

ASSESSORIA DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL - ASCIN/CNPq
CONVÊNIOS BILATERAIS
DETALHAMENTO DE PROJETO

Convênio: CNPq/INRIA - País: França
Nome do Coordenador: Margareth Simões Penello Meirelles
Proposta submetida em (data): Maio de 2005

Tecnologias avançadas em processamento digital de imagens para o monitoramento automatizado do desflorestamento, degradação da terra e da expansão do sistema plantio direto através da classificação sistemática do uso e da cobertura do solo
Projeto « ENVIAR »

1. Problema(s) e justificativa(s) (Máximo de 2 páginas)

Nos tempos atuais, um dos maiores desafios enfrentados pela nossa sociedade consiste na manutenção de condições que sejam apropriadas à sobrevivência do ser humano e das demais espécies do planeta. Nestes últimos anos, a crescente influência das atividades humanas no funcionamento e equilíbrio dos ecossistemas tem merecido cada vez mais atenção por parte da comunidade científica. Por diversas vezes já se estabeleceram relações entre as ações do homem e degradações intensivas do solo em diversas regiões, além de perda de biodiversidade, mudanças em regimes hidrológicos e mesmo alterações climáticas. Esta proposta aborda o problema da degradação das terras, um dos principais obstáculos à sustentabilidade do agronegócio brasileiro. Externalidades econômicas significativas são associadas aos impactos oriundos da degradação do solo, seja devido à erosão e a depauperação da matéria orgânica, assim como devido à degradação dos recursos hídricos, essencial para a manutenção da capacidade produtiva das terras e do consumo humano, além de atender à crescente demanda energética no Brasil. Associe-se a isto, a degradação da biodiversidade – flora e fauna, com consequências diretas nos ciclos vitais do Planeta. A degradação das terras é a mola propulsora de um temeroso ciclo de pobreza, o qual leva os produtores rurais e as populações rural-urbanas a baixos níveis de qualidade de vida e de oferta de empregos. Neste contexto, a avaliação do binômio uso/retirada da cobertura do solo vem sendo reconhecida como um fator preponderante para o controle da degradação das terras e dos ciclos biogeoquímicos de nosso planeta (tais como os ciclos de carbono e de água) e, conseqüentemente do próprio funcionamento dos ecossistemas (figura 1). Entretanto, apesar desta importância, o monitoramento contínuo e detalhado do uso e cobertura do solo (Land Use/Land Cover ou LULC) em escalas regionais, continentais e globais ainda constitui-se um desafio para a comunidade científica nos dias de hoje. Nas últimas décadas, inúmeros trabalhos demonstraram a eficiência da utilização de imagens de sensoriamento remoto de alta resolução para a classificação de LULC a nível local. Entretanto, tornou-se claro também que o emprego destas técnicas para levantamentos freqüentes sobre grandes áreas termina por exigir custos proibitivos tanto do ponto de vista financeiro quanto computacional, especialmente se considerarmos os limitados recursos disponíveis em regiões menos desenvolvidas do Brasil e do mundo.

Graves processos de degradação das terras ocorrem na *Bacia do Alto Paraguai (BAP)*, afluente do *Rio do Prata*, onde está inserido o *Pantanal*, reserva da biosfera mundial, e áreas do *Bioma Cerrado*, palco da expansão do agronegócio no Brasil. As áreas de planalto da bacia, onde predominam terras de aptidão agrícola restrita (solos arenosos e pobres em nutrientes), são ocupadas principalmente por pastagens cultivadas, inadequadamente manejadas, sendo crescente a utilização de culturas anuais, em especial soja, milho e algodão, em sistemas convencionais de manejo. O resultado da degradação das terras nas cabeceiras dos rios formadores do Pantanal é o assoreamento, principalmente ao longo da sub-bacias hidrográficas dos Rios Taquari¹, Cuiabá, São Lourenço, Aquidauana e Miranda², e a conseqüente redução das áreas de terra firme no Pantanal devido ao agravamento das enchentes. Esta perda de *habitat* prejudica a economia da região, baseada na criação extensiva de gado, e também a fauna e flora terrestres, multiplicando os impactos econômicos do processo de degradação ao causar prejuízos a atividade de ecoturismo. A sistemática de monitoramento proposta como produto deste projeto agrega rotinas automatizadas passíveis de aplicação em diferentes escalas de gestão do território, desde o nível de sub-bacias até grandes bacias hidrográficas. O monitoramento constitui-se uma poderosa ferramenta de tomada de decisão para gestores (governos federal, estaduais e municipais) e para os proprietários rurais, gestores dos recursos naturais –

¹ “Projeto SOS Taquari” apoiará o projeto ora proposto

² “Projeto Bonito” (GEF) apoiará o projeto ora proposto (atividades de campo, treinamento local)

solo, água e biodiversidade. Permite preparar o agronegócio brasileiro para o atendimento às exigências de mercado a exemplo do protocolo criado para garantir a segurança alimentar de produtos agrícolas exportados para a Europa – EurepGap (*Euro Retailer Produce Working Group*). É importante, também, mostrar à sociedade os benefícios oriundos da adoção de sistemas de manejo do solo e da água considerados sustentáveis como o Sistema Plantio Direto (SPD)³ e do Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP)⁴, responsáveis pela mitigação da degradação das terras em todo o território brasileiro, em especial no Bioma Cerrados. Os benefícios indiretos desta atividade fazem com que a sociedade economize milhões de dólares anualmente. Para a validação da metodologia proposta, foi eleita a Bacia do Alto Paraguai no Estado do Mato Grosso do Sul, região centro-oeste do Brasil, onde serão selecionadas áreas pilotos apoiadas por projetos locais já em andamento. Os principais beneficiários dos produtos deste projeto são os órgãos de gestão ambiental e de desenvolvimento agrário do estado, responsáveis pelo planejamento do uso da terra e o monitoramento das intervenções executadas. Em nosso país, torna-se cada vez mais indispensável o desenvolvimento de tecnologias simples, aplicáveis à realidade local, e com a menor necessidade possível de análises laboratoriais e disponibilização e deslocamento de pessoal para o campo. Sendo assim, ferramentas clássicas de monitoramento do processo erosivo tornam-se muitas vezes inviáveis para aplicação em um grande número de áreas. Os principais produtos propostos neste projeto, baseados em sensoriamento remoto e tratamento digital de imagens não exigem técnicos altamente especializados das prefeituras locais, uma vez que pretende-se desenvolver técnicas de monitoramento automatizado e baseado em imagens de satélite disponibilizadas sem custos. Além disso, o projeto proposto está inserido no contexto de um esforço internacional para o desenvolvimento de uma modelagem das interações entre os sistemas naturais e humanos de toda a Bacia do Rio da Prata, a qual a Bacia do Alto Paraguai faz parte, e engloba áreas tanto do Brasil quanto de outros países da América do Sul. Este projeto⁵, denominado “*Land use change in the Rio de la Plata Basin: Linking biophysical and human factors to predict trends, assess impacts, and support viable strategies for the future*”, tem como objetivo uma melhor compreensão acerca do impacto exercido sobre estes sistemas pelas mudanças do uso e cobertura do solo. Nosso objetivo é que as tecnologias criadas e validadas pelo Projeto possibilitem o estabelecimento de uma rede de monitoramento das mudanças no uso e de cobertura do solo, desflorestamento, degradação das terras e expansão do SPD em áreas piloto localizadas na Bacia do Alto Paraguai, servindo como base para aplicação na bacia do Rio da Prata e outras bacias hidrográficas do País.

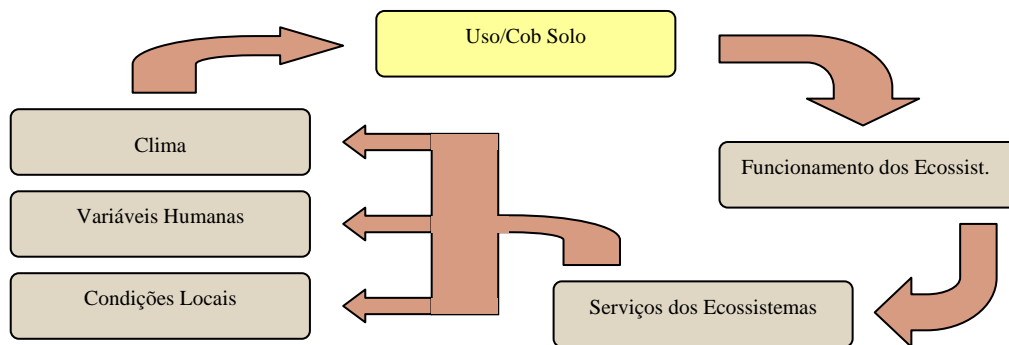


Figura 1. Influência do uso e cobertura do solo no processo cíclico de realimentação (*feedback*) existente entre os ecossistemas e os sistemas naturais e humanos.

³ O SPD compreende um conj. de técnicas integradas que visam explorar da melhor forma possível o potencial de produção das culturas em condições tropicais, respeitando três requisitos mínimos: o não revolvimento do solo; a rotação de culturas (diversidade de biomassa vegetal, diversificando a biota do solo); e o uso de culturas de cobertura para formação de palhada (proteção do solo contra sol, chuva e ventos, conservando água), contribuindo com o planejamento ambiental integrando a produção agrícola com práticas de preservação e/ou recuperação de áreas importantes para garantir a biodiversidade e a disponibilidade hídrica (nascentes, matas ciliares, etc.).

⁴ Por suas reconhecidas características, comprovadas amplamente pela pesquisa agropecuária brasileira, o SPD e a ILP/SPD são as mais importante ações ambientais brasileiras em atendimento as recomendações da conferência da ONU (RIO-92) e da Agenda 21.

⁵ Pretende-se que o “Projeto do Prata” submetido ao IAI (Interamerican Institute for Global Change Research) apoie a execução do projeto ora proposto (checagem de campo, treinamento local, bolsas de estudo)

VERSION FRANCAISE

Technologies avancées de traitement d'images pour la surveillance automatique de la déforestation, de la dégradation de terre, et de l'expansion du système de semis direct par classification automatique de l'occupation des sols **Projet « ENVIAIR »**

Un des grands challenges actuels de la société est de préserver les conditions environnementales nécessaires à la survie des êtres humains et des autres espèces de la planète. Ces dernières années, les scientifiques ont accordé une attention croissante à l'influence des activités humaines sur le fonctionnement et l'équilibre des écosystèmes planétaires. Dans la même période, les relations entre ces activités humaines et la dégradation du sol ont été établies, avec une observation objective des conséquences négatives pour la biodiversité, des modifications de l'équilibre en eau et même des modifications climatiques. Ce projet se propose d'étudier le problème de la dégradation du sol, qui représente un obstacle majeur au développement durable du commerce agricole brésilien. De nombreux facteurs extérieurs ont en fait un impact négatif sur la dégradation du sol, en provoquant l'érosion et la diminution du contenu en matière organique de la terre, et sur la dégradation des ressources en eau, élément essentiel pour assurer d'une part les besoins agricoles et de la consommation humaine, et d'autre part la demande croissante en énergie de la nation brésilienne. La dégradation du sol conduit directement à la dégradation de la biodiversité (flore et faune), qui entraîne des conséquences immédiates sur les équilibres globaux de la planète. En dehors de l'impact fortement négatif sur l'environnement, la dégradation du sol conduit également à des pertes économiques majeures, avec pour conséquences l'appauvrissement des fermiers et des populations rurales, qui doivent faire face à un très bas niveau de vie et à de très faibles possibilités professionnelles. Dans ce contexte, l'étude simultanée de l'occupation/destruction de la couverture du sol apparaît être un facteur prépondérant pour le contrôle de la dégradation des sols et des cycles bio-géo-chimiques de la planète (tels que les cycles du carbone et de l'eau) et donc pour le contrôle du fonctionnement des écosystèmes. Toutefois, la surveillance continue et détaillée de l'occupation et de la couverture du sol (Land Use/Land Cover or LULC) aux échelles régionales, continentales et globales reste un challenge pour la communauté scientifique internationale. Dans les dernières décennies, de nombreux travaux ont prouvé l'apport de l'imagerie satellitaire haute résolution pour la classification LULC au niveau local. Mais l'utilisation de ces outils pour une surveillance continue, sur des surfaces importantes, aurait un coût prohibitif, tant du point de vue financier sur l'achat des données, que du point de vue coût de calcul, surtout si on prend en considération les ressources informatiques limitées des régions les moins développées du Brésil et du monde.

Des processus de dégradation du sol importants se produisent dans la partie supérieure du fleuve Paraguay (affluent du Rio de la Plata), où se trouve le Pantanal, une réserve mondiale pour la biosphère, et des biomes de savanne. Ces phénomènes sont d'autant plus graves, que cette région permet la croissance du commerce agricole brésilien et correspond au plus important bassin versant sud-américain. Les zones de plateau de ce bassin, qui sont formées de sols inadéquats aux cultures (sols sableux et pauvres en nutriments), sont occupés par des pâtures, incorrectement gérées, ou par des cultures telles que le soja, le maïs et le coton selon des systèmes d'exploitation classiques, qui conduisent à l'appauvrissement du sol. La dégradation environnementale a alors pour résultat l'envasement des bassins versants du Taquari⁶, de Cuiabá, de Formoso et de Miranda⁷, en particulier dans la région du Pantanal. Ce phénomène a pour conséquence la réduction de disponibilité de zones asséchées. Cette perte affecte ainsi l'économie régionale, qui est basée sur l'élevage extensif, et affecte la faune et la flore locales, ajoutant ainsi un impact économique négatif supplémentaire, lié à la diminution de l'écotourisme. Le schéma de surveillance, tel que proposé comme résultat de ce projet, comprend des procédures automatiques, qui peuvent être appliquées aux différentes échelles de gestion du territoire, en allant du niveau local jusqu'aux grands bassins versants. En raison des conditions économiques, humaines et géographiques rencontrées au Brésil, il est indispensable de développer ce type de technologies simples, utilisables dans des problématiques locales réelles, et qui demandent le moins possible d'analyses supplémentaires en laboratoire ou de personnel disponible pour des mesures terrain. Pour ces raisons, de nombreux outils classiques de surveillance des processus d'érosion ont un coût prohibitif et ne peuvent être utilisés dans un grand nombre de bassins versants. Les logiciels principaux, résultants du présent projet, sont basés sur la télédétection et le traitement numérique des images. Ils ne nécessitent pas l'intervention de personnel technique possédant une expertise particulière pour leur utilisation, puisqu'ils sont basés sur des techniques de surveillance automatique, utilisant une imagerie de télédétection, qui est mise à disposition gratuitement sur le web.

⁶ Le projet "SOS Taquari River Project" sert de support scientifique à la présente proposition.

⁷ Le projet Bonito (GEF) sert de support à la présente proposition, au travers de missions sur le terrain et de formation des participants locaux.

Pour valider la méthodologie proposée dans ce projet, nous avons choisi comme région test la zone supérieure du bassin versant du Paraguay dans l'état du Mato Grosso du Sud. C'est une région située au centre ouest du Brésil. Les bénéficiaires des outils développés par le projet sont principalement les responsables de la gestion locale de l'utilisation du sol. Mais, la surveillance régulière constitue également un outil important pour la prise de décision par les autorités (fédérales, état, comtés) et pour les propriétaires terriens et les gestionnaires de ressources naturelles, sol, eau, et biodiversité. Cette surveillance permettra au marché économique agricole brésilien de satisfaire aux demandes de contrôle faites par le marché international. Il faut par exemple satisfaire le protocole permettant de garantir la sécurité des produits agricoles exportés en Europe - EurepGap (Euro Retailer Produce Working Group). Cela permettra aussi de démontrer les bénéfices résultant de l'adoption de systèmes de management du sol et de l'eau, considérés comme adéquats avec le développement durable, tels que le système zéro labour - Zero-Tillage (ZTS⁸) et le système intégrant pâturages/cultures -Integration of Crop-Livestock (ICL⁹)-, qui ont permis la réduction de la dégradation du sol sur tout le territoire brésilien et en particulier sur les biomes de savane. Par ailleurs, l'utilisation de ces deux systèmes de gestion a permis à la société brésilienne d'économiser des millions de dollars chaque année.

La présente proposition s'insère dans le contexte d'un effort international pour le développement d'un système de modélisation des interactions des processus naturels et humains dans le bassin du Rio de la Plata, auquel appartient le bassin versant du fleuve Paraguay, et qui comprend non seulement une partie du Brésil mais aussi des régions appartenant à d'autres nations d'Amérique du Sud. Cet effort international, appelé "*Land use change in the Rio de la Plata Basin: Linking biophysical and human factors to predict trends, assess impacts, and support viable strategies for the future*"¹⁰, a pour but une meilleure compréhension de l'impact exercé par les changements d'utilisation du sol et de la couverture du sol. Notre but est que les technologies développées et validées dans ce projet CNPq, permettent l'établissement d'un réseau chargé de la surveillance des modifications d'occupation et de couverture du sol, de la déforestation, de la dégradation du sol, de l'expansion des régions pratiquant le zéro labour dans la zone test du bassin versant supérieur du Paraguay. Ce projet servirait ainsi de projet pilote pour une future application dans le bassin versant du Rio de la Plata et sur d'autres bassins hydrographiques du Brésil.

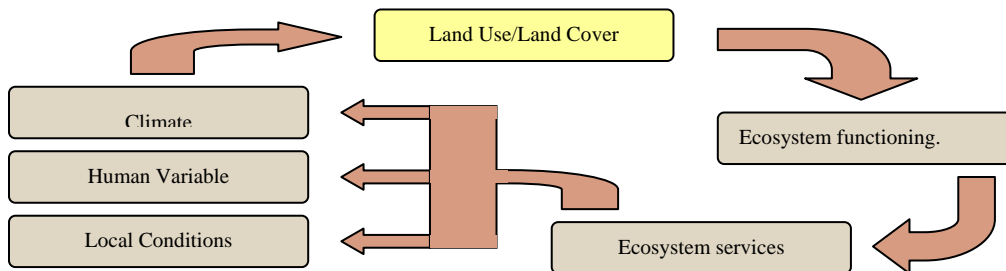


Figure 1. Influence de l'utilisation et de la couverture du sol sur les cycles et rétroaction existant entre les écosystèmes et les systèmes naturels et humains.

