição sistemática de dados sobre o meio urbano, caracterizado por sua mudança constante e vertiginosa, bem como a construção de informações e conhecimento, tanto sobre o território, como sobre suas formas de ocupação.

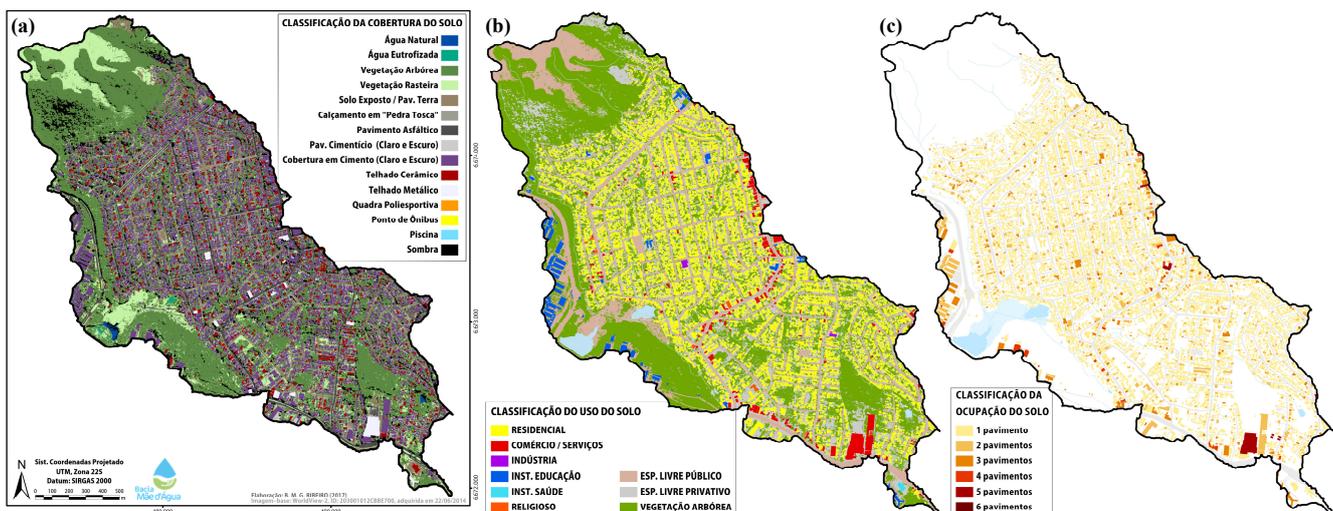


Figura 2. Mapas resultantes da classificação: (a) da cobertura, (b) do uso e (c) da ocupação do solo.

Neste sentido, este trabalho fez uso de tecnologias atuais e ainda pouco exploradas em estudos urbanos, para mapear o ambiente urbano. Por meio do *software* livre InterIMAGE, foi realizada a classificação da imagem WorldView-2 para obtenção do mapa de cobertura do solo. A partir dos objetos classificados, e utilizando-se dados auxiliares (i.e., dados socioeconômicos, dados LiDAR, etc.), foi realizado o mapeamento do uso e da ocupação do solo. As classificações foram positivamente avaliadas, tendo produzido excelentes resultados. Desta forma, conclui-se que a metodologia é eficiente para a identificação de áreas de ocupação irregular, confirmando seu potencial para estudos urbanos.

A sistematização de todos os dados espacializados sobre o meio urbano em um Sistema de Informações Geográficas, possibilitando a construção de banco de dados sobre aspectos do ambiente físico, bem como seu uso e ocupação, são de grande importância na realização das mais diversas análises, constituindo ferramenta útil no planejamento e gestão integrados, subsidiando a tomada de decisões mais adequadamente à realidade local. Em especial, órgãos ligados ao planejamento e gestão do espaço urbano podem se beneficiar quanto ao suporte no desenvolvimento e atualização de Planos Diretores, de Mobilidade, de Saneamento Básico, entre outros [cf. 1].

