

Monitoramento de Mudanças na Cobertura Vegetal da Área de Influência do Duto Urucu-Coari-Manaus Durante seu Período de Implantação Usando Dados do Satélite RADARSAT-1

Waldiza Souza Brandão¹
Carlos Henrique Beisl²
Fernando Pellon de Miranda³
Felipe Coriolano Siqueira¹

¹ Threetek Soluções em Geomática – THREETEK
Rua México, 41 / 17º andar - Centro - CEP 20031-144 – Rio de Janeiro- RJ
{waldiza, felipe}@threetek.com.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ
Centro de Tecnologia, Bloco I -114, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, CEP 21.949-900 -
Rio de Janeiro - RJ
beisl@labsar.coppe.ufrj.br

³ Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras – CENPES
Avenida Horácio Macedo, 950, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, CEP 21941-915 – Rio
de Janeiro - RJ
fmiranda@petrobras.com.br

Abstract. Deforestation mapping in the area of influence of the Urucu-Coari-Manaus pipeline was carried out through digital processing and interpretation of RADARSAT-1 data. Image acquisition followed the hydrological cycles of the Amazon region (dry season, flooding waters, wet season, and receding waters). In this area, soil erosion is mostly caused by rain drops and is enhanced by removal of foliage. Therefore, the term deforestation is herein considered in a strict civil engineering perspective, that is, removing the regenerated vegetation cover will be as harmful as cutting the primary forest. Thematic information extracted from SAR data was submitted to spatial analysis procedures using a GIS tool in order to evaluate changes affecting the vegetation cover (regardless of their origin) while construction was going on. As a result, generated products indicated the most critical areas in terms of land cover change as well as provided an updated record of deforestation dynamics in the area. It was verified that deforestation detected during pipeline construction was minimal between the Urucu production area and the municipality of Caapiranga. On the other hand, the most critical places in the municipalities of Manacapuru and Iranduba were already significantly deforested when construction began. In addition, the database built as part of this project represents a rich and powerful information source about the environment, which is essential to the sustainable operation of the pipeline. This data set can also be useful for natural resources management in the surroundings of such a petroleum infrastructure.

Palavras-chave: Synthetic Aperture Radar, deforestation, oil and gas transportation, Amazonia, Radar de Abertura Sintética, desmatamento, transporte de óleo e gás, Amazônia.

1. Introdução

A Petrobras, visando adequar a infraestrutura existente para escoamento da produção de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) a partir de sua unidade de produção em Urucu, município de Coari, até a Refinaria de Manaus (REMAN), realizou a obra de ampliação do duto existente entre Urucu e Coari e a construção do novo gasoduto de Coari a Manaus. Conforme apontado nos documentos de estudos de impactos ambientais (EPIA/RIMA) elaborados para a referida obra, este empreendimento deverá resultar em algumas alterações da paisagem. Desmatamentos relacionados diretamente ou indiretamente com esta obra e ações erosivas são alguns destes potenciais impactos, sendo estes selecionados como focos principais do projeto de “Monitoramento do Desmatamento nas Áreas de Influência do Duto Urucu-Coari-Manaus

Durante o Período de Implantação”, conduzido pela própria Petrobras no período de 2006 a 2008. Desta forma, a fim de complementar as informações hoje existentes sobre a ocorrência destes impactos e fornecer um diagnóstico atualizado da área de interesse, o presente trabalho descreve alguns dos resultados gerados no contexto do referido projeto. O objetivo da pesquisa foi fornecer subsídios para a produção e transporte ambientalmente sustentáveis de óleo e gás na Amazônia, tendo em vista o compartilhamento de uma metodologia eficaz e inovadora para o monitoramento das atividades da indústria petrolífera na região.