⁸ ZTS ou zéro labour comprend un ensemble de techniques permettant d'améliorer le potentiel agricole dans un milieu tropical au moyen de trois contraintes principales : i) pas de labour ; ii) rotation des cultures ; et, iii) utilisation de semis avec paillis afin de protéger le sol du soleil, de la pluie et du vent.

⁹ ICL est un système de rotation annuelle des cultures afin de permettre la récupération des zones dégradées. ZTS et ICL sont reconnus comme les principales actions brésiliennes afin de satisfaire les recommandations de la conférence de l'ONU à RIO en 1992 et les contraintes établies pour l'agenda du 21^{ème} siècle.

¹⁰ Ce projet de la Plata, soumis auprès du IAI, servira de support à la présente proposition au moyen de missions sur le terrain et de formation des participants locaux.

2. Estado-da-arte (Máximo de 2 páginas)

Dados do satélite NOAA/AVHRR têm sido utilizados há alguns anos visando a classificação do uso e cobertura do solo para grandes áreas. Comparado com outros sensores, o NOAA/AVHRR possui de fato uma baixa resolução espacial (1,1km) e uma resolução espectral limitada. Entretanto, este sensor apresenta também uma resolução temporal muito rica devido a sua aquisição diária de imagens sobre todos os pontos do globo. Além disto, os dados do NOAA/AVHRR estão disponíveis gratuitamente e podem ser facilmente encomendados ou acessados via internet (por *download*). O *Global Land Cover 1km Project* (USGS) visou fornecer uma classificação global da cobertura terrestre adaptada a diferentes níveis de modelagem ambiental (Townshend et al., 1994; James et al., 1993). A análise de subpixel dos dados NOAA/AVHRR é necessária para paisagens complexas onde 1 km de resolução espacial engloba uma mistura acentuada de feições em um único pixel. Esta tarefa pode ser realizada através do aprendizado do comportamento temporal das classes de uso individuais, nas áreas testes, a partir de dados de mais alta resolução espacial de imagens Landsat (Hochschild et al., 2000). Este comportamento temporal pode ser utilizado para a classificação de grandes áreas, onde a percentagem de cada classe de cobertura é computada para cada pixel do NOAA/AVHRR (Hochschild et al., 2000). Ao se analisarem imagens de múltiplos anos do NOAA/AVHRR, é possível acessar mudanças no uso/cobertura do solo (Herlin et al., 2005; Meirelles et al., 2004). Agregando informação temporal do NOAA/AVHRR com o índice espectral do NOAA/AVHRR, é possível acessar parâmetros ambientais relevantes, tal como a evapotranspiração (Hochschild et al., 2000), necessária para estudos de modelagem hidrológica, e a avaliação da cor do solo, para estudos de degradação das terras. O grupo proponente vem pesquisando a aplicação de dados NOAA/AVHRR com este propósito (Meirelles et al., 2004; Singh et al., 2004; Singh et al. 2005), muito embora este processo ainda precise ser aprimorado com dados de campo mais abrangentes, de modo que através deste projeto (com o apoio de outros projetos na região) pretende-se programar trabalhos de campo que forneçam informações mais completas para a calibragem do modelo proposto pelo grupo.

A partir de 2000, foram disponibilizados dados do sensor MODIS, os quais, comparados ao NOAA/AVHRR, possuem uma maior resolução espacial (250m nas faixas do vermelho e infra-vermelho próximo), além de apresentarem um nível de qualidade muito superior e uma maior precisão de geolocalização. Desta forma, pretende-se utilizar dados deste sensor, com 250m de resolução espacial, com o objetivo de aprimorar os resultados obtidos com dados do NOAA/AVHRR para a avaliação da cor do solo como indicador de degradação ambiental.

Por sua vez, com relação ao processo de levantamento de uso e cobertura do solo, diversos esforços já vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos a partir de dados MODIS. O produto oficial MOD12 de cobertura do solo (MODIS Land Cover Product) gerado pela equipe de cientistas do próprio programa MODIS (Friedl et al., 2002; Strahler et al., 1999) realizou uma classificação global para o ano de 2001 a partir de informações fornecidas pelas 36 bandas do sensor. Dados de diversos tipos (textura, índices de vegetação, informação direcional, temperatura de superfície, modelos digitais de terreno, entre outros) foram analisados por meio de árvores de decisão, de modo a selecionar um subconjunto de informações a serem processadas por uma rede neural do tipo Fuzzy ARTMAP (Carpenter et al., 1992) para a realização da classificação final (Borak e Strahler, 1999). Entretanto, apesar da alta qualidade do produto final, a resolução final do produto ficou limitada a apenas 1km, dado que quase todos os dados auxiliares coletados pelo MODIS e utilizados para a classificação só se encontram disponíveis nesta resolução. Este nível de resolução é insuficiente para capturar corretamente os padrões de uso e cobertura do solo em certos casos (Strahler et al., 1999; Townshend et al., 1988; Townshend et al., 1992). Adicionalmente, segundo Wessels et al. (2004), a aplicabilidade de produtos globais MODIS para análises regionais ainda precisa ser melhor avaliada, uma vez que elas dificultam a incorporação de aspectos biofísicos e sócio-econômicos particulares de cada região. Desta forma, diversos autores chegaram à conclusão de que resoluções maiores (250m ou 500m) seriam mais interessantes para mapeamentos de uso e cobertura do solo a nível regional, permitindo inclusive a adoção de legendas de classificação mais apropriadas a problemas regionais específicos (Townshend & Justice, 1988; Wessels et al., 2004). Neste sentido, Wessels et al. (2004) utilizaram uma imagem MODIS para uma única data, com 7 bandas e 500m de resolução, para mapear com sucesso áreas de floresta e não-floresta na região amazônica do estado do Pará. Embora incapaz de detectar nuances diferentes de cobertura vegetal (tais como florestas em regeneração, pastagens e agricultura), este experimento demonstrou que dados na faixa espectral do infra-vermelho médio contribuem para a classificação do uso e cobertura do solo. Adicionalmente, os mesmos autores utilizaram também imagens MODIS de três datas diferentes, a 250m de resolução (vermelho e infra-vermelho próximo), para realizar uma classificação na região do Greater Yellowstone Ecosystem, nos EUA. Os autores constataram ser de fato possível o uso destes dados para o mapeamento das principais classes de uso e cobertura do solo na região com base no comportamento temporal dos alvos, muito embora a mesma eficiência não tenha sido verificada para classes menos abrangentes que ocorrem tipicamente em fragmentos menores do que o tamanho de um pixel do MODIS. Desta forma, os autores sugeriram que o uso de seqüências temporais de imagens MODIS a 250m de

resolução teria um grande potencial para mapear pastagens, agricultura, e nuances de cobertura vegetal tais como florestas em crescimento secundário.

No Brasil, a aplicação de dados MODIS de 250m para mapeamentos regionais de uso e cobertura do solo vem recebendo uma maior atenção nos últimos anos, com especial destaque para os mapeamentos na região da Amazônia Legal realizados dentro do contexto do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA, Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia). Estes trabalhos demonstraram claramente o grande potencial do sensor MODIS para este tipo de tarefa (Aguiar et al, 2005 ; Anderson, 2004 ; Morton et al., 2005 ; Shimabujuro et al., 2005 ; Valeriano et al., 2005). Em particular, segundo Morton et al. (2005), demonstrou-se que os dados MODIS aumentam a possibilidade de se conseguirem imagens livres de cobertura de nuvens na bacia amazônica, ao mesmo tempo em que se diminui drasticamente o volume de dados processados e os custos financeiros. No contexto específico do cerrado brasileiro, estudos realizados por Mesquita Jr. e Bitencourt (2003) e Ferreira et al.,(2003) demonstraram que seqüências temporais NDVI do MODIS com 250m de resolução seriam capazes de capturar corretamente os diferentes comportamentos fenológicos da vegetação neste bioma. Assim, estudos independentes foram desenvolvidos nos últimos dois anos, com o intuito de tentar aplicar dados MODIS para classificações em regiões de cerrado. Oliveira Jr. e Shimabukuro (2005) realizaram uma classificação preliminar para os estados de Goiás e Tocantins. Uma outra experiência no Brasil vem do próprio grupo proponente UERJ/Geomática, Embrapa Solos, INRIA, que tem trabalhado, a partir de 2004, na direção do emprego de imagens MODIS de 250m de resolução para a classificação do uso e cobertura do solo a partir de perfis temporais de NDVI no Mato Grosso do Sul (bacia do Alto Taquari). De fato, pode-se constatar que existe atualmente um consenso na comunidade científica com relação à grande utilidade de dados MODIS para o mapeamento em grandes escalas. Portanto, muito há o que ser explorado no Brasil e no mundo acerca da potencialidade do uso dos sensores Aqua-Terra/MODIS para o monitoramento do uso e cobertura do solo, identificando áreas de desmatamento e processos de degradação do solo, especialmente para a região dos Cerrados, motivação desta proposta.

VERSION FRANCAISE

La classification en labels d'occupation et de couverture du sol, sur de grandes surfaces, a déjà été réalisée, entre autres par les partenaires de cette proposition au moyen de l'imagerie NOAA-AVHRR. Ce capteur, a, si on le compare à d'autres types d'acquisitions dédiées à l'observation des surfaces terrestres, une résolution spatiale très grossière (1.1km) et une information spectrale de qualité moyenne. Mais il a l'avantage de réaliser des acquisitions quotidiennes, en permettant ainsi un suivi temporel des phénomènes. De plus, les données AVHRR sont disponibles gratuitement sur le web, et doivent juste être commandées au moyen d'un formulaire très simple d'accès. Une année complète de données AVHRR a ainsi été utilisée par le projet Global Land Cover de l'USGS, afin de réaliser une classification de l'occupation des sols, à la résolution du kilomètre, avec des labels adaptés aux besoins de différentes applications environnementales (Townshend et al., 1994; James et al., 1993). Une analyse sous-pixel des données AVHRR est toutefois nécessaire dans le cas de paysages complexes, pour lesquels la résolution du kilomètre ne peut être satisfaisante. Cette analyse est réalisée grâce à un apprentissage du comportement temporel individuel des différents types d'occupation du sol de la zone étudiée, au moyen de données haute résolution spatiale, telles que des classifications réalisées sur des données Landsat. Ces représentations du comportement temporel individuel sont ensuite utilisées pour réaliser des classifications sur de grandes surfaces, en calculant le pourcentage de chaque type d'occupation du sol à l'intérieur des pixels AVHRR (Hochschild et al., 2000). Une analyse pluri-annuelle des données AVHRR permet ensuite d'évaluer les modifications d'occupation du sol (Herlin et al., 2005; Meirelles et al., 2004). De plus, la combinaison des différents canaux AVHRR, à chaque date d'acquisition, permet l'estimation de paramètres environnementaux fondamentaux, tels que l'évapotranspiration (Hochschild et al. 2000), qui est utilisée pour la modélisation hydrologique, ou la couleur du sol, qui est utilisée pour les études sur la dégradation du sol. Les équipes participant à cette proposition ont, dans le passé, réalisé des travaux communs sur ce sujet (Meirelles et al., 2004; Singh et al., 2004; Singh et al. 2005), mais considèrent que ces méthodologies doivent encore être améliorées en utilisant des jeux de données plus complets, ou en ayant accès à d'autres types de capteurs. Au cours du projet proposé dans ce document, des missions sur le terrain seront effectuées afin de permettre une meilleure calibration des données sur la réalité effective. De plus, les partenaires du projet proposent d'améliorer l'estimation de la couleur du sol, en tant qu'indicateur de dégradation, en utilisant les données MODIS avec une résolution spatiale de 250 mètres.

L'étude bibliographique des travaux réalisés pour étudier l'occupation et la couverture du sol, au moyen des données MODIS, met en valeur le produit officiel d'occupations du sol MOD12, produit par les scientifiques du programme MODIS (Friedl et al., 2002; Strahler et al., 1999). Ce produit est basé sur l'information acquise dans les 36 bandes spectrales du capteur et réalise une classification à partir des données de réflectance corrigées radiométriquement. On obtient d'autre part des indices de végétation (correspondant au sous-produit MOD13), des températures de surface (MOD11) et des modèles numériques de terrain (MOD03). Une analyse des données par réseau de neurones de type flou (Carpenter et al., 1992) a été effectuée afin d'obtenir une classification (Borak et Strahler, 1999). Le résultat de ces études est la disponibilité effective d'une classification globale de l'occupation du sol pour l'année 2001. Toutefois, en dépit de la qualité de ce produit final, la résolution est du kilomètre, car les produits MODIS utilisés pour la réaliser sont disponibles uniquement avec cette résolution. Ce niveau de précision n'est pas suffisant pour analyser les structures et l'état de l'occupation du sol dans certains cas (Strahler et al., 1999; Townshend et al., 1988; Townshend et al., 1992). De plus, selon Wessels et al., (2004), le potentiel d'utilisation de produits MODIS pour des analyses régionales mérite d'être plus complètement spécifié, afin de permettre l'utilisation complémentaire de données biophysiques et socio-économiques, spécifiques à chaque étude. De nombreux auteurs concluent donc que des résolutions de l'ordre de 250 à 500 mètres sont nécessaires pour effectuer une cartographie régionale de l'occupation et de la couverture du sol, avec des labels plus appropriés à des études régionales spécifiques (Townshend & Justice, 1988; Wessels et al., 2004). Ainsi, Wessels et al. (2004) utilisent une image MODIS monodate, avec 7 bandes spectrales et 500 mètres de résolution pour cartographier, avec succès, les zones avec et sans forêt de la région amazonienne de l'état du Pará. Même si cette étude ne permet pas de discerner certaines différences de couverture, elle démontre que la bande spectrale du moyen infrarouge permet d'améliorer la classification d'occupation et de couverture du sol. Par ailleurs, les mêmes auteurs, ont utilisés des images MODIS sur trois dates différentes, à une résolution de 250 mètres, dans les bandes rouge et proche infrarouge, pour réaliser une classification de l'écosystème du Yellowstone aux Etats-Unis. Les auteurs ont ainsi vérifié que ces données permettaient d'analyser les principaux types d'occupation et de couverture du sol, à partir de leur comportement temporel. Mais le potentiel de ces données, pour des classes qui apparaissent sur des surfaces inférieures à la taille des pixels MODIS, n'a pas été évalué. Toutefois, les auteurs suggèrent que l'utilisation de séquences d'images MODIS, à la résolution spatiale de 250 mètres, devrait permettre de cartographier les pâturages, l'agriculture et les variations fines de la couverture végétale. L'utilisation de données MODIS, avec 250 mètres de résolution, pour réaliser des cartographies d'occupation et de couverture du sol au Brésil, a été largement étudiée ces dernières années, avec en particulier la cartographie de l'Amazonie, dans le contexte du LBA -Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment Amazonian-. Ces travaux ont prouvé le potentiel du capteur MODIS pour ce type d'études (Aguiar et al, 2005 ; Anderson, 2004 ; Morton et al., 2005 ; Shimabujuro et al., 2005 ; Valeriano et al., 2005). Selon Morton et al.

(2005), le capteur MODIS a une probabilité plus importante d'acquérir des données non nuageuses sur le bassin de la rivière Amazone, permettant ainsi de réduire le volume de données à traiter et le coût résultant. Dans le contexte particulier de la savane brésilienne, les études réalisées par Mesquita Jr. et Bitencourt (2003) et par Ferreira et al. (2003) ont prouvé que des séquences temporelles de NDVI produites par MODIS, avec une résolution de 250 mètres, sont capables de permettre l'analyse effective des comportements phénologiques des différents types de végétation de ce biome. D'autres études ont été effectuées ces deux dernières années pour utiliser le même type de données MODIS pour des classifications dans des régions de savane. Oliveira Jr. et Shimabukuro (2005) ont effectué une classification sur des données des états de Goiás et Tocantins. Quoique ces classifications n'aient pas été validées, un consensus existe dans la communauté scientifique quant à l'intérêt des données MODIS pour la cartographie à grande échelle.

Une autre étude a débuté sur les données du Brésil et est effectuée par une partie des équipes proposant ce projet, UERJ/Geomatica, Embrapa Soils et INRIA. Le but est d'utiliser les images MODIS pour la classification de l'occupation et de la couverture du sol, en estimant les profils temporels individuels, à la résolution de 250 mètres, sur la région du Mato Grosso du Sud (Bassin du Taquari) (Jonathan et al. 2005). Cette étude constitue le sujet d'un master dirigé par le coordinateur de cette proposition et co-encadré par l'INRIA. Ce master a permis de prouver que de nombreuses questions se posaient pour permettre l'utilisation de données Aqua-Terra/MODIS pour la surveillance de l'occupation et de la couverture du sol, en particulier sur les biomes de savane. La motivation de cette proposition est donc de créer le contexte international permettant d'atteindre ces objectifs.

Referências/References

Aguiar, M. C. de, Ferreira, L. G., Ferreira, M. E., Borges, R. de O., Sano, E. E., Gomes, M. P. (2005). "Mapeamento do Uso do Solo e da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado a partir de dados orbitais MODIS e SRTM e dados Censitários". Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), pp. 2799-2801, 16-21 abril, Goiânia, Brasil.

Anderson, L. O. (2004). "Classificação e monitoramento da cobertura vegetal de Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS". Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE-12290-TDI/986, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brasil.

Borak, J. S., Strahler, A. H. (1999). "Feature selection and land cover classification of a MODIS-like data set for a semiarid environment". International Journal of Remote Sensing, vol. 20, no. 5, pp. 919-938.

Bouzidi, S., Belhaj, S., Herlin, I., Berroir, J.-P. (2003). "An approach for land cover changes detection from low resolution satellite data", in Proceedings of Intl Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Toulouse, France.

Carpenter, G. A., Grossberg, S., Markuzon, N., Reynolds, J.H., Rosen, D. B. (1992). "Fuzzy ARTMAP: A neural network architecture for incremental supervised learning of analog multidimensional maps". IEEE Transactions on Neural Networks 3, pp. 698-713.