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] Brasil, “Estatuto da Cidade. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001”. DOU, S.1, Atos Poder Legislativo, ano 142, n. 138, 11/07/2001.
- [2] Barnsley, M.J.; Møller-Jensen, L. e Barr, S.L., “Inferring urban land use through spatial and structural pattern recognition”, *Remote Sensing and Urban Analysis*, Taylor & Francis, Londres, 2001, pp. 115-144.
- [3] Ribeiro, B.M.G., “Identificação de ocupações irregulares em áreas urbanas utilizando imagens WorldView-2 e o classificador C4.5”, *Memorias del XVI Simposio Internacional SELPER*, SELPER Capitulo Colombia, Bogotá, 2014. 21 p.
- [4] Jensen, J.R. e Cowen, D.C., “Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socioeconomic attributes”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 65, n. 5, pp. 611-622, 1999.
- [5] Novo, E.M.L.M., “Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações”, 3. ed., Edgard Blücher, São Paulo, 2007. 363 p.
- [6] Blaschke, T.; Hay, G.J.; Kelly, M.; Lang, S.; Hofmann, P.; Addink, E.; Feitosa, R.Q.; Meer, F.; Werff, H.; Coillie, F. e Tiede, D., “Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 87, 2014, pp. 180-191. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014.
- [7] Ma, L.; Li, M.; Ma, X.; Cheng, L.; Du, P. e Liu, Y., “A review of supervised object-based land-cover image classification”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 130, 2017, pp. 277-293. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001.
- [8] Ribeiro, B.M.G., “Modelagem Socioambiental de Resíduos Sólidos em Áreas Urbanas Degradadas: Aplicação na Bacia Mãe d’Água, Viamão, RS”, Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional), Universidade Federal Rio Grande do Sul (UFRGS), UFRGS, Porto Alegre, 2017. 392 p. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001052926&lo c=2017&l=a71ecd9213478373>>.
- [9] Ribeiro, B.M.G. e Mendes, C.A.B., “Novas tecnologias em sensoriamento remoto para subsidio a análises ambientais – estudo de caso: Bacia Mãe d’Água, Viamão, RS”, *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH)*, ABRH, Porto Alegre, 2017.
- [10] Zhang, Y.J. e Mishra, R., “A review and comparison of commercially available pan-sharpening techniques for high resolution satellite image fusion”, *Proceedings of the 32<sup>nd</sup> IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, IEEE, Los Alamitos, 2012. pp. 182-185. DOI: 10.1109/IGARSS.2012.6351607.
- [11] Toutin, T., “Review article: geometric processing of remote sensing images: models, Algorithms and Methods”, *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 10, pp. 1893-1924, 2004. DOI: 10.1080/0143116031000101611.
- [12] PUC-RJ – Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro; INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, “InterIMAGE - Interpreting Images Freely, v.1.41”, Software de processamento digital de imagens de satélites. 2012. Disponível em: <<http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/>>.
- [13] Costa, G.A.O.P.; Pinho, C.M.D.; Feitosa, R.; Almeida, C.; Fonseca, L.M.G. e Oliveira, D., “InterIMAGE: Uma Plataforma Cognitiva Open Source para a Interpretação Automática de Imagens Digitais”, *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 60, n. 4, pp. 331-337, 2008.
- [14] Ribeiro, B.M.G. e Fonseca, L.M.G. “Urban Land Cover Classification using WorldView-2 Images and C4.5 Algorithm”, *Proceedings of the Joint Urban Remote Sensing Symposium (JURSE)*, IEEE Computer Society, Piscataway, 2013. p. 250-253. DOI: 10.1109/JURSE.2013.6550712.
- [15] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Censo Demográfico 2010: Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos”. IBGE, Rio de Janeiro, 2011.
- [16] INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, “DataEscola Brasil 2014”, rev. 03/2016. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/data-escola-brasil>>.
- [17] MP – Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, “Portal Brasileiro de Dados Abertos”, MP, Brasília, 2016. Disponível em: <<http://dados.gov.br/dataset/unidades-basicas-de-saude-ubs>>.
- [18] Tomás, L.; Fonseca, L.M.G.; Almeida, C.M.; Leonardi, F. e Pereira, M., “Urban population estimation based on residential buildings volume using IKONOS-2 images and lidar data”, *International Journal of Remote Sensing*, v. 37, n. 1, pp. 1-28, 2016. DOI: 10.1080/01431161.2015.1121301.
- [19] Almeida, C.M.; Oliveira, C.G.; Renno, C.D. e Feitosa, R.Q., “Population Estimates in Informal Settlements Using Object-Based Image Analysis and 3D Modeling”, *ICEO-IEEE Earthzine*, 2011.
- [20] Cohen, J., “A coefficient of agreement for nominal scales” *Educational and Psychological Measurement*, n. 20, pp. 3746. 1960. DOI: 10.1177/001316446002000104.

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro à execução deste trabalho sob forma de bolsa de doutorado; e à FAURGS - Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela aquisição da imagem WorldView-2 (Projeto de Desenvolvimento Institucional do IPH, 68675, Coord. Prof. André Luiz L. da Silveira).