Ferreira, L. G., Silva, A. A., Jesus, E. T. de, Sano, E. E., Shimabukuro, Y. E. (2003). "Monitoramento sistemático da cobertura vegetal no bioma cerrado através dos índices de vegetação MODIS". Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), pp. 2729-2736, 05-10 abril, Belo Horizonte, Brasil.

Friedl, M. A., McIver, D. K., Hodges, J. C. F., Zhang, X. Y., Muchoney, D., Strahler, A. H., Woodcock, C. E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., Schaaf, C. (2002). "Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results". Remote Sensing of Environment, vol. 83, no. 1-2, pp. 287-302.

Herlin, I., Berroir, J.-P., Auger, M., Guldner, B., Ducrot, D., Gouaux, P., Maisongrande, P., Dedieu, G. (2005). "Continuous update of classification on a sequence of satellite images ", In proceedings of Intl Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Seoul, Korea.

Hochschild, V., Herlin, I., Moretti, S., Ranchin, T., Staudenrausch, H. (2000). "Application of remote sensing to the development of an Integrated Water Management System", in 28th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Cape Town, South Africa.

James, M. E., Kalluri, S. (1993), The Pathfinder AVHRR land data set: An improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring: The International Journal of Remote Sensing, 15, 3347-3364.

Jonathan, M., Meirelles, M. S. P., Berroir, J.-P., Herlin, I., Coutinho, H. L. da C. (2005). "Regional scale land use/land cover classification using temporal series of MODIS data at the High Taquari Basin, MS, Brazil". Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16-21 abril 2005, pp. 579-581, Goiânia, Brasil.

Meirelles, M. S. P., Costa, G.A., Singh, D., Berroir, J.P., Herlin, I., Silva, E.F., Coutinho, H.L. (2004). "A methodology to support the analysis of environmental degradation using NOAA-AVHRR data", In Proceedings of the Int. Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Istanbul, Turkey.

Mesquita Jr, H. N. de, Bitencourt, M. D. (2003). "Análise multitemporal de fragmentos de cerrado no estado de São Paulo com sensor orbital MODIS". Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), pp. 2815 - 2822, 05-10 abril, Belo Horizonte, Brasil.

Morton, D. C., Espírito-Santo, F. del B., Shimabukuro, Y. E., DeFries, R. S., Anderson, L. O. (2005). "Validation of MODIS annual deforestation monitoring with CBERS, Landsat, and field data". Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16-21 abril 2005, pp. 3159-3166, Goiânia, Brasil.

Oliveira Jr, H. J. de, Shimabukuro, Y. E. (2005). "Mapeamento da cobertura da terra dos Estados do Goiás e Tocantins utilizando imagens do sensor MODIS". Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), pp. 1641-1648., 16-21 abril, Goiânia, Brasil.

Singh, D., Herlin, I., Berroir, J.-P., Silva, E. F., Meirelles, M. S. P. (2004). "An approach to correlate NDVI with soil colour for erosion process using NOAA-AVHRR data", Advances in Space Research, vol. 33, no. 3, pp. 328-332.

Singh, D., Meirelles, M. S. P., Costa, G. A., Herlin, I., Berroir, J.-P., Silva, E. F., (2005). "Environmental degradation analysis using NOAA/AVHRR data", Advances in Space Research, in press.

Shimabukuro, Y. E., Duarte, V., Moreira, M. A., Arai, E., Rudorff, B. F. T., Anderson, L. O., Espírito-Santo, F. del B., Freitas, R. M. de, Aulicino, L. C. M., Maurano, L. E., Aragão, J. R. L. de (2005). "Detecção de áreas desflorestadas em tempo real: Conceitos básicos, desenvolvimento e aplicação do projeto DETER". INPE-12288-RPE/796, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brasil.

Strahler, A. H., Muchoney, D., Borak, J. S., Friedl, M., Gopal, S., Lambin, E., Moody, A. (1999). "MODIS land cover and land cover change". Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), version 5.0, Goddard Space Flight Center, National Aeronautics and Space Administration (NASA), USA.

Townshend, J. R. G., Justice, C. O. (1988). "Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations". *International Journal of Remote Sensing*, vol. 92, pp. 187–236.

Townshend, J. R. G., Justice, C. O., Gurney, C., McManus, J. (1992). "The impact of misregistration on the detection of changes in land cover". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 30, no. 5, pp. 1054–1060.

Townshend, J. R. G., Justice, C. O., Skole, D., Malingreau, J.- P., Cihlar, J., Teillet, P. M., Sadowski, F., Ruttenberg, S. (1994). "The 1-km AVHRR global data set: needs of the International Geosphere Biosphere Program". *International Journal of Remote Sensing*, vol. 15, pp. 3319-3332.

Valeriano, D. de M., Duarte, V., Anderson, L. O., Espírito-Santo, F. del B., Arai, E., Maurano, L. E., Souza, R. C., Freitas, R. M. de, Aulicino, L. C. M. (2005). "Detecção do desflorestamento da Amazônia Legal em tempo real - Projeto DETER". *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, pp. 3403-3409, 16-21 abril, Goiânia, Brasil.

Wessels, K. J., DeFries, R. S., Dempewolf, J., Anderson, L. O., Hansen, A. J., Powell, S. L., Moran, E. F. (2004). "Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA and Pará State, Brazil". *Remote Sensing of Environment*, vol. 92, no. 1, pp. 67-83.

3. Objetivos, metas e resultados (Máximo de 3 páginas)

Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia para subsidiar o monitoramento automatizado e sistemático do uso/cobertura dos solos, do desflorestamento e da degradação das terras sob pastagens cultivadas e monitorar a expansão das áreas onde ocorreu a adoção do *Sistema Plantio Direto* (SPD) em áreas de cerrado do Brasil, através do uso de imagens de satélites disponibilizadas gratuitamente e que possuem alta resolução temporal como o Aqua-Terra/MODIS e o NOAA/AVHRR.

Objetivos específicos

- Desenvolver uma metodologia para execução de monitoramento sistemático, automatizado e de baixo custo das mudanças *no uso/cobertura do solo* a nível regional, baseado em técnicas de Processamento Digital de Imagens aplicadas ao sensor MODIS dos satélites Aqua-Terra/TERRA;
- Desenvolver uma metodologia para o monitoramento automatizado e de baixo custo da *expansão do desflorestamento* nos cerrados brasileiros, baseado em técnicas de Processamento Digital de Imagens aplicadas a imagens do sensor MODIS dos satélites Aqua-Terra/TERRA;
- Desenvolver uma metodologia de monitoramento automatizado e de baixo custo da *expansão das áreas* onde ocorreu a adoção de *Sistemas Sustentáveis de Produção Agrícola* (SSPA) baseadas no *Sistema Plantio Direto* (SSPA/SPD) utilizando imagens de satélite com grande resolução temporal;
- Desenvolver uma metodologia que utiliza as *mudanças na cor do solo* como indicador da *degradação das terras*, correlacionar e calibrar parâmetros de campo com dados de satélites gratuitos e de alta resolução temporal como NOAA/AVHRR e Aqua-Terra /MODIS;
- Aplicar e validar a metodologia e rotinas desenvolvidas em áreas testes do cerrado brasileiro, mais especificamente no Estado do Mato Grosso do Sul, na bacia hidrográfica do Alto Paraguai, visando criar um procedimento de monitoramento regional sistemático que possa ser aplicado posteriormente à Bacia Hidrográfica do Rio da Prata;
- Desenvolver um protótipo de sistema que incorpore de forma amigável as rotinas computacionais de monitoramento por satélites desenvolvidas a partir das metodologias pesquisadas;
- *Transferir tecnologias* sobre as metodologias de monitoramento regional do uso/cobertura do solo desenvolvida.

Metas do Projeto

1. Descrição da Meta: técnicas e modelos de classificação automática da degradação do solo por correlação da cor do solo e imagens de satélite NOAA/AVHRR e Aqua-Terra /MODIS desenvolvidos
 - a) Tempo em que deve ser alcançada: 36 meses
 - b) Desempenho Atual: um modelo foi desenvolvido, pelo grupo proponente, para a correlação da cor do solo e índice de vegetação computados em dados NOAA/AVHRR (1,1km de resolução espacial). Este modelo requer melhor validação e a utilização de parâmetros de campo que foram simplificados na primeira fase além de necessitar ser adaptado aos dados Aqua-Terra /MODIS (250m de resolução espacial)
 - c) Aferidores da Meta: relatório final e publicações
2. Descrição da Meta: técnicas e modelos de classificação automática do uso/cobertura do solo baseados em imagens do satélite Terra/MODIS desenvolvidos
 - a) Tempo em que deve ser alcançada: 36 meses
 - b) Desempenho Atual: um modelo foi proposto, pelo grupo proponente, para a análise de séries temporais dos perfis de NDVI do MODIS a fim de se obter a classificação do uso/cobertura do solo da bacia do Alto Taquari (MS). Este modelo requer melhor validação e deve ser melhorado aproveitando a riqueza da informação espectral do MODIS, além de se pesquisar a questão da modelagem por subpixel
 - c) Aferidores da Meta: relatório final e publicações
3. Descrição da Meta: técnicas e modelos de detecção automática dos processos de desflorestamento baseados em imagens do satélite MODIS desenvolvidos
 - a) Tempo em que deve ser alcançada: 36 meses
 - b) Desempenho Atual: a análise do perfil temporal do MODIS (NDVI) para a classificação da bacia do Alto Taquari (MS) apresentou comportamentos temporais "anormais", os quais, após verificação em imagens de mais alta resolução, verificou-se tser a identificação de áreas que

sofreram desmatamento. Um modelo específico de de detecção de desmatamento ainda deve ser desenvolvido e validado, seguindo a linha de investigação iniciada.

- c) Aferidores da Meta: relatório final e publicações

4. Descrição da Meta: técnicas e modelos de classificação automática de áreas agrícolas (culturas anuais) sob o Sistema Plantio Direto e o Sistema de Integração Lavoura/Pecuária baseados em imagens do satélite MODIS desenvolvidos
 - a) Tempo em que deve ser alcançada: 36 meses
 - b) Desempenho Atual: não há modelo desenvolvido
 - c) Aferidores da Meta: relatório final e publicações

5. Descrição da Meta: protótipo *customizado* de sistema incorporando as técnicas automatizadas de monitoramento por satélites desenvolvidas
 - a) Tempo em que deve ser alcançada: 36 meses
 - b) Desempenho Atual: não há protótipo desenvolvido
 - c) Aferidores da Meta: relatório final e publicações

6. Descrição da Meta: Uso atual das terras mapeado automaticamente validado em áreas pilotos.
 - a) Tempo em que deve ser alcançada: 36 meses
 - b) Desempenho Atual: Uso atual desconhecido
 - c) Aferidores da Meta: Mapas e relatórios prontos.

7. Descrição da Meta: cursos de capacitação tecnológica realizados
 - a) Tempo em que deve ser alcançada: 36 meses
 - b) Desempenho Atual: nenhum curso
 - c) Aferidores da Meta: *folders* de divulgação, lista de presença

8. Descrição da Meta: workshops de intercâmbio Brasil/França realizados
 - a) Tempo em que deve ser alcançada: 36 meses
 - b) Desempenho Atual: nenhum workshop
 - c) Aferidores da Meta: *folders* de divulgação, lista de presença

9. Descrição da Meta: artigos técnico-científicos formulados e publicados
 - a) Tempo em que deve ser alcançada: 36 meses
 - b) Desempenho Atual: nenhum artigo
 - c) Aferidores da Meta: carta de aceite ou separata

10. Descrição da Meta: 1 *site* do projeto criado na *Internet*
Tempo em que deve ser alcançada: 12 meses
Desempenho Atual: nenhum site
Aferidores da Meta: lançamento do *site* do projeto

A difusão dos resultados se dará a partir de treinamentos no Rio de Janeiro (para as universidades e centros de pesquisa envolvidos) e na área de estudos do Mato Grosso do Sul, que se viabilizará através do apoio dos parceiros locais: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA/MS) – Instituto de Meio Ambiente Pantanal, Secretaria de Produção (SEPROTUR/MS), Instituição Estadual de Pesquisa e Extensão Rural (IDATERRA/MS), Consórcio Inter-Municipal para o Desenvolvimento Sustentável da Bacia do Rio Taquari (COINTA/MS), duas ONGs (Oreades e Conservation International do Brasil), Fundação Cândido Rondon, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Além disto, serão realizados workshops do projeto, uma *homepage* e artigos científicos.

VERSION FRANCAISE

Objectif général

Développer une méthodologie permettant la surveillance automatisée de l'occupation et de la couverture du sol - afin de contrôler la déforestation, la dégradation du sol sur les zones cultivées et l'extension des pratiques de développement durable telles que le zéro labour dans les régions de savanne du Brésil- au moyen d'une imagerie satellite gratuite à haute résolution temporelle, telle que MODIS et NOAA/AVHRR.

Objectifs spécifique

- Développer une méthodologie permettant la surveillance, systématique, automatique et de faible coût, de l'occupation et de la couverture du sol, à l'échelle régionale, au moyen du traitement des images acquises par les capteurs MODIS des satellites Terra et Aqua.
- Développer une méthodologie permettant la surveillance automatique, à faible coût, de la déforestation dans la savanne brésilienne, au moyen du traitement des images acquises par les capteurs MODIS des satellites Terra et Aqua.
- Développer une méthodologie permettant la surveillance automatique, à faible coût, de l'extension des zones utilisant des méthodes agricoles favorables au développement durable, telles que le zéro labour, dans les zones de savane brésilienne, au moyen d'une imagerie satellite à haute résolution temporelle.
- Développer une méthodologie, utilisant les modifications de couleur du sol comme indicateur de la dégradation du sol. Corréler et calibrer les mesures acquises sur le terrain avec les données gratuites des satellites à haute résolution temporelle, tels que NOAA/AVHRR et Aqua-Terra/MODIS.
- Appliquer les outils développés à des zones de savane brésilienne, plus spécifiquement dans l'état du Mato Grosso du Sud, dans le bassin versant du Taquari, afin de réaliser une procédure de contrôle régional systématique, qui pourra ultérieurement être utilisée sur le bassin hydrographique du Rio de la Prata.
- Développer un prototype ergonomique, incorporant les logiciels de traitement de données satellite, décrits ci-dessus.
- Transfert technologique du système de surveillance régionale de l'occupation et de la couverture du sol.

Echéancier du projet

- 1) Description : Analyse automatique de la dégradation du sol au moyen d'indices de couleur de sol obtenus sur les images des satellites NOAA/AVHRR and Aqua-Terra/MODIS.
 - a) Durée, en mois : 36.
 - b) Etat d'avancement : Un modèle a été développé à l'INRIA pour corréler la couleur du sol et les indices de végétation sur les données NOAA-AVHRR. Ce modèle doit encore être validé et adapté aux données MODIS.
 - c) Critères d'évaluation : rapport final et publications.
- 2) Description : Développement d'outils de classification automatique de l'occupation et de la couverture du sol sur les données Aqua-Terra/MODIS.
 - a) Durée, en mois : 36.
 - b) Etat d'avancement : Un modèle a été proposé, par les participants à cette proposition, pour l'analyse de séries temporelles de profils NDVI MODIS afin d'effectuer une classification de couverture et d'occupation du sol du bassin versant Taquari. Ce modèle nécessite une validation complémentaire et doit être amélioré pour prendre en compte l'ensemble de l'information spectrale MODIS et pour permettre une modélisation sub-pixel.
 - c) Critères d'évaluation : rapport final et publications.
- 3) Description : Détection automatique de la déforestation au moyen des données Aqua-Terra/MODIS.
 - a) Durée en mois : 36.
 - b) Etat d'avancement : L'analyse des profils temporels de NDVI MODIS pour la classification du bassin versant du Taquari a montré des comportements aberrants, qui, après comparaison avec des

données haute résolution de type Landsat, se sont révélés correspondre au phénomène de déforestation. Un modèle effectif de détection de la déforestation doit à présent être développé et validé.

c) Critères d'évaluation : rapport final and publications.

- 4) Description : Détection et classification automatiques des zones de culture pratiquant le système zéro labour ou le système intégrant pâturages-cultures au moyen des données images des satellites Aqua-Terra/MODIS.
 - a) Durée en mois : 36.
 - b) Etat d'avancement : initialisation.
 - c) Critères d'évaluation : rapport final et publications.
- 5) Description : Développement d'un prototype ergonomique incorporant les outils de surveillance par satellite développés dans le projet.
 - a) Durée en mois : 36.
 - b) Etat d'avancement : initialisation.
 - c) Critères d'évaluation: rapport final et publications.
- 6) Description : Tests sur des sites pilotes des cartographies automatiques développées dans le projet.
 - a) Durée en mois : 36.
 - b) Etat d'avancement : test non défini.
 - c) Critères d'évaluation : cartes et rapport final.
- 7) Description : Formations sur les technologies développées.
 - a) Durée en mois: 36.
 - b) Etat actuel : formations à préparer.
 - c) Critères d'évaluation : manuels de formation et liste de participants.
- 8) Description : Workshops Brésil/France.
 - a) Durée en mois : 36.
 - b) Etat d'avancement : initialisation.
 - c) Critères d'évaluation : actes et liste de participants.
- 9) Description : Publications scientifiques.
 - a) Durée en mois: 36.
 - b) Etat d'avancement : initialisation.
 - c) Critères d'évaluation : Publications ou lettres d'acceptation.
- 10) Description : Création d'un site World Wide Web.
 - a) Durée en mois : 12, puis mise à jour continue.
 - b) Etat d'avancement : initialisation.
 - c) Critères d'évaluation : disponibilité du site.

La diffusion des résultats débutera avec les actions de formation des étudiants du Mato Grosso du Sud. Cette formation sera effectuée avec l'aide des partenaires locaux : l'office local de l'environnement (SEMA/MS), le bureau général de la production (SEPROTUR/MS), l'institut d'état de la recherche et des affaires rurales (IDATERRA/MS), le consortium inter-municipalités (COINTA/MS), deux ONG (Oreades et Conservation International of Brazil). En plus des workshops organisés par les partenaires du projet, un site web sera ouvert et des publications scientifiques seront effectuées afin de permettre une meilleure diffusion des avancées du projet.

4. Metodologia (Máximo de 3 páginas)

A estratégia para avaliação de degradação das terras, através de dados NOAA e MODIS, parte da premissa de que pode-se identificar e acompanhar processos de degradação utilizando-se dados de sensoriamento remoto, através do monitoramento das mudanças de cor do solo ao longo do tempo. A cor é uma das propriedades mais utilizadas para a caracterização e diferenciação de horizontes e de tipos de solo, uma vez que diversas propriedades podem ser relacionadas a esse atributo. Alguns dos fatores determinantes da cor do solo são a quantidade e qualidade de matéria orgânica (solos escuros) e de óxidos de ferro e alumínio (solos amarelados ou avermelhados). O carbonato e o sulfato de cálcio dão ao solo uma cor mais clara, enquanto que a umidade diminui a intensidade da cor. Geralmente, solos degradados e erodidos, desprovidos de cobertura vegetal viva ou morta, apresentam cores mais intensas ou claras em consequência da remoção das camadas superficiais. Em casos mais graves, as camadas superficiais podem ser totalmente removidas, aparecendo outros materiais na superfície com coloração radicalmente diferente daquela de solos não erodidos. A variação na cor da superfície do solo pode ser monitorada através da emissividade, que é uma medida da eficiência inerente de materiais em converter energia térmica em energia radiante sobre a superfície (Sobrinho et al., 2000). A emissividade depende da composição, aspereza e umidade da superfície e também das condições de observação (i.e. comprimento de onda, resolução espacial e ângulo de observação). As variações da emissividade são mais interessantes de serem analisadas que as de temperatura, porque possuem uma relação direta com a composição da superfície do solo (Coll et al., 1994). Índices de vegetação têm sido utilizados para a derivação de propriedades biofísicas da vegetação e de solos. Padrões espaciais e temporais de índices de vegetação foram relacionados com: padrões de temperatura e precipitação (Schultz e Halpert, 1993); evapotranspiração (Cihlar et al., 1991); umidade do solo (Narasimha Rao et al., 1993); e propriedades físicas do solo (Lozano-Garcia et al., 1991). A abordagem proposta segue uma linha semi-empírica, partindo da proposição de um modelo teórico, estruturado a partir do significado físico dos índices de vegetação e da emissividade. Os parâmetros do modelo são obtidos a partir de análises de regressão sobre dados reais, e os resultados da aplicação do modelo são posteriormente confrontados com dados coletados no campo. O modelo estabelece o relacionamento entre a cor do solo, emissividade, índices de vegetação (NDVI, MSAVI, GEMI e PAVI) e temperatura da superfície a partir do significado físico dessas grandezas. No modelo, os índices de vegetação são considerados como uma função de fatores climáticos, do ecossistema investigado, de fatores fisiográficos, de fatores hidrológicos e de características do solo. $\text{Índice de Vegetação} = f(Cl, Ve, Fg, S) + K$. Pode-se resumir a metodologia proposta em três etapas: i) Determinação dos modelos de correlação entre cor, índices de vegetação (NDVI, MSAVI, GEMI e PAVI) e emissividade, e das respectivas funções matemáticas para calcular a cor do solo; ii) Cálculo da Cor do Solo: Geração, a partir das funções definidas na Etapa 1, dos modelos digitais para cada um dos componentes da cor (matiz, valor e croma); iii) Avaliação do Modelo - Conferência da capacidade do modelo em determinar a cor do solo, confrontando os modelos digitais gerados na Etapa 2 com dados reais coletados no campo. As Etapas 1 e 3 só precisam ser realizadas no início do trabalho com uma nova região. Após a determinação das funções para o cálculo da cor e dos erros associados, somente a Etapa 2 precisa ser executada para calcular a cor do solo, que será utilizado como indicador da degradação das terras.

A metodologia proposta para a realização da *classificação automatizada do uso e cobertura do solo em escala regional, a partir de dados MODIS*, está fundamentada em resultados obtidos nos últimos anos por diversos pesquisadores (Strahler et al., 1999; Friedl et al., 2002; Wessels et al., 2004, entre outros). Segundo estes resultados, foi demonstrado que dados de alta frequência temporal e baixa ou moderada resolução espacial são ideais para a caracterização do uso e cobertura do solo sobre grandes regiões, mesmo utilizando-se poucas bandas espectrais de informação. Em particular, foi verificado que seqüências temporais de índices de vegetação, tais como o NDVI, são especialmente úteis para este fim, uma vez em que elas permitem acompanhar com precisão o comportamento fenológico da vegetação ao longo do ciclo vegetativo. Neste sentido, a metodologia proposta se baseia num procedimento de *aprendizado* do comportamento temporal característico de cada classe de uso e cobertura do solo, o que é feito a partir de dados de treinamento restritos a uma região geográfica. Uma vez adquiridos estes conhecimentos, eles podem ser posteriormente aplicados sistematicamente através de um processo de classificação supervisionada, de forma a cobrir uma região de interesse de centenas de milhares de quilômetros quadrados.

A metodologia resumida nesta proposta, toma como base dois conjuntos de dados. Em primeiro lugar, utiliza-se uma seqüência temporal de dados MODIS para a região em estudo, com informações nas bandas do vermelho e infra-vermelho próximo cobrindo um período de 1 ano e com uma resolução espacial de 250m. A metodologia pode fazer uso tanto de dados de reflectância diária da superfície (produtos MOD09GQK e MOD09GST) quanto dados de reflectância e de NDVI resultantes de uma composição de 16 dias (produto MOD13Q1). O segundo conjunto de informações empregado corresponde a uma classificação confiável do uso e cobertura do solo para o mesmo ano, para servir de dado de entrada na fase de treinamento da

metodologia. Esta classificação deve cobrir uma parcela da região em estudo, devendo incluir as classes de interesse de maneira representativa.

A partir destes dados iniciais, são então estabelecidas uma série de etapas bem-definidas de forma a se atingir o objetivo final de maneira automatizada. Primeiramente, realiza-se um *pré-processamento* dos dados MODIS, onde são levados em consideração, além dos dados principais, um conjunto de informações auxiliares ou *metadados* distribuídos pela NASA. Estes metadados especificam, para cada pixel, informações detalhadas sobre as condições de cobertura de nuvens, presença ou não de sombras, presença de nuvens finas do tipo *cirrus*, e nível de concentração de aerossóis, além de medidas do grau de qualidade verificado no processo de correção atmosférica realizado no ponto em questão. Desta forma, ao se construir a seqüência temporal de dados MODIS, estas informações são todas consideradas em conjunto, de maneira que se filtram dados tidos como de baixa confiabilidade, substituindo-os através da utilização de um algoritmo de interpolação temporal e posterior filtragem. Assim, ao final do processo, obtém-se um resultado capaz de minimizar ruídos e interferências devidos a efeitos atmosféricos, falhas de sensor, ou outra origem qualquer.

Em seguida, caso necessário, realiza-se uma etapa de adaptação da classificação de entrada para dados MODIS. Nesta fase, é feita uma avaliação da classificação original de entrada, de modo a se determinarem quais destas classes são efetivamente discrimináveis utilizando dados MODIS. Neste sentido, analisa-se a ocorrência de dois casos de natureza distinta. Em primeiro lugar, realiza-se um aglutinamento daquelas classes originais vistas como indistinguíveis a partir dos perfis temporais MODIS. Além disso, verifica-se também se alguma destas classes contém mais de uma sub-classe em seu interior com relação ao seu comportamento temporal. Neste caso, realiza-se então uma sub-divisão destas classes originais, aplicando-se para isso um algoritmo de agrupamento ou *clustering* não-supervisionado (Duda et al., 2001). Portanto, como resultado desta etapa, obtém-se ao final uma classificação de treinamento especificamente adaptada aos dados MODIS, que poderá então ser utilizada mais adiante durante o processo de classificação.

Neste ponto, inicia-se um procedimento de análise mais detalhada dos perfis temporais de NDVI, com o intuito de otimizar os dados a serem utilizados na tarefa posterior de classificação. Para isso, realiza-se primeiramente um ajuste de curvas polinomiais aos dados temporais, de modo a se obterem curvas suaves capazes de reduzir o ruído residual do perfil e aumentar a sua interpretabilidade. Em seguida, calcula-se uma série de *métricas* ou *atributos* com base neste perfil suavizado (e.g., data de máximo NDVI ou número de modos no perfil), de maneira a se obterem informações mais inteligentes e úteis para o processo de classificação (DeFries et al., 1995). As métricas computadas são ainda analisadas por meio de um algoritmo de seleção de atributos baseado em medidas de correlação (CFS, *Correlation-based Feature Selection*) (Hall, 1999), de modo a se definir um sub-conjunto de atributos capaz de minimizar a redundância de informações ao mesmo tempo em que se maximiza a capacidade de discernimento entre as classes de interesse. Desta forma, o processo de classificação é beneficiado pelo uso de informações mais adequadas, obtendo-se também uma redução da dimensionalidade dos dados e a minimização de problemas relacionados a ruídos e/ou pequenas variações nos perfis temporais.

Uma vez processados todos os dados de entrada, realiza-se finalmente o processo de classificação propriamente dito. Este processo é feito de forma supervisionada, podendo-se utilizar para este fim até mesmo algoritmos clássicos de classificação, tais como o algoritmo estatístico de *máxima verossimilhança* (Duda, 2001). Assim, num primeiro passo, utiliza-se a classificação de *treinamento* computada anteriormente de modo a se executar o processo de *aprendizagem* do algoritmo de classificação, caracterizando-se desta forma o comportamento de cada classe com relação aos atributos ou métricas selecionados. Então, uma vez realizado o aprendizado, pode-se aplicar o algoritmo de classificação para toda a região de interesse, obtendo-se assim as diversas classes de uso e cobertura do solo. Alternativamente, outras abordagens mais sofisticadas de classificação também podem ser empregadas, tais como árvores de decisão construídas automaticamente (Quinlan, 1993) ou redes neurais baseadas em teoria de ressonância adaptativa e lógica nebulosa (*FuzzyART*; Carpenter et al., 1992). Deste modo, torna-se possível evitar suposições de *gaussianidade* com relação às distribuições de probabilidade dos dados de entrada, permitindo assim a análise de classes com distribuições de probabilidade multimodais, além de facilitar a interpretação final do processo de classificação realizado.

Dentre as aplicações específicas do uso de dados MODIS para a caracterização da dinâmica do uso e cobertura do solo, uma possibilidade que merece especial destaque se refere à capacidade de detecção de atividades de *desflorestamento*. De fato, uma vez em que a ocorrência deste tipo de fenômeno implica necessariamente numa forte diminuição da atividade fotossintética, esta atividade pode ser diretamente relacionada a sensíveis perturbações nos perfis temporais de NDVI nas áreas em questão. Neste contexto, a metodologia descrita aqui pode ser utilizada de modo a caracterizar automaticamente a ocorrência de desflorestamento, utilizando para isso um processo de detecção baseado em atributos descritivos dos perfis temporais. Neste sentido, uma abordagem mais elementar corresponde à utilização de um conhecimento prévio das áreas florestadas, aliada à especificação de um atributo simples de limiar mínimo de queda no índice NDVI. Adicionalmente, este tipo de detecção também pode ser beneficiado pela utilização de seqüências temporais de dados cobrindo um período de diversos anos. Neste caso, uma análise pluri-anual dos dados pode ser combinada com o desenvolvimento de atributos descritivos mais elaborados, de maneira

a se conseguir detectar áreas de perda de cobertura florestal sem o emprego de qualquer tipo de conhecimento prévio, identificar processos lentos e gradativos de degradação, ou ainda realizar uma categorização dos padrões de desflorestamento observados na região em análise.

Similarmente, esta metodologia de processamento de dados MODIS também pode ser aplicada com relação à questão do *monitoramento da expansão da área de adoção do Sistema de Plantio Direto e do ILP/SPD*. Para este fim, é necessário primeiramente identificar automaticamente, a partir dos perfis temporais representativos de cada classe de uso/cobertura, as áreas de agricultura para que, a partir delas, possam-se utilizar atributos de forma a considerar a principal característica do SPD, que é o não revolvimento do solo por ocasião da instalação das culturas. Desta maneira, para cada área analisada é possível observar o seu perfil temporal, identificar o período de plantio ocorrido, e então verificar a presença ou ausência de solo exposto durante este período, como por exemplo a partir de um limiar máximo de NDVI. Adicionalmente, uma vez definidos os algoritmos para identificação de diferentes culturas, pode ser também realizada uma avaliação do uso específico da terra em áreas agrícolas ao longo de anos subseqüentes, de maneira a poder caracterizar a rotação de culturas. Assim, a identificação de áreas com integração lavoura-pecuária torna-se possível a partir da análise de seqüências temporais de imagens cobrindo períodos de 2 a 4 anos, podendo-se caracterizá-la automaticamente, através da verificação de um encadeamento *pastagem – lavoura – pastagem*, sem revolvimento do solo e com rotação de culturas anuais.

VERSION FRANCAISE

Méthodologie pour l'évaluation de la dégradation des sols.

La stratégie d'évaluation de la dégradation des sols, au moyen des acquisitions satellite NOAA et MODIS, repose sur l'hypothèse que cette dégradation peut être observée à partir de l'évolution au cours du temps de la couleur du sol. La mesure de couleur est, en effet, caractéristique du type de sol, et différentes propriétés peuvent être corrélées à cet attribut (Bem-Dor et al., 1999). Par exemple, la couleur du sol est reliée à la quantité et au type de matière organique (couleur plus ou moins foncée), et au taux d'oxydes de fer et d'aluminium (couleur jaune ou rouge). La présence de carbonates et de sulfates de calcium donne au sol une couleur plus claire, tandis qu'un taux d'humidité élevé atténue l'intensité de cette couleur. Généralement, un sol dégradé ou érodé, qui ne présente pas de couverture végétale, a une couleur plus intense ou plus claire en raison de la disparition partielle des couches supérieures. Dans les cas d'érosion plus importante, où les couches supérieures ont complètement disparu, apparaissent alors des matériaux divers avec des couleurs complètement différentes de celle des zones adjacentes non érodées. La variation de la couleur de sol peut être contrôlée au moyen de la mesure d'émissivité, qui représente la capacité d'un matériau à transformer l'énergie thermique en énergie radiante (Sobrino et al., 2000). L'émissivité dépend de la composition, de la rugosité et de l'humidité de la surface, ainsi que des conditions d'observation (longueur d'onde, résolution spatiale, angle d'observation). Ainsi, les variations temporelles de la couleur de sol sont plus importantes à observer que les variations temporelles de la température de surface, puisqu'elles ont une relation directe avec la composition du sol en surface (Coll et al., 1994). Des indices de végétation ont également été utilisés afin d'estimer les propriétés biophysiques de la végétation et des sols. Les structures spatiales et temporelles des indices de végétation sont reliés, ainsi qu'analysé dans la littérature, aux : structures spatio-temporelles de température et de précipitation (Schultz et Halpert, 1993) ; d'évapotranspiration (Cihlar et al., 1991) ; d'humidité du sol (Narasimha Rao et al., 1993), ainsi qu'à des propriétés physiques du sol (Lozano-Garcia et al., 1991). Dans ce contexte, la présente proposition suit une méthode semi-empirique, en recherchant des modèles théoriques pour prédire la valeur des paramètres d'intérêt, en particulier la dégradation du sol, au travers de sa couleur. Ces modèles sont réalisés à partir de la signification physique des indices de végétation et de l'émissivité. Les paramètres des modèles sont obtenus, dans une phase d'apprentissage, à partir de régressions effectuées en comparant les estimations par satellite et les valeurs mesurées sur le terrain. Les modèles sont ensuite validés dans une phase de test par de nouvelles comparaisons avec des mesures terrain. Le modèle pour la dégradation du sol doit en fait traduire la relation entre la couleur du sol, l'émissivité, les indices de végétation (NDVI, MSAVI, GEMI et PAVI), la température de surface, à partir de la signification physique de ces paramètres. Dans ce modèle, les indices de végétation sont considérés comme des fonctions des facteurs climatiques, de l'écosystème étudié, de facteurs physiques et hydrologiques et des caractéristiques du sol. La méthodologie proposée peut être résumée en trois étapes : 1) Détermination des corrélations entre la couleur du sol, les indices de végétation (NDVI, MSAVI, GEMI et PAVI) et l'émissivité, puis définition des fonction mathématiques permettant de calculer la couleur du sol à partir des autres paramètres ; 2) Calcul de la couleur du sol : réalisation à partir de l'étape 1 des logiciels permettant le calcul des différentes composantes de la couleur (valeur, teinte et saturation) ; 3) Evaluation du modèle : confrontation des estimations obtenues à l'étape 2 avec les mesures effectuées sur le terrain. Les étapes 1 et 3 devront être débutées dès l'acceptation du projet, pour un site test de l'étude, puis l'étape 2 devra être effectuée afin de pouvoir obtenir, en routine, une estimation de la couleur du sol, en indicateur de la dégradation du sol.

Méthodologie pour la classification automatique.

La méthodologie proposée pour réaliser une classification automatique de l'occupation et de la couverture du sol à l'échelle régionale, à partir des données MODIS, nécessite deux types de données. La première source d'information est une séquence temporelle de donnée MODIS, acquise sur la zone d'étude, dans les bandes rouge et proche infra-rouge, sur une durée d'un an et à la résolution spatiale de 250 mètres. Il est possible d'utiliser soit les mesures quotidiennes (produits MOD09GKQ et MOD09GST) ou les estimations de NDVI résultant de compositions sur 16 jours (produit MOD13Q1). Ces données MODIS incluent, à côté des mesures spectrales, des données complémentaires, appelées métadonnées, et qui contiennent des informations sur la couverture nuageuse, la présence d'ombre, la présence de nuages fins de type cirrus, la concentration en aérosols, et des mesures de qualité du processus de correction atmosphérique. Ces données complémentaires sont utilisées pour réaliser des prétraitements et améliorer la qualité des produits utilisés. La deuxième source de données nécessaire à l'étude est une classification, à haute résolution spatiale (à partir par exemple de données LANDSAT), de la couverture et de l'utilisation du sol, selon la thématique d'intérêt, pour la même année. Cette classification correspond à une portion de la zone étudiée. Elle est divisée en deux

parties ; la première sert de donnée d'entrée au processus d'apprentissage, afin d'obtenir une estimation des profils temporels individuels à l'échelle MODIS et la seconde est utilisée pour valider les résultats.

Le processus d'apprentissage comprend sept étapes. Dans une première étape, les séquences temporelles de données MODIS peuvent être améliorées en utilisant des filtrages ou interpolations pour éliminer les données non valides, quelle qu'en soit la cause. Dans une deuxième étape, la classification réalisée à partir des données haute résolution et utilisée pour la phase d'apprentissage, doit être adaptée pour diminuer le nombre de classes présentes et ne conserver que celles qui puissent être discriminées au moyen des données MODIS. Dans la troisième étape, une approximation polynomiale est réalisée sur chacun des profils temporels, afin de diminuer les bruits résiduels. La quatrième étape correspond à la détermination des profils individuels des classes d'intérêt, par inversion des profils pixels au moyen de la classification haute résolution. La cinquième étape correspond à l'extraction d'attributs sur ces profils individuels (tels que la date du maximum de NDVI ou le nombre de modes de la courbe) afin d'obtenir une information plus synthétique. Dans la sixième étape, une sélection des attributs pertinents et une définition de métrique sont réalisées, afin de limiter l'information redondante et d'optimiser la discrimination des classes d'intérêt. La septième étape concerne la caractérisation mathématique de chacune des classes d'intérêt. Grâce à ces sept étapes, le processus de classification s'effectuera sur des données pertinentes, dans un espace de dimension restreinte, en évitant les difficultés liées au traitement direct des profils temporels MODIS. Dans la phase de test ou d'utilisation opérationnelle, les données MODIS sont également prétraitées par un lissage des profils temporels, suivi d'une extraction des attributs pertinents (choisis au cours de l'apprentissage). On réalise alors la classification proprement dite. Elle peut s'effectuer de façon supervisée, à l'aide d'algorithmes classiques, tels que le maximum de vraisemblance. Mais, la classification peut aussi utiliser des algorithmes plus sophistiqués, en évitant l'hypothèse gaussienne sous-jacente à l'algorithme du maximum de vraisemblance, et en autorisant par exemple des distributions de probabilité multimodales. Cette classification peut, selon le type de précision choisie, s'effectuer à l'échelle MODIS, ou en pourcentage à l'intérieur du pixel.

Dans le cadre applicatif de la déforestation, qui se traduit par une forte diminution de l'activité de photosynthèse, on observe une modification significative des profils temporels de NDVI. Il est donc nécessaire de caractériser ces modifications afin de détecter au mieux et le plus précocement possible ce type de processus de déforestation. De même, la surveillance de l'extension des zones pratiquant le zéro labour nécessite la définition de caractéristiques fondamentales permettant d'identifier ce type d'agriculture. Ces caractéristiques pourront alors être identifiées par l'observation satellitaire et permettront la surveillance de l'adoption de ces pratiques de développement durable. Pour chacune de ces deux applications, déforestation et extension du zéro labour, il ne s'agit pas simplement d'adapter la méthodologie de classification en occupation et couverture de sol. Ce sont des processus qui nécessitent une surveillance pluri-annuelles. Il ne s'agit pas simplement de définir de nouvelles classes et de déterminer si des pixels passent d'une classe à une autre. Il s'agit d'un phénomène lent, qui évolue sur plusieurs années, et qui se traduit par une modification du comportement temporel intra-annuel des pixels. C'est cette modification, au travers d'attributs pertinents, qu'il faut caractériser et mesurer. La méthodologie proposée s'appuiera donc sur un apprentissage pluri-annuel, afin de définir des attributs pertinents pour caractériser cette évolution sur les courbes de profil temporel MODIS. Elle sera validée par des mesures terrain, sur les sites gérés par les partenaires locaux, et en cours de dégradation ou de déforestation.

Referências/References

- Carpenter, G. A., Grossberg, S., Markuzon, N., Reynolds, J.H., Rosen, D. B. (1992). "Fuzzy ARTMAP: A neural network architecture for incremental supervised learning of analog multidimensional maps". IEEE Transactions on Neural Networks 3, pp. 698-713.
- Coll, C., Caselles, V., Schmugge, J. T. (1994). "Differences of Land Surface Emissivity Differences in the Split-Window Channels of AVHRR". Remote Sensing of Environment, vol. 48, pp. 127-134.
- Cihlar, J. et al. (1997). "Multitemporal, Multichannel AVHRR Data Sets for Land Biosphere Studies – Artifacts and Corrections". Remote Sensing of Environment, vol. 60, pp. 35-57.
- DeFries, R. S., Hansen M. C., Townshend, J. R. G. (1995). "Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR pathfinder data". Remote Sensing of Environment, vol. 54, no. 3, pp. 209–222.
- Duda, R. O., Hart, P. E., Stork, D. G. (2001). "Pattern Classification", 2nd ed., John Wiley & Sons, USA.
- Friedl, M. A., McIver, D. K., Hodges, J. C. F., Zhang, X. Y., Muchoney, D., Strahler, A. H., Woodcock, C. E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., Schaaf, C. (2002). "Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results". Remote Sensing of Environment, vol. 83, no. 1-2, pp. 287-302.
- Hall, M. A. (1999). "Correlation-based feature subset selection for machine learning". PhD thesis, Department of Computer Science, University of Waikato, New Zealand.
- Lozano-Garcia, D. F., Fernandez, R. N., Johannsen, C. J. (1991). "Assessment of Regional Biomass-Soil Relationships using Vegetation Indexes". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 29, pp. 331-338.
- Narisimha Rao, P. V. et al. (1993). "Relation between Zone Soil Moisture and NDVI of Vegetated Fields". International Journal of Remote Sensing, vol. 14, pp. 441-449.
- Schultz, P. A., Halpert, M. S. (1995). "Global analysis of the relationships among a vegetation index, precipitation and land surface temperature". International Journal of Remote Sensing, vol. 16, no. 15, pp. 2755-2777.
- Strahler, A. H., Muchoney, D., Borak, J. S., Friedl, M., Gopal, S., Lambin, E., Moody, A. (1999). "MODIS land cover and land cover change". Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), version 5.0, Goddard Space Flight Center, National Aeronautics and Space Administration (NASA), USA.
- Sobrino, J. A., Raissouni, N., Li, Z. L. (2001). "A Comparative Study of Land Surface Emissivity Retrieval from NOAA Data". Remote Sensing of Environment, vol. 75, pp. 256-266.
- Wessels, K. J., DeFries, R. S., Dempewolf, J., Anderson, L. O., Hansen, A. J., Powell, S. L., Moran, E. F. (2004). "Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA and Pará State, Brazil". Remote Sensing of Environment, vol. 92, no. 1, pp. 67-83.

5. Modelo de gestão, cooperação internacional e compromisso das instituições participantes do projeto (Máximo de 3 páginas)

O grupo proponente vem interagindo desde 1999, pode-se resumir o seu histórico de envolvimento através das atuações conjuntas em projetos na região de estudo: o Projeto SOS Taquari (“Sistema de Suporte a Decisão para o Monitoramento de Impactos Ambientais de Atividades Agropecuárias na Bacia do Alto Taquari: Instrumento de Gestão Ambiental para os Municípios do Alto Taquari, Pantanal Matogrossense”), comprova a experiência do grupo na execução de projetos em rede na região, onde participaram 3 unidades da Embrapa, uma Instituição Estadual de pesquisa e extensão rural (IDATERRA), 3 universidades (UERJ/Geomática, PUC RIO e UFRJ/NCE), 3 Prefeituras Municipais e 1 Consórcio Inter-Municipal (COINTA), duas ONGs (Oreades e CI Brasil), e duas Instituições internacionais (INRIA, França; e Universidade de Hanover, Alemanha). Adicionalmente, a Embrapa Solos elaborou um projeto GEF (Global Environment Fund) de médio porte, visando a Gestão Integrada da Bacia do Rio Formoso, na região de Bonito, MS. Este projeto terá início este ano, e tem a participação das outras 3 unidades da Embrapa no Estado de MS, duas Instituições estaduais (IDATERRA e SEMA), e uma ONG (CI Brasil), e a Prefeitura de Bonito, como executoras e colaboradoras. O projeto Bonito/GEF apoiará o projeto ora proposto (ENVI AIR), através do fornecimento de dados de campo, apoio logístico na validação dos métodos e transferência de tecnologia. A Embrapa Solos, a UERJ/Geomática e o INRIA participam também do Projeto da Bacia do Prata “Land use change in the Rio de la Plata Basin: Linking biophysical and human factors to predict trends, assess impacts, and support viable strategies for the future”, coordenado pela Universidade de Buenos Aires e com a participação adicional de outras Instituições de Ensino e Pesquisa da Argentina, Brasil, Uruguai, Paraguai, e EUA. Esta proposta está em análise pelo InterAmerican Institute for Global Change, prevê o desenvolvimento de modelos espacializados de simulação de mudanças de uso e cobertura da terra e de seus possíveis impactos, em escala regional. Os resultados obtidos no projeto ENVI AIR atenderão a uma das vertentes do projeto da Bacia do Prata, os procedimentos desenvolvidos na bacia do alto Paraguai (afluente do Prata) e nos cerrados do Mato Grosso do Sul, poderão ser aplicados na Bacia do Prata, ajudando a compreender as interações biofísicas e humanas desta importante bacia da América Latina, a qual uma grande área encontra-se no Brasil. Finalmente, o grupo proponente executou um projeto PROTEM-CC/INRIA 99-2 na área de Processamento Digital de Imagens, denominado: “Tecnologia de Processamento Digital de Imagens para Detecção de Mudanças e Extração de Informações Ambientais”, cujos resultados das pesquisas geraram diversas publicações científicas, dissertações e transferência tecnologia no Mato Grosso do Sul mencionadas nesta proposta e motivou o grupo a continuar seu histórico de cooperação e a elaborar o projeto ENVI AIR.

A estratégia de ação desta proposta, principalmente seu componente participativo e integrado com as instituições locais, deriva do desenvolvimento e construção dos projetos citados acima e da experiência obtida pelo grupo proponente em trabalhar de forma conjunta nestes projetos. As tecnologias de processamento digital e análise de imagens multitemporais desenvolvidas pelo Projeto SOS Taquari em parceria com o **INRIA**, foram transferidas aos técnicos e usuários locais, tanto de Prefeituras e órgãos das administrações municipais e estaduais, quanto de ONGs envolvidas com atividades de gestão participativa do uso da terra no estado do Mato Grosso do Sul.

Neste projeto, iremos ampliar estas parcerias agregando aos processos de transferência de tecnologia (treinamentos e cursos de capacitação), atividades de desenvolvimento participativo de produtos tecnológicos (atuação conjunta dos técnicos locais na coleta de dados de campo e construção dos modelos conceituais que embasarão a tecnologia gerada). Além disto, os projetos em andamento no estado do Mato Grosso do Sul descritos acima, apoiarão a fase de campo, obtenção de dados e informações, equipamentos e medições locais, apoio logístico e a validação dos resultados formando uma rede de projetos e parcerias interligadas e com uma rica experiência bem sucedida de trabalhos em conjunto e troca de competências, desde o nível tecnológico até o nível dos beneficiários locais.

A comunicação e troca de informação entre a equipe do projeto, e entre estes e a sociedade será subsidiada pela construção de um *site* interativo na Internet, onde serão disponibilizados os relatórios, publicações, informes, programação de eventos de capacitação tecnológica, relato das viagens de intercâmbio, etc

Sendo assim, apresenta-se abaixo, uma descrição sumária das instituições, dos compromissos e atividades a serem desempenhadas:

Universidade do Estado do Rio de Janeiro UERJ - Departamento de Engenharia de Computação - Pós Graduação em Geomática: As atividades de pesquisa conduzidas no Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação (DESC) incluem as áreas de Inteligência Computacional (Fuzzy Logic, Redes Neurais, Lógica Nebulosa e Algoritmos Genéticos), Sistemas Distribuídos, Processamento Digital de Imagens, Engenharia de Software e Banco de Dados. Além disto, o programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação - Geomática do DESC possui uma vasta experiência em pesquisa e desenvolvimentos de técnicas avançadas na área de Geoinformática formando vários profissionais todos os anos. Apesar de sua

curta existência (iniciou-se em 2000), sem dúvida estas parcerias e colaborações internacionais têm ajudado a elevar a excelência do programa, através do intercâmbio de alunos (UERJ-INRIA-UERJ), co-orientação de dissertações, workshops internacionais, sendo uma excelente oportunidade para alunos e pesquisadores. O grupo do *Laboratório de Análise e Apoio a Decisão Espacial* (GeoAnálise) possui uma grande experiência no desenvolvimento nas áreas de Processamento Digital de Imagens (PDI) e Sensoriamento Remoto (SR) aplicadas à área ambiental (degradação das terras, monitoramento de impactos ambientais). Tem trabalhado ativamente com a Embrapa Solos, UFRJ/NCE e o INRIA nos diversos projetos mencionados nesta proposta. Três alunos da pós-graduação em Geomatica vinculados a este laboratório desenvolveram suas dissertações com este grupo de trabalho e estiveram no INRIA (2 alunos por 6 meses e um por 20 dias). Este grupo atuará neste projeto na pesquisa das técnicas mencionadas, na implementação de rotinas computacionais, na modelagem espacial, no desenvolvendo de dissertações no âmbito do projeto, além da coordenação do projeto e da organização de cursos e *workshops*. A idéia central é trabalhar juntamente com os alunos de graduação do curso de Engenharia de Sistemas do DESC e de pós graduação da Geomatica, sob supervisão do grupo proponente.

Universidade Federal do Rio de Janeiro – Núcleo de Computação Eletrônica-UFRJ/NCE: O NCE possui uma renomada experiência na área de computação, pesquisa e desenvolvimento de algoritmos. O Laboratório de Cartografia Automatizada e Geoinformação (CARTOGEO/NCE) atuará na pesquisa de técnicas computacionais de PDI e SR avançadas, desenvolvimento de algoritmos, desenvolvimento e implantação do protótipo do sistema que agregue as técnicas e algoritmos desenvolvidos, desenvolvimento de dissertações no âmbito do projeto, organização de cursos e *workshops*. Da mesma forma, a idéia central é trabalhar juntamente com alunos de graduação da Informática da UFRJ e de pós graduação do NCE/UFRJ, sob supervisão do grupo proponente.

Embrapa Solos: A Embrapa Solos possui grande experiência e competência em diagnóstico, caracterização, monitoramento ambiental e projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico em recuperação de áreas degradadas, indicadores de qualidade do solo e modelagem espacial, além de núcleo temático dedicado a pesquisa na área de Geomática (Sensoriamento Remoto e Modelos Espaços-Temporais). Nos últimos anos tem realizado trabalhos de zoneamento ecológico-econômico, zoneamentos agroecológicos e estudos de vulnerabilidade e fragilidade das terras em várias regiões do país, possuindo uma forte atuação no Mato Grosso do Sul em parceria com a Embrapa Pantanal, e as unidades da Embrapa de Campo Grande e Dourados. A unidade tem demonstrado competência para coordenar projetos e gerir recursos financeiros captados junto a diversas agências e fundos de fomento, como FINEP, PRODETAB, GEF/Banco Mundial, EU, e GTZ/PPG7/MMA/IPAAM entre outras. A Embrapa Solos atuará na coleta de dados de campo; sistematização de dados secundários; articulação com organizações locais; organização de ações de transferência de tecnologia, treinamento e cursos locais; modelagem espacial, sistematização do conhecimento agrônomo, sobre Plantio Direto e sobre degradação das terras, desenvolvimento de rotinas computacionais e técnicas de Processamento Digital de Imagens.

Embrapa Informática Agropecuária já vem trabalhando com o grupo também em pesquisas na área de estudo, possuindo ações no projeto de mapeamento de corredores ecológicos na área do Pantanal, bem como no mapeamento de uso/cobertura do solo da Bacia do Alto Taquari, utilizados na validação dos procedimentos que vêm sendo desenvolvidos pelo grupo. Por ter como missão institucional desenvolver procedimentos computacionais aplicados à pesquisa agropecuária está sendo inserida como parceira no projeto ENVIAIR e irá atuar no desenvolvimento de algoritmos computacionais e na validação dos resultados em campo.

O Projeto contará com o apoio dos seguintes parceiros locais:¹¹

Oreades: ONG devotada a atividades de apoio a gestão ambiental, baseada em ferramentas de Geoprocessamento. O bioma foco de suas ações é o Cerrado, com forte atuação local em capacitação de técnicos de Prefeituras e agências governamentais e outras ONGs em Sensoriamento Remoto e pacotes computacionais de geoprocessamento. Organiza cursos e treinamentos em recuperação de área degradadas e atua na interface áreas naturais x áreas antropizadas. Neste projeto atuará no apoio logístico para coleta de dados de campo e organização de cursos de treinamento.

CI Brasil: As equipes da Conservação Internacional do Brasil, atuarão em duas frentes do Projeto. A equipe do bioma Cerrado atuará juntamente a Oreades no apoio ao treinamento de técnicos de Prefeituras, órgãos governamentais e outras ONGs, além de disponibilizar dados de uso da terra obtidos no campo. A equipe do bioma Pantanal é co-executora do Projeto GEF, em Bonito, MS, onde atuarão no apoio logístico às atividades de educação ambiental e capacitação de técnicos em geoprocessamento. A CI já executa na região da Bacia do rio Paraguai levantamentos de uso da terra e cobertura vegetal, além de monitoramento da biodiversidade, que serão linha de base para o desenvolvimento das ações deste projeto.

¹¹ cartas atestando este apoio foram enviadas ao CNPq

COINTA: O Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento Sustentável da Bacia do rio Taquari (COINTA) reúne representações dos 11 Municípios que compõe a Bacia. Tem por finalidade apoiar o desenvolvimento de políticas públicas visando a sustentabilidade do uso dos recursos naturais da Bacia do rio Taquari. A participação da sociedade no processo decisório é pilar fundamental da atuação do COINTA, que terá importante papel neste Projeto participando das atividades, indicando pessoas chave para serem treinadas e capacitadas, e levando a tecnologia aos usuários e tomadores de decisão mais relevantes da região. A capilaridade inerente a estrutura intermunicipal do COINTA garante visibilidade e potencial de aplicação dos resultados do Projeto pela sociedade.

SEMA/MS (Instituto de Meio Ambiente Pantanal), SEPROTUR/MS, Fundação Cândido Rondon, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – A Secretaria de Meio Ambiente (SEMA) é responsável pelo diagnóstico e pelo planejamento de ações na área de meio ambiente e a Secretaria de Estado da Produção e do Turismo (SEPROTUR) é responsável pelo setor de produção do estado, tratando de insumos e fomento para a produção agropecuária, industrial e de turismo do estado do Mato Grosso do Sul. A Fundação Cândido Rondon é a fundação que dará suporte ao projeto GEF/Bonito e apoiará este projeto nas ações locais. A Universidade Federal do Mato Grosso do Sul desenvolve pesquisas regionais e juntamente com as secretarias estaduais fornecerão apoio local e colaborarão na organização de cursos de treinamento.

Parceiro Estrangeiro: INRIA- Grupo CLIME - é um grupo em comum do INRIA e a ENPC (Ecole National des Ponts et Chaussées). Os objetivos científicos do grupo CLIME são: processamento de dados ambientais com foco em dados de satélites, modelagem computacional, desenvolvimento de softwares aplicados à área ambiental. O INRIA-Clime tem uma grande experiência no processamento de sequências de satélites para aplicações ambientais. Em particular o grupo CLIME desenvolveu um conhecimento na modelagem de subpixel com sequência de dados NOAA para classificação do uso do solo tendo cooperações com : CNES no monitoramento agrícola; IWRMS (Integrated Water Resources Management System), um projeto europeu (INCO) onde o INRIA contribuiu para a estimativa diária da evapotranspiração e classificação de larga escala a partir de dados NOAA/AVHRR e na cooperação mencionada com a Embrapa Solos, UERJ/Geomatica, UFRJ/NCE num projeto Protem-cc/INRIA 99/2 e outros, que vem se estendendo extra-oficialmente até os dias de hoje. O INRIA participará no projeto ENVIAIR provendo sua experiência no processamento de seqüências de imagens de satélite, no desenvolvimento de metodologias conjuntas, na orientação de alunos (M.Sc. e Ph.D.), na participação em eventos em comum (workshops organizados no Brasil e na França) e através de publicações juntamente com os parceiros brasileiros.

O grupo proponente estará, a princípio, envolvido com as metas propostas da seguinte forma:

- Desenvolvimento de técnicas e modelos de classificação automatizadas da degradação das terras a partir da correlação da cor do solo e dados do satélite NOAA/AVHRR e Aqua-Terra/Modis – Meta 1: UERJ/Geomatica, Embrapa Solos, parceiros locais (dados de campo, validação) e INRIA;
- Desenvolvimento de técnicas e modelos para classificação automática do uso/cobertura do solo a partir do satélite Aqua-Terra/Modis – Meta 2: UERJ/Geomatica, NCE/UFRJ, Embrapa Solos, Embrapa Informática, parceiros locais (validação) e INRIA;
- Desenvolvimento de técnicas e modelos de detecção automática do desflorestamento baseada no satélite Aqua-Terra/Modis – Meta 3: UERJ/Geomatica, NCE/UFRJ, Embrapa Solos, Embrapa Informática, parceiros locais (dados de campo, validação) e INRIA;
- Desenvolvimento de técnicas e modelos de detecção automática das áreas sobre Plantio Direto e ILP/SPD baseadas em dados de satélite desflorestamento baseada no satélite Terra/Modis – Meta 4: UERJ/Geomatica, NCE/UFRJ, Embrapa Solos, parceiros locais (dados de campo, validação) e INRIA;
- Desenvolvimento do protótipo do sistema contendo os algoritmos pesquisados – Meta 5: NCE/UFRJ, toda a equipe (teste);
- Validação da metodologia em áreas piloto – Meta 6: Embrapa Solos, Embrapa Informática, parceiros locais;
- Cursos de treinamento – Meta 7: UERJ/Geomatica, NCE/UFRJ, Embrapa Solos, parceiros locais e INRIA;
- Workshop Brasil/França – Meta 8: todos (workshop no Brasil)
- Elaboração de artigos científicos – Meta 9: todos
- Desenvolvimento de página do projeto, incluindo material de pesquisa, relatórios parciais – Meta 10: INRIA.

VERSION FRANCAISE

Les équipes de recherche soumettant cette proposition interagissent depuis 1999 au travers de plusieurs projets de recherche. Récemment, l'Embrapa Solos a ainsi coordonné un projet R&D sur le Bassin du Haut-Taquari (Système d'Aide à la Décision pour la Surveillance des Impacts Environnementaux des Activités Agricoles dans le Bassin du Haut-Taquari : Outil de Gestion Environnementale pour les Municipalités du Haut Taquari, Pantanal). Les participants ont ainsi démontré leur expérience à collaborer dans le cadre d'un réseau régional, impliquant des acteurs opérationnels et institutionnels : 3 unités de l'EMBRAPA, un institut de recherche sur les étendues rurales (IDATERRA), 3 universités (UERJ/Geomatica, PUC RIO et UFRJ/NCE) 3 municipalités, un consortium inter-municipal (COINTA), 2 ONG (Oreades et CI Brésil) et deux partenaires internationaux (INRIA, France ; Université de Hanovre, Allemagne). De plus, l'Embrapa Solos a établi un projet, financé par le GEF (Global Environment Fund) pour la gestion intégrée du bassin du Rio Formoso, dans la région de Bonito, au Mato Grosso du Sud. Ce projet débute cette année. Il implique 3 unités de l'Embrapa, 2 instituts nationaux (IDATERRA et SEMA), une ONG (CI Brésil), et la municipalité de Bonito. Ce projet servira de support à la proposition ENVIAIR pour la fourniture de données terrain, pour la validation et pour le transfert technologique. L'Embrapa Solos, l'UERJ et l'INRIA ont aussi participé à la mise en place du projet «Land use change in the Rio de la Prata Basin : linking biophysical and human factors to predict trends, assess impacts and support viable strategies for the future », coordonné par l'Université de Buenos Aires, impliquant des institutions académiques et de recherche en Argentine, Uruguay, Paraguay et aux Etats-Unis. Ce projet est soumis à l'Inter-American Institute for Global Change, et prévoit le développement de modèles de simulation des changements de l'occupation des sols et de l'impact à l'échelle régionale. Les résultats obtenus par le projet ENVIAIR pourront ultérieurement être utilisés par ce projet IAI for Global Change car la région test choisie pour ENVIAIR est un des sites pilotes du projet IAI. Enfin les participants à cette proposition ont travaillé ensemble sur un projet PROTEM-CC/INRIA 99-2, appelé ECOAIR et consacré au traitement d'images pour la détection de changements et l'extraction d'information environnementale. Ce projet ECOAIR a conduit à plusieurs publications, des soutenances de stage et un transfert technologique des outils développés vers les partenaires du Mato Grosso du Sud. Ces résultats positifs conduisent naturellement les partenaires à vouloir continuer et intensifier leur collaboration au travers de différents supports internationaux

La stratégie et les objectifs opérationnels de la présente proposition ENVIAIR, en particulier l'intégration d'acteurs locaux, proviennent en partie des projets cités ci-dessus. L'acceptation de cette proposition permettra une augmentation de la participation locale dans le transfert de technologie (cours, stages) et des activités de développement (les techniciens locaux participeront à la collecte des données terrain et au développement des modèles conceptuels qui seront réalisés). De plus, les projets en cours dans le Mato Grosso du Sud serviront de support aux missions de terrain (obtention de données et informations, fourniture d'équipements, support logistique, et validation des résultats), constituant ainsi un réseau d'équipes avec des collaborations croisées.

Nous donnons ci-dessous un résumé de l'apport de chaque institution et de leurs tâches respectives :

Université d'Etat de Rio de Janeiro UERJ – Département d'ingénierie et de calcul : Ce département possède une grande expérience en recherche et développement de techniques avancées en géomatique. Le groupe GeoAnalyse (Laboratoire d'Analyse et d'Aide à la Décision Spatiale) a des compétences reconnues en traitement d'images et en télédétection, appliquées à l'environnement (dégradation des sols, surveillance des impacts environnementaux). Ce groupe a collaboré activement avec l'Embrapa Solos, l'UFJ/NCE et l'INRIA dans plusieurs projets, qui ont été mentionnés au début de cette section.

Trois étudiants en maîtrise de Géomatique de ce laboratoire ont effectué une partie de leur formation à l'INRIA (2 étudiants pour une durée de 6 mois et un étudiant pour une durée de trois semaines). Ce laboratoire sera en charge des travaux de recherche en traitement d'image et télédétection pour la surveillance des sols, de l'implémentation des méthodes numériques, de la modélisation spatiale, du suivi d'étudiants dans le cadre du projet, de l'organisation de cours et workshops.

Université Fédérale de Rio de Janeiro UFRJ/ centre de calcul électronique (NCE) : Le NCE possède une expertise reconnue en calcul et algorithmes. Le laboratoire de Cartographie Automatique et d'Information Géographique (CARTOGEO/NCE) sera en charge des recherches en techniques avancées de traitement d'images et télédétection, du développement d'algorithmes, de l'implémentation d'un prototype de démonstration du système, du suivi d'étudiants, de l'organisation de cours et workshops.

Embrapa Solos : L'Embrapa Solos possède une expérience reconnue en diagnostic, caractérisation et suivi environnementaux, et mène des projets de recherche et développement sur la restauration de zones dégradées, sur les indicateurs de la qualité des sols, et sur la modélisation spatiale. Ces dernières années, Embrapa Solos a mené à bien des travaux en cartographies économiques, écologiques, et agricoles, des études sur la vulnérabilité des sols pour des sites variés au Brésil. Le laboratoire a prouvé sa compétence en

coordination de projets et en gestion de ressources financières provenant de diverses agences, comme par exemple FINEP, PRODETAB, GEF/Banque Mondiale, Union Européenne, et GTZ/PPG7/MMA/IPAAM,...

Ce groupe sera en charge de la collecte de données terrain et données secondaires ; relations avec les organisations locales ; organisation des actions de transfert de technologie ; cours ; modélisation spatiale ; modélisation des caractéristiques agronomiques du zéro labour et de la dégradation des sols ; développement de méthodes numériques et de méthodes de traitement d'images.

Embrapa Informatica Agropecuaria collabore actuellement avec le groupe pour des études effectuées sur le même site. Les sujets de collaboration concernent la cartographie de la couverture du sol dans le bassin du haut Taquari. Leurs travaux seront utilisés par le projet ENVIAR pour la phase de validation des algorithmes développés.

Oreades est une ONG dédiée à la gestion environnementale au moyen d'outils de géomatique. Ses actions sont concentrées sur les régions de savane, et impliquent une forte collaboration des techniciens des préfectures et agences gouvernementales, ainsi que la collaboration des autres ONG actives en télédétection et en traitement de la donnée géographique. Oreades organise des cours et des formations sur la restauration des sols dégradés. Dans ce projet, Oreades fournira le support logistique aux campagnes de terrain et organisera des formations.

CI Brasil : les équipes du Conservatoire International du Brésil agiront sur deux aspects du projet. L'équipe « biome savane », participera en collaboration avec Oreades aux cours et formations à destination des techniciens municipaux, nationaux, et d'autres ONG. Elle fournira de plus les données d'occupation du sol mesurées sur le terrain. L'équipe « Pantanal » agira en tant qu'opérationnel du projet GEF/Rio Formoso dans la municipalité de Bonito. A ce titre, elle participera au support logistique du projet, aux cours et formations. CI Brasil effectue, dans le bassin du Paraguay, des études sur l'occupation des sols et sur la couverture végétale, ainsi que sur le suivi de la biodiversité. Ces activités formeront la base des développements de ce projet.

COINTA : le conseil inter-municipal pour le développement durable du bassin du Taquari, regroupe 11 des municipalités du bassin. COINTA vise à l'établissement de politiques publiques pour l'utilisation des ressources naturelles du bassin. La participation de la société civile à la prise de décision est la clé des activités de COINTA, qui aura une participation importante à ce projet : participation aux activités, désignation des acteurs clés à former, transfert effectif des technologies vers les utilisateurs et les autorités en charge de la prise de décision. La transparence de cette structure inter-municipale constitue une garantie de visibilité et d'application effective des résultats pour la société.

SEMA/MS (Instituto de Meio Ambiente Pantanal), SEPROTUR/MS, Fundação Cândido Rondon, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. SEMA est le bureau régional de l'environnement, et est responsable du diagnostic et de la planification des actions en environnement. SEPROTUR est le bureau régional de la production industrielle et agricole et des affaires touristiques. Ces deux organisations serviront de support local et collaboreront à l'organisation de la formation.

Partenaire étranger, INRIA/ projet Clime (projet INRIA-ENPC) : Les objectifs scientifiques de Clime sont : - traitement de la donnée environnementale, et en particulier satellitaire, - assimilation de données et modélisation inverse, - chaînes logicielles pour les applications environnementales. L'équipe Clime possède une expérience reconnue en traitement de séquences d'images satellitaires. En particulier, elle a développé une expertise en modélisation sub-pixel de séquences NOAA-AVHRR : coopération avec le CNES sur la gestion agricole ; projet européen INCO (IWRMS), où l'INRIA a contribué à l'estimation quotidienne de l'évapotranspiration et à la classification à grande échelle ; et coopération avec Embrapa Solos, UERJ, UFRJ et PUC sur le projet Protem-cc/INRIA 99/2, sur le suivi de la dégradation des sols, qui donne lieu à une coopération toujours active à ce jour.

L'INRIA participera au projet en apportant son expérience en traitement des séquences d'images satellitaires, en co-encadrant des étudiants (mastères, doctorants) avec les partenaires brésiliens, en participant à des événements communs (workshops au Brésil et en France).

Les participants seront impliqués dans les 10 tâches définies à la section 3 de la façon suivante :

- Tâche 1 : Analyse automatique de la dégradation du sol au moyen d'indices de couleur de sol obtenus sur les images des satellites NOAA/AVHRR et Aqua-Terra/MODIS : UERJ/Geomatica, Embrapa Solos, partenaires locaux (mesures terrain, validation) et INRIA.

- Tâche 2 : Développement d'outils de classification automatique de la couverture et de l'occupation du sol sur les données Aqua-Terra/MODIS : UERJ/Geomatica, Embrapa Solos, Embrapa Informatica, partenaires locaux (validation) et INRIA.
- Tâche 3 : Détection automatique de la déforestation au moyen des données Aqua-Terra/MODIS : UERJ/Geomatica, UFRJ/NCE, Embrapa Solos, Embrapa Informatica, partenaires locaux (données terrain, validation) et INRIA.
- Tâche 4 : Détection et classification automatique des zones de culture pratiquant le système zéro labour ou le système intégrant pâturages/cultures au moyen des données images des satellites Aqua-Terra/MODIS : UERJ/Geomatica, UFRJ/NCE, Embrapa Solos, partenaires locaux (données terrain, validation) et INRIA.
- Tâche 5 : Développement d'un prototype ergonomique incorporant les outils de surveillance par satellite développés dans le projet : UFRJ/NCE, plus des tests par toute l'équipe.
- Tâche 6 : Tests sur des sites pilotes des cartographies automatiques développées dans le projet : Embrapa Solos, Embrapa Informatica et partenaires locaux.
- Tâche 7 : Cours d'apprentissage des technologies développées : UERJ/Geomatica, UFRJ/NCE, Embrapa Solos, partenaires locaux et INRIA.
- Tâche 8 : Workshops Brésil/France : tous (les workshops auront lieu au Brésil).
- Tâche 9 : Publications scientifiques : tous.
- Tâche 10 : Création d'un site web : INRIA.

6. Justificativa para a cooperação internacional (Máximo de 1 página)

O projeto proposto está de acordo com os objetivos estratégicos do INRIA, uma vez que o meio ambiente é identificado como uma prioridade temática nas competências do INRIA em informática. O projeto encontra-se também coerente com os objetivos da equipe de pesquisadores do grupo CLIME no que diz respeito ao processamento de dados ambientais e de imagens de satélite. O INRIA através desta cooperação com universidades e centros de pesquisa renomados no Brasil, terá acesso a uma considerável quantidade de dados de campo, conhecimento de especialistas em degradação das terras, pedologia, agronomia, modelagem hidrológica tendo uma oportunidade única de aplicar e validar o conhecimento que vem sendo reunido pela equipe do grupo CLIME e os parceiros do ENVIAIR. O projeto permitirá o incremento do conhecimento e da competência da equipe do grupo CLIME desde que aplicações modernas serão envolvidas (detecção de desflorestamento, monitoramento de áreas sob sistema plantio direto) e, em especial, consolidando a competência da equipe do CLIME no processamento de dados do satélite Aqua-Terra/MODIS.

O lado brasileiro se beneficiará da experiência acumulada pela equipe do INRIA/CLIME no processamento dinâmico de dados de satélites. Métodos e algoritmos, já desenvolvidos ou que vêm sendo desenvolvimentos no contexto da cooperação proposta para este projeto (trabalho conjunto: INRIA, UERJ/Gemática, Embrapa Solos, NCE/UFRJ) estarão disponíveis com código aberto para o desenvolvimento do protótipo e para estudantes brasileiros que irão aplicar e adaptar as metodologias desenvolvidas no INRIA para as aplicações de monitoramento consideradas neste projeto.

A aprovação deste projeto fortalecerá uma importante iniciativa de cooperação desenvolvida pela Embrapa na Europa, que é o LABEX (Laboratório Virtual no Exterior), que já conta com escritórios em Montpellier (França) e Wageningen (Holanda), e que visa a aproximação e consolidação de parcerias entre a Embrapa e suas parceiras no Brasil e Instituições de ensino e pesquisa da Europa. No Brasil um setor fortemente beneficiado por esta parceria internacional é representado pelo Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (SNGRH), uma vez que os produtos deste projeto serão de uso direto de vários dos componentes do SNGRH, como Comitês de Bacias Hidrográficas e Agências de Bacias Hidrográficas, que têm o mandato de gerir os recursos hídricos, monitorando o uso e os impactos sobre a água. A recuperação de áreas degradadas e a recomposição de matas ciliares estão entre os principais desafios do SNGRH, e os produtos do projeto poderão ser utilizados para monitorar o desempenho de projetos com aqueles objetivos. Ademais, os resultados alcançados poderão ser utilizados e/ou adaptados em outras bacias hidrográficas de importância nacional, como a Amazônica, a do Rio São Francisco e a do Rio Paraíba do Sul.

A nível internacional, as metodologias desenvolvidas pelo projeto provavelmente encontrarão aplicação em outros países da América do Sul. Neste contexto, a cooperação complementa o projeto atualmente submetido ao Instituto Interamericano de Mudanças Globais (IAI) "Land use change in the Rio de la Plata Basin: Linking biophysical and human factors to predict trends, assess impacts, and support viable strategies for the future", que envolve Brasil, Argentina, Paraguai, Uruguai. As áreas da Bacia do Alto Taquari, Bacia do Rio Miranda (projeto Bonito), bem como outras áreas da bacia do Alto Paraguai consideradas como piloto nesta proposta, apoiadas por outros projetos locais, servirão de área de estudo com aplicação posterior, num contexto mais amplo, na bacia do Rio da Prata.

O Brasil tem se beneficiado da parceria com o INRIA não só em termos de desenvolvimento conjunto de tecnologias e algoritmos, como também na troca de experiência na área de Processamento Digital de Imagens, principalmente no que se refere ao desenvolvimento de pesquisas baseadas em satélites com alta resolução temporal. Pode-se dizer que, o INRIA repassou tecnologia ao grupo, que hoje possui maturidade científica nesta área. O INRIA beneficiou-se com aplicações em problemas reais do Brasil, além de evoluir na consolidação conjunta destas novas tecnologias.

Outra contribuição importante da parceria diz respeito à formação acadêmica dos alunos de pós-graduação em Geomática da UERJ que estiveram no INRIA, evoluindo pessoal e profissionalmente, vivendo a realidade de um centro de pesquisa internacional. Tivemos 3 alunos neste intercâmbio o que proporcionou 3 dissertações de alto nível, além de trabalhos científicos em conjunto. Um doutorando do INRIA (Fabien Lahoche) também esteve no Brasil e desenvolveu sua tese na Bacia do Alto Taquari, tendo trabalhado com os pesquisadores da Embrapa e das universidades, tivemos workshops com um pesquisador em pós-doutoramento no INRIA (D. Singh), treinamentos no Brasil e seminários abertos à comunidade científica, realizados no auditório da Embrapa Solos. Sem dúvida a parceria e a experiência do grupo tem sido importantes aos estudantes e à comunidade científica do Brasil.

VERSION FRANCAISE

Cette proposition est en adéquation avec les objectifs stratégiques, tels que définis par l'INRIA, puisque l'environnement est un domaine d'expertise prioritaire de l'INRIA pour les technologies de l'information. De plus, ce futur projet correspond aux objectifs scientifiques que s'est choisis l'équipe Clime en traitement de données et d'images environnementales et en particulier satellitaires. Cette proposition permet de réunir des compétences scientifiques complémentaires, elle permettra de rassembler par des liens avec d'autres projets scientifiques un nombre conséquent de mesures sur le terrain, pour l'apprentissage et pour la validation des méthodes. Ce point est crucial pour le traitement de données satellite, et à ce jour, jamais un tel réseau d'institutions et de projets, participant à la collecte des données et à la validation, n'a été créé dans les partenariats de Clime. Cela ajoute à l'intérêt de cette proposition. Elle pourra ainsi servir de plate-forme internationale pour appliquer et valider l'expérience scientifique disponible dans l'équipe Clime. Ce projet ENVIAR a également l'intérêt de dépasser les domaines applicatifs usuels de Clime en s'intéressant à des applications novatrices, telles que la détection de la déforestation, la surveillance des zones de zéro labour. Enfin ce projet permettra à l'équipe Clime de compléter ses méthodes novatrices sur le traitement des données MODIS.

Les équipes brésiliennes bénéficieront de l'expertise de l'équipe INRIA Clime en traitement de séquences d'images satellite. Les méthodes et algorithmes, soient déjà développés et donc adaptés dans le cadre de ce projet, soit définis dans le contexte même du projet, seront intégrés dans le prototype réalisé au cours du projet et les étudiants brésiliens seront formés à leur utilisation. Les chercheurs de l'INRIA co-encadreront le travail des étudiants en master, qui seront chargés d'adapter et d'appliquer les méthodologies développées à l'INRIA, pour les applications de surveillance concernées dans le projet. L'approbation de ce projet ira renforcer une importante initiative de coopération qu'il existe déjà entre l'Embrapa et l'Union Européenne, par le biais du LABEX, le Laboratoire virtuelle de l'Embrapa, qui compte déjà avec un bureau en France, au sein de l'INRA-Montpellier et un autre au Pays-Bas, à Wageningen. La mission du LABEX est de relier et consolider le partenariat entre l'Embrapa et ses partenaires au Brésil et les Instituts de Recherche et Enseignements en Europe.

Au niveau international, les méthodologies développées dans ce contexte trouveront de façon immédiate des applications dans d'autres pays d'Amérique du Sud. A cet effet, et afin de trouver des coopérations complémentaires à ce projet, une proposition a été effectuée auprès de l'institut inter américain du changement global, intitulée «Changement d'occupation du sol dans le bassin du Rio de la Plata : lier les facteurs humains et biophysiques pour prédire les tendances, analyser les impacts, et participer à une stratégie viable pour le futur». Cette dernière proposition inclut le Brésil, l'Argentine, le Paraguay et l'Uruguay. La région du Taquari, étudiée pour cette présente proposition, servira également de site test pour l'étude du Rio de la Plata.

Le Brésil a déjà bénéficié du partenariat avec l'INRIA, pas seulement lors du développement conjoint d'algorithmes, mais aussi par le partage de compétences en traitement d'image et en télédétection. En particulier, les travaux sur le traitement de séquences d'images satellites ont permis aux laboratoires brésiliens d'initialiser de nouvelles recherches. Ce transfert de compétence de l'INRIA vers les universités brésiliennes permet aujourd'hui à celles-ci d'avoir une expertise internationalement reconnue sur le sujet. En parallèle, l'INRIA a bénéficié de la définition de nouvelles applications, qui correspondent à des problématiques environnementales réelles et d'une importance fondamentale.

Un autre apport fondamental des collaborations antérieures a été la formation conjointe d'étudiants en master à l'UERJ. Trois d'entre eux ont effectué des séjours, deux pour une durée de six mois et un pour une durée de trois semaines, à l'INRIA, afin de rendre possible ce co-encadrement international. Ils ont obtenu leur master et ont effectué des travaux scientifiques de haut niveau. Un étudiant en thèse de l'INRIA a effectué un séjour au Brésil, et a utilisé une partie des travaux développés dans ce contexte pour réaliser sa thèse d'Université. Des workshops communs ont été réalisés à l'Embrapa Solos et ont permis aux chercheurs, post-doctorants, étudiants en thèse, stagiaires d'exposer leurs travaux liés à ce contexte.

7. Infra-estrutura disponível para realização do projeto (Máximo de 1 página)

Embrapa Solos - O Laboratório de Física do Solo e Hidrologia é responsável pela caracterização físico-hídrica dos solos, e de pesquisa em manejo e conservação de solos e de adaptação e desenvolvimento de metodologias. O Laboratório de Química do Solo executa determinações de nitrogênio, carbono orgânico, ataque sulfúrico, condutividade elétrica, ferro livre, ferro oxalato, entre outras, objetivando a caracterização dos solos para fins de levantamento e classificação, e juntamente com o Laboratório de Física e Hidrologia dá suporte analítico aos pesquisadores da área de Levantamento do Solo e a alunos de mestrado e doutorado em Ciência do Solo. O Laboratório de Mineralogia realiza a identificação mineralógica da fração argila dos solos e rochas utilizando a difratometria de raios X e a análise simultânea termo-gravimétrica. O Laboratório de Ecologia do Solo conta com um ciclador térmico (Applied Biosystems) para as reações de PCR, um extrator de DNA de amostras ambientais do tipo Bio101, sistema de eletroforese horizontal com fonte de poder e duas cubas, um sistema de eletroforese vertical para análise de em géis desnaturantes (DGGE), microcentrífuga de bancada, balança de precisão, agitadores de tubo e placas aquecedoras, capela de exaustão, geladeira e freezer, sistema de captura de imagens Polaroid, autoclave e estufa. Objetivando sempre a excelência na qualidade das análises físico-químicas realizadas pelo LASP, a Embrapa Solos está inscrita no programa WEPAL (Wageningen Evaluation Programme of Analytical Laboratories), da Universidade de Wageningen, na Holanda, que faz o controle de qualidade de mais de 300 laboratórios de análise de solos e plantas ao redor do mundo. Adicionalmente, a Embrapa Solos coordena o PAQLF, Programa de Análise de Qualidade de Laboratórios de Fertilidade, com 77 laboratórios de análise de solos de todo o Brasil inscritos, cuja qualidade é aferida trimestralmente. O corpo técnico dos laboratórios conta com diversos especialistas nas diversas áreas da Ciência do Solo, todos com pós-graduação no Brasil ou no exterior. Por fim o Laboratório de Geoinformação – LGI possui infra-estrutura computacional e softwares de Geomática (ArcGIS, ERDAS, ENVI) para a execução de pesquisa e desenvolvimento na área de processamento digital de imagens e sensoriamento remoto. A **Embrapa Informática Agropecuária** possui infra-estrutura de informática e Geomatica, laboratórios, periféricos e softwares de Sensoriamento Remoto.

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação – Pos-Graduação em Engenharia de Computação – Área de Concentração: Geomática - O Laboratório de Análise e Apoio a Decisão Espacial foi criado em fevereiro de 2001, através de recursos da FAPERJ (Fundação de Amparo a Pesquisa do Rio de Janeiro) tendo como objetivo o desenvolvimento de pesquisa e desenvolvimento na área de Sensoriamento Remoto, Processamento Digital de Imagens e Modelagem Espacial visando auxiliar os tomadores de decisão em sua gestão e no planejamento de ações que utilizem informações espaciais, mormente subsidiando o planejamento ambiental e o monitoramento de impactos ambientais. Este laboratório realiza, juntamente com seus alunos, pesquisadores e parceiros da Faculdade de Engenharia da UERJ e externos, atividades de ensino e pesquisa em Geomática. Possui 15 computadores bem configurados, um servidor de banco de dados, servidor de mapas e periféricos (*plotter*, impressora laser colorida, impressora formato A2), *softwares* (SIG, Sensoriamento Remoto, Geoestatística): ArcGis, Spatial Analyst, 3D Analyst, Geoestatistical Analyst, Geomatica, Envi, winGSLIB. Parceiros: Embrapa Solos, Embrapa Gado de Corte, NCE/UFRJ – Núcleo de Computação Eletrônica, Institute de Recherche en Informatique et Automatique – INRIA/França, Universidade de Hannover/Alemanha, Universidade de Buenos Aires, Universidade Ca'Foscari de Veneza.

Universidade Federal do Rio de Janeiro – Núcleo de Computação Eletrônica - Em 1990 foi montado no NCE/UFRJ o CARTOGEO – Laboratório de Cartografia Automatizada e Geoinformação que tem desenvolvido diversas atividades de pesquisa e desenvolvimento ligadas à Geoinformática no âmbito da UFRJ e também de diversos órgãos governamentais. Possui computadores, *plotter*, impressora laser colorida, scanner A0, softwares de GIS e Sensoriamento Remoto (ArcGIS, Envi, MATLAB)

Oreades, CI, Cointa, SEMA, SEPROTUR possuem automóveis e caminhonetes (Toyotas, LandRovers) para trabalho de campo e acesso a infra-estrutura para realização de treinamento (auditórios e computadores das secretarias de estado). **UFMS e FCR** também possuem infra-estrutura para treinamento e apoio local.

A equipe **CLIME/INRIA** detém pleno acesso aos recursos computacionais disponíveis no INRIA, incluindo uma estação de trabalho cluster de alto desempenho. Para o processamento de dados de satélite, a equipe dispõe de programas de sensoriamento remoto (especialmente ENVI), sistemas de informação geográfica (GRASS), e bibliotecas públicas desenvolvidas internamente tais como INRIMAGE (para processamento de imagens), ou externamente, tais como GDAL (para a leitura de formatos diversos de dados de satélite) e USGS PROJ (para a manipulação e conversão de projeções de cartográficas).

VERSION FRANCAISE

Laboratoires d'Embrapa Solos

- Le **laboratoire de physique des sols et d'hydrologie** est responsable des activités en caractérisation physiques et hydrologiques des sols, et en recherche et développement sur les méthodologies de conservation des sols.
- Le **laboratoire de chimie des sols** exécute des analyses d'azote, composés carbonés organiques, acide sulfurique, conductivité électrique, fers atomique et oxydé, ..., pour la caractérisation des sols à fin de classification. En collaboration avec le Laboratoire de physique des sols et d'hydrologie, il fournit un support analytique aux chercheurs, aux étudiants en maîtrise et en doctorat dans les sciences des sols.
- Le **laboratoire de minéralogie** réalise l'identification minéralogique de la fraction argileuse des sols par rayons X et analyse simultanée thermo-gravimétrique.
- Le **laboratoire d'écologie des sols** possède un cyclotron thermique pour les réactions de PCR, un extracteur d'ADN pour les échantillons environnementaux de type Bio101, un système d'électrophorèse horizontal et un autre vertical pour l'analyse des gels (DGGE), une micro-centrifugeuse, une balance de précision, des agitateurs de tubes et systèmes de chauffage, une hotte aspirante, un système de réfrigération et congélation, un système d'acquisition Polaroid, un autoclave et une serre. Les analyses effectuées par le laboratoire visent à l'excellence: Embrapa Solos est impliqué dans le projet WEPAL (Wageningen Evaluation Programme of Analytical Laboratories, Université de Wageningen, NL) qui contrôle la qualité de plus de 300 laboratoires d'analyse des sols et plantes à travers le monde. De plus, Embrapa Solos coordonne le programme PAQLF (Programme of Analysis of Quality of Laboratories in Fertility) incluant 77 laboratoires brésiliens d'analyse des sols, dont la qualité est vérifiée sur une base trimestrielle. Les techniciens du laboratoire comprennent des spécialistes dans différents domaines des sciences des sols, tous diplômés du troisième cycle au Brésil ou à l'étranger.
- Le **laboratoire de Géo-Informatique (LGI)** possède une infrastructure d'ordinateurs et de logiciels spécifiques (arcGIS, ERDAS, ENVI) permettant de réaliser des recherche en traitement numérique des images et en télédétection.

Embrapa Informatica Agropecuaria possède une infrastructure d'ordinateurs et de logiciels spécifiques au traitement des données de télédétection.

Université d'Etat de Rio de Janeiro/ Département d'ingénierie et de calcul / Troisième cycle en géomatique.

- Le **Laboratoire d'analyse et d'aide à la décision spatiale** a été créé en février 2001, sur les ressources du FAPERJ (fondation pour l'aide à la recherche de Rio de Janeiro), et a pour objectifs la recherche et développement en traitement d'images, télédétection, modélisation spatiale, pour l'aide à la décision et à la gestion environnementale, et pour l'étude des impacts environnementaux. Les étudiants, chercheurs et partenaires de ce laboratoire assurent des activités de recherche et d'enseignement en géomatique. Le laboratoire possède 15 stations de travail puissantes, un serveur de base de données, un serveur de cartes géographiques et périphériques (*plotter*, impression laser couleur A2), des licences de logiciels de Systèmes d'Information Géographique, de Télédétection, de statistiques géographiques: ArcGIS, Spatial Analyst, 3D Analyst, Geostatistical Analyst, Geomatica, ENVI, winGSLIB. Ses partenaires sont: Embrapa Solos, Embrapa Gado de Corte, NCE/UFRJ, INRIA, Université de Hannover, Université Ca'Foscari (Venise).

Université fédérale de Rio de Janeiro/ Centre de calcul électronique/ CARTOGEO.

Le laboratoire fut créé en 1990, et développe des activités en géomatique en liaison avec l'UFRJ et plusieurs agences gouvernementales. Il possède des stations de travail, un plotter, impression laser couleur, logiciels de SIG et de télédétection (ArcGIS, ENVI, MATLAB).

INRIA/ Equipe Clime.

L'équipe CLIME est un projet commun INRIA/ENPC, localisé sur deux sites en région parisienne. C'est une équipe de recherche spécialisée en traitement de la donnée environnementale (en particulier données satellitaires), assimilation de données et modélisation inverse, chaînes logicielles pour les applications environnementales. L'équipe a un accès plein et entier aux ressources de calcul de l'INRIA, qui incluent un *cluster* de station de travail à haute performance. Pour l'analyse de données satellitaires, l'INRIA utilise des logiciels de télédétection, en particulier ENVI, des systèmes d'information géographique (GRASS), des librairies publiques ou développées en interne telles que Inrimage pour le traitement d'images, GDAL pour les formats de données satellitaires, USGS PROJ pour la gestion des projections cartographiques.

8. Informações complementares (Máximo de 1 página)

Assinalar outros aspectos que sejam considerados relevantes para a avaliação do projeto que não estejam especificados nos itens anteriores.

Éléments additionnels utiles pour l'évaluation du projet.

O projeto apresentado aqui aborda questões científicas da maior importância, seguindo linhas de pesquisas relativas à utilização de dados de satélite (de acordo com os objetivos do programa GMES da Comunidade Européia), ao desenvolvimento de aplicativos acessíveis e de baixo custo, e também a importantes problemas de ordem ambiental. Os processos de desflorestamento, erosão, degradação do solo, e agricultura sustentável são todos reconhecidos, de fato, como sendo de caráter fundamental em todos os tratados de ordem internacional, sendo particularmente críticos no ambiente tropical, face aos desafios impostos pela mudança climática global.

Adicionalmente, deve-se enfatizar também que a parceria entre os grupos de pesquisa brasileiros e franceses tem existido já há diversos anos. De fato, esta colaboração tem sido avaliada como bastante positiva ao longo deste tempo. Por um lado, foram desenvolvidas 2 teses francesas relativas ao assunto, além da realização de 2 estágios franceses de DEA dentro do contexto desta parceria. Por sua vez, pelo lado brasileiro, 3 mestrados já foram também desenvolvidos a partir da colaboração entre estes grupos. Outro fruto desta colaboração diz respeito à publicação de diversos trabalhos científicos conjuntos, citados nas referências deste documento, além da realização de diversos workshops ocorridos nas dependências da Embrapa Solos. Desta forma, os grupos proponentes pretendem reforçar e estender o bom nível de entendimento e produtividade resultante desta parceria, buscando consolidá-la através da abordagem de novos problemas científicos e novas aplicações ambientais, bem como do aprofundamento daquelas já estudadas pelos grupos. Portanto, este projeto pode ser enquadrado como uma das iniciativas atuais para a viabilização destes objetivos de pesquisa, sendo o reconhecimento do CNPq e do INRIA percebido como um passo importante para a consolidação desta parceria internacional.

Sob outra perspectiva, também é relevante mencionar que os grupos de pesquisa brasileiro e francês possuem ainda outros objetivos em comum. Um exemplo deste fato corresponde ao projeto da Bacia do Rio da Prata, citado diversas vezes neste documento, e devido ao qual foi criado um consórcio de instituições sul-americanas interessadas em abordar estes assuntos. De fato, este consórcio pretende, no futuro próximo, definir objetivos científicos comuns em conjunto com uma parcela do grupo ERCIM, uma rede européia de instituições de pesquisa que inclui o INRIA, FORTH (Grécia), CCLRC (Reino Unido) e Fraunhofer (Alemanha), entre outros. Assim, pretende-se que, como consequência, seja possível submeter uma proposta ao nível europeu, como por exemplo através de uma das próximas chamadas INCO.

Outro aspecto importante deste projeto corresponde à parceria com o pesquisador D. Singh, que realizou um pós-doutorado no INRIA e atualmente se encontra no Departamento de Eletrônica e Engenharia de Computação da Indian Institute of Technology, Índia. D. Singh trabalhou ativamente com os grupos de pesquisa proponentes deste projeto com relação à questão da modelização da cor do solo a partir de imagens de satélite. Assim, muito embora ele não possa ser diretamente incluído nesta proposta, deve-se mencionar aqui que o INRIA já submeteu, como uma forma de mantê-lo integrado ao grupo, em conjunto com o BRGM (o serviço geológico francês), um projeto junto ao CEFIPRA (instituto de colaboração França-Índia) com o objetivo de pesquisar o monitoramento das condições do solo a partir de imagens de satélite, em particular através da utilização do sensor MODIS.

A aprovação deste projeto é de extrema importância para a efetividade da atuação, em nível regional, da rede de pesquisa já formada, especialmente para otimizar a execução das ações previstas no Projeto Bacia do Prata e viabilizar a articulação e maior competitividade de projetos conjuntos de pesquisa no âmbito do INCO (Europa).

Finalmente, um último argumento que deve ser levado em consideração para a avaliação desta proposta é que a sua elaboração proporcionou, de fato, o fortalecimento de uma importante rede de articulação entre diferentes institutos, universidades e atores locais, num conjunto de relacionamentos que levou muitos anos para ser estabelecido, e que requer apoio e reconhecimento de maneira a poder se manter no futuro.

VERSION FRANCAISE

La proposition présentée dans ce document contient des arguments scientifiques majeurs, sur le plan recherche fondamentale sur l'utilisation des données satellitaires (en adéquation avec les objectifs européens du programme GMES), sur le plan du développement de logiciels ergonomiques, et sur le domaine applicatif environnemental, puisque les processus de déforestation, d'érosion, de dégradation du sol, et d'agriculture en adéquation avec le développement durable sont reconnus fondamentaux par tous les traités internationaux.

La collaboration entre les proposants existe depuis de nombreuses années. Elle a toujours été positive : 2 thèses françaises ont été effectuées en relation avec ce sujet, 2 stages de DEA français ont été effectués dans le cadre de cette collaboration, de même que 3 mastères brésiliens. Plusieurs workshops ont été organisés à l'Embrapa Solos. Des publications communes ont été réalisées et sont citées dans les références de la section état de l'art. Dans ce contexte, les proposants cherchent tout naturellement à consolider et à renforcer le travail effectué par de nouvelles problématiques scientifiques et de nouvelles applications environnementales. Cette proposition est donc une des initiatives actuelles pour mener à bien les travaux de recherche envisagés. La reconnaissance des deux institutions CNPq et INRIA à cet effort international a donc valeur de symbole.

Le consortium a par ailleurs d'autres objectifs communs. On peut citer par exemple la proposition Rio de la Plata, abondamment citée dans cette proposition. Elle a permis de définir un consortium sud-américain intéressé par la même application, puisque ce bassin versant est partagé par plusieurs nations.

Le consortium sud-américain du projet Rio de la Plata et une partie des partenaires de ERCIM (INRIA, FORTH, CCLRC, Fraunhofer,...) envisagent de définir des objectifs scientifiques communs afin de soumettre une proposition européenne, par exemple sur les prochains calls INCO.

Enfin, D. Singh, qui a effectué un post-doctorat à l'INRIA, avant de prendre un poste universitaire en INDE, a travaillé avec les partenaires de cette proposition sur la modélisation de la couleur du sol au moyen de l'imagerie satellitaire. Il ne peut statutairement intervenir dans la proposition, mais l'INRIA a par ailleurs soumis, en collaboration avec le BRGM, un projet auprès du CEFIPRA pour la surveillance du sol par imagerie satellitaire, en particulier au moyen des capteurs MODIS.

Un dernier argument, qui mérite d'être pris en considération pour l'évaluation de cette proposition, est que sa préparation a conduit à la création d'un réseau important d'instituts, d'universités, d'acteurs locaux, ..., et que ce type d'action d'envergure, mettant plusieurs années à se mettre en place, nécessite d'obtenir des supports actifs, afin de perdurer dans le temps.

CV Resumido - Tableau simplifié

1. Professional data/activity			
Full name Isabelle HERLIN			e-mail Isabelle.herlin@inria.fr
Institution INRIA			Present position Director of research
Department Projet Clime			Start date (month/year) 1/09/1989
Office address BP 105			P.O. box
City Le Chesnay	State/Province	Country FRANCE	Zip code 78153
Phone number (33) 1 39 63 53 71	Extension	Fax number (33) 1 39 63 58 80	
2. Academic background			
Degree Ph. D.	Field of knowledge Mathematics		Start / End date / 01/87
	Institution University Paris 6	city PARIS	Country FRANCE
Degree Ecole Normale Supérieure	Field of knowledge Mathematics		Start / End date 09/81 – 09/85
	Institution Ecole Normale Supérieure	city PARIS	Country FRANCE
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
3. Research interests			
Field of Study			CNPq use
Image Processing			
Multi Scale Analysis			
Data Assimilation			
Remote Sensing			
Environmental Modeling			
4. Current position			
Managerial and/or administrative activity			
Research and Development	Head of the research team Clime		

Technical service/specialization	
Others	

5. Work experience

5.1. Institution	Position	Activities	Local	Start - End date
Paris 6	Assistant Professor	Teaching and Research		10/85-10/87
INRIA	Scientific expert	Research		10/87-08/89
INRIA	Research			08/89-06/96
INRIA	Head of team	Research and Management		06/96-today

6. Scientific, technological and artistic production

	Number		number
1. scientific articles in national scientific journals	5	6. papers presented in congresses, seminars, conferences, etc.	85
2. scientific articles in international scientific journals	20	7. participation in expositions, presentations, etc.	
3. articles for scientific divulgement		8. motion pictures, videos, audiovisual and media production	
4. defended thesis		9. patents	
5. advised thesis	6	10. books	1

7. Main publications :

Relevant publications related to the project

- M. Jonathan M.S. Mereilles, J.P. Berroir, I. Herlin, H.L Coutinho. "Regional scale land use / land cover classification using temporal series of MODIS data at the high Taquari basin, MS, Brasil", *In XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005*
- I. Herlin, J.P. Berroir, M. Auger, B. Guldner, D. Ducrot, P. Goaux, P. Maisongrande, G. Dedieu, « Continuous Update of Classification on a Sequence of Satellite images », *Proceedings of the Intl Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Seoul, Korea, 2005.*
- Mereilles, M.S, Costa, G.A., Singh, D., Berroir, J.P., Herlin, I., Silva, E.F. and Coutinho, H.L. "A methodology to support the analysis of environmental degradation using NOAA-AVHRR data", *In Proceedings of the Int. Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Istambul, Turkey, 2004*
- Singh, D., Herlin, I., Berroir, J.P., Silva, E.F and Mereilles, M.S. "An approach to correlate NDVI with soil colour for erosion process using NOAA-AVHRR data", *Advances in Space Research, 33(3):328-332, 2004.*
- I. Herlin, F.X. Le Dimet, E. Huot, J.P. Berroir. « Coupling models and data, which possibilities from remotely sensed images », *chapter e-environment : progresses and challenges 365-383, Instituto Politecnico Nacional, Mexico, 2004.*
- Bouzidi, S., Belhaj, S., Herlin, I. and Berroir, J.P. "An approach for land cover changes detection from low resolution satellite data", *in Proceedings of Intl Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Toulouse, France, 2003.*
- I. Herlin, "Spatial Environmental Data", *Encyclopedia of Life Support Sytems, EOLSS, Oxford, 2002.*
- V. Hochschild, I. Herlin, S. Moretti, T. Ranchin, H. Staudenrausch. "Application of remote sensing to the development of an integrated water resources management system (IWRMS)", *28th Intl Symposium on Remote Sensing of the Environment, Cape Town, South Africa, 2000.*

8. Languages

Indicate your language proficiency: P – poor G - good E - excellent

Language	speaking	reading	writing	Language	speaking	reading	writing
French	E	E	E				
English	G	G	G				
German	G	G	P				

1. Professional data/activity			
Full name Jean-Paul BERROIR			e-mail Jean-Paul.berroir@inria.fr
Institution INRIA		Present position Researcher	
Department Projet Clime			Start date (month/year) 10/1996
Office address BP 105			P.O. box
City Le Chesnay	State/Province	Country FRANCE	Zip code 78153
Phone number (33) 1 39 63 57 03	Extension	Fax number (33) 1 39 63 58 80	
2. Academic background			
Degree PhD	Field of knowledge Applied Mathematics		Start / End date 09/90 01/94
	Institution Université Paris IX	city Paris	Country FRANCE
Degree Engineer	Field of knowledge Applied mathematics, engineering		Start / End date 09/86 09/89
	Institution Ecole Centrale de Paris	city Paris	Country France
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
3. Research interests			
Field of Study			CNPq use
Satellite data processing			
Environmental modeling			
Dynamic image processing			
Data assimilation			
4. Current position			
Managerial and/or administrative activity			
Research and Development	Researcher in CLIME team		
Technical service/specialization			

1. Professional data/activity			
Full name Bruno SPORTISSE			e-mail sportiss@cerea.enpc.fr
Institution ENPC			Present position researcher
Department CEREA/CLIME			Start date (month/year) 09/1995
Office address 6-8 avenue Blaise Pascale			P.O. box
City Marne La Vallée	State/Province	Country FRANCE	Zip code 77455
Phone number (33) 1 6415 21 41	Extension	Fax number (33) 1 64 15 21 70	
2. Academic background			
Degree Ph. D.	Field of knowledge Mathematics		Start / End date 1999
	Institution Ecole Polytechnique	city PARIS	Country FRANCE
Degree Polytechnique (corps des ponts)	Field of knowledge Mathematics		Start / End date 1989 – 1992
	Institution Ecole Polytechnique	city PARIS	Country FRANCE
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
3. Research interests			
Field of Study			CNPq use
Data assimilation			
Inverse modelling			
Modelling of air quality			
Modelling of aerosols			
Remote sensing			
4. Current position			
Managerial and/or administrative activity	Head of the CEREA group (ENPC/EDF)		
Research and Development	Research, CEREA and CLIME groups		

1. Professional data/activity			
Full name Marc BOCQUET			e-mail bocquet@cerca.enpc.fr
Institution ENPC/INRIA		Present position Researcher	
Department CEREA/Clime			Start date (month/year) 01/2002
Office address 6-8 avenue Blaise Pascal			P.O. box
City Marne La Vallée	State/Province	Country FRANCE	Zip code 77455
Phone number (33) 1 64 15 21 51	Extension	Fax number (33) 1 64 15 21 70	
2. Academic background			
Degree PhD	Field of knowledge Theoretical Physics		Start / End date 1996-2000
	Institution CEA	city Paris	Country FRANCE
Degree Engineer	Field of knowledge Engineering		Start / End date 1994-1997
	Institution Ecole Nat des Ponts et Chaussées	city Paris	Country France
Degree Master	Field of knowledge Theoretical Physics		Start / End date 1995-1996
	Institution Ecole Polytechnique	city Paris	Country France
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
3. Research interests			
Field of Study			CNPq use
Data assimilation			
Inverse modelling			
Atmospheric physics			
4. Current position			
Managerial and/or administrative activity			
Research and Development	Researcher in CEREA/CLIME team		
Technical service/specialization			

1. Professional data/activity				
Full name Jean-Pierre ISSARTEL			e-mail issartel@cerea.enpc.fr	
Institution ENPC			Present position Researcher	
Department CEREA/Projet Clime			Start date (month/year) 1/09/1992	
Office address 6-8 avenue Blaise Pascal				
City Marne La Vallée		State/Province		Country FRANCE
				Zip code 77455
Phone number (33) 1 64 15 36 47		Extension		Fax number (33) 1 64 15 21 70
2. Academic background				
Degree Ph. D.	Field of knowledge Mechanics		Start / End date 1990-1994	
	Institution University Paris 6	city PARIS	Country FRANCE	
Degree Master	Field of knowledge Oceanology and meteorology		Start / End date 1988-1990	
	Institution University Paris 6	city PARIS	Country FRANCE	
Degree Engineer	Field of knowledge Engineering		Start / End date 1988-1990 /	
	Institution Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées	city PARIS	Country France	
Degree Engineer	Field of knowledge Engineering		Start / End date 1985-1988	
	Institution Ecole Polytechnique	city PARIS	Country France	
Degree	Field of knowledge		Start / End date /	
	Institution	city	Country	
3. Research interests				
Field of Study			CNPq use	
Inverse modelling				
Pollutant dispersion				
4. Current position				
Managerial and/or administrative activity				
Research and Development		Researcher, CEREA and CLIME		
Technical service/specialization Others				
5. Work experience				
5.1. Institution	Position	Activities	Local	Start - End date

CEA	Researcher	Research		1994-2002
ENPC	Researcher	Research		2002-now

6. Scientific, technological and artistic production

	number		number
1. scientific articles in national scientific journals		6. papers presented in congresses, seminars, conferences, etc.	3
2. scientific articles in international scientific journals	3	7. participation in expositions, presentations, etc.	
3. articles for scientific divulgement		8. motion pictures, videos, audiovisual and media production	
4. defended thesis		9. patents	
5. advised thesis		10. books	

7. Main publications :

Relevant publications related to the project

Issartel, J.-P, Baverel, J., Inverse transport for the verification of the Comprehensive Test Ban Treaty, *Atm. Chem. And Phys.*, 19 May 2003

Wotawa, G., DeGeer, L.-E., Denier, P., Kalinowski, M., Toivonen, H., D'Amours, R., Desiato, F., Issartel, J.-P., Langer, M., Seibert, P., Frank, A., Sloan, C., Yamazawa, H., Atmospheric transport modelling in support of CTBT verification, overview and basic concepts, to be published in *Atmospheric Environment*, 2003.

Issartel, J.-P, Emergence of a linear source from air concentration measurements concentration measurements, submitted for *Atm. Chem. And Phys. Discussions* on 7 may 2004.

8. Languages

Indicate your language proficiency: P – poor G - good E - excellent

Language	speaking	reading	writing	Language	speaking	reading	writing
French (native)	E	E	E				
English	E	E	E				
Italian	E	E	E				
Russian	G	G	G				
Chinese	P	P	P				

1. Professional data/activity			
Full name Hussein YAHIA			e-mail Hussein.Yahia@inria.fr
Institution INRIA		Present position Researcher	
Department Projet Clime			Start date (month/year) 09/1989
Office address BP 105			P.O. box
City Le Chesnay	State/Province	Country FRANCE	Zip code 78153
Phone number (33) 1 39 63 53 57	Extension	Fax number (33) 1 39 63 58 80	
2. Academic background			
Degree PhD	Field of knowledge Applied Mathematics		Start / End date 09/80 09/83
	Institution Université Paris XI	city Paris	Country FRANCE
Degree Habilitation à diriger des recherches	Field of knowledge Applied mathematics		Start / End date 2002
	Institution Université Paris XIII	city Paris	Country France
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
Degree	Field of knowledge		Start / End date /
	Institution	city	Country
3. Research interests			
Field of Study			CNPq use
Satellite data processing			
Environmental modeling			
Dynamic image processing			
Distributed Information systems			
4. Current position			
Managerial and/or administrative activity			
Research and Development	Researcher in CLIME team		

CV Resumido - Tableau simplifié

1. Professional data/activity				
Full name Etienne HUOT			e-mail Etienne.Huot@inria.fr	
Institution INRIA			Present position Researcher	
Department Projet Clime			Start date (month/year) 09/2003	
Office address BP 105			P.O. box	
City Le Chesnay	State/Province	Country FRANCE	Zip code 78153	
Phone number (33) 1 39 63 58 12	Extension	Fax number (33) 1 39 63 58 80		
2. Academic background				
Degree Ph. D.	Field of knowledge Informatics		Start / End date 1996-2000	
	Institution University of Caen	city CAEN	Country FRANCE	
Degree	Field of knowledge		Start / End date /	
	Institution	city	Country	
Degree	Field of knowledge		Start / End date /	
	Institution	city	Country	
Degree	Field of knowledge		Start / End date /	
	Institution	city	Country	
3. Research interests				
Field of Study			CNPq use	
Image Processing				
Data Assimilation				
Tracking and matching				
4. Current position				
Managerial and/or administrative activity				
Research and Development	Researcher, Assistant Professor on partial secondment at INRIA			
Technical service/specialization				
Others				
5. Work experience				
5.1. Institution	Position	Activities	Local	Start - End date
INRIA	Scientific expert	Research and development		2000-2001