1.1 Localização da Área de Interesse

O duto Urucu-Coari-Manaus está localizado no Estado do Amazonas, estendendo-se desde a Província Petrolífera do Urucu até a cidade de Manaus, no trecho compreendido entre o Rio Urucu, o Lago Coari, o Rio Solimões e o Rio Negro. Sua extensão linear é de aproximadamente 670 km, passando pelos municípios de Coari, Codajás, Anori, Anamá, Caapiranga, Manacapuru, Iranduba e Manaus. A região de interesse específica deste trabalho está restrita à área (*buffer*) estabelecida pela Petrobras, que compreende uma faixa de 20 km a norte do traçado principal do duto e outra de 40 km a sul do mesmo (Figura 1).

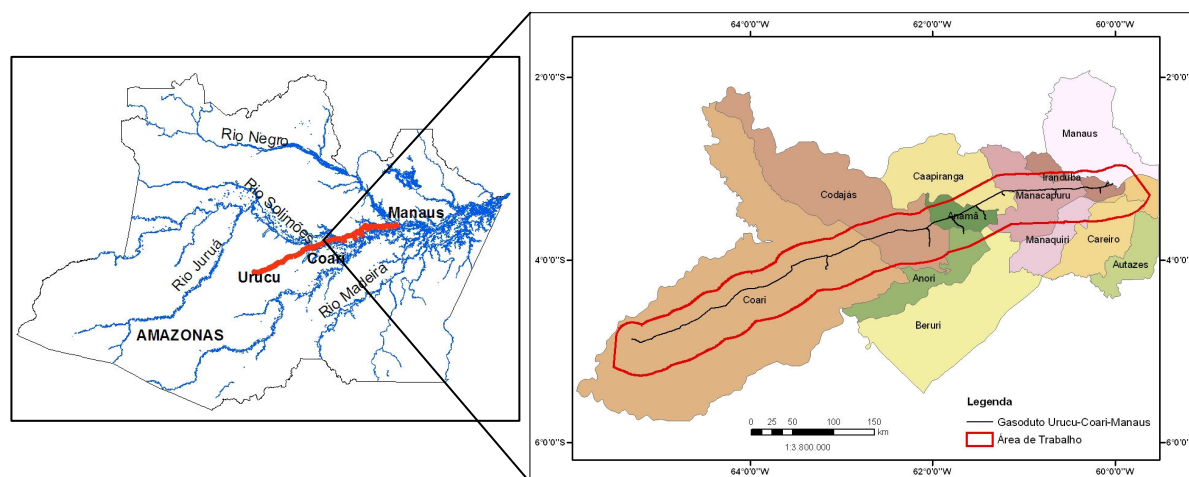


Figura 1. Localização da área de interesse de monitoramento ambiental do duto Urucu-Coari-Manaus.

2. Materiais e Métodos

Na área de estudo, a erosão do solo é causada principalmente pelo impacto das gotas de chuva, o qual é intensificado com a remoção da folhagem. Assim, o termo desmatamento é aqui estritamente entendido segundo a perspectiva da Engenharia Civil, ou seja, a remoção da vegetação secundária é tão prejudicial quanto o corte da floresta primária. Tendo em vista tal conceituação, uma metodologia específica foi definida, para atender aos requisitos do monitoramento proposto pela Petrobras, tanto no que se refere à aquisição dos dados quanto ao processamento e análise dos mesmos, considerando: a) condições ambientais para aquisição de dados de sensoriamento remoto; b) ciclo hidrológico da região; c) tempo de execução da obra; d) características radiométricas das imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*).

2.1 Aquisição dos dados

Tendo em vista as limitações dos sensores óticos para aquisição de imagens sobre a Amazônia em função da forte interferência atmosférica (nuvens, chuvas e brumas) inerente à região, foram adquiridas para o projeto imagens de radar ou SAR (*Synthetic Aperture Radar*).

Os sistemas SAR obtêm dados independente das condições atmosféricas, pois operam em comprimentos de onda suficientemente grandes (na região de micro-ondas do espectro eletromagnético) para transpor os efeitos atmosféricos. Desta forma, foram adquiridas imagens do satélite RADARSAT-1, Modo Fine (10 m de resolução espacial nominal), área de cobertura de 50 x 50 km e intervalo de ângulo de incidência variando entre 36.4° e 47.8° (F1 a F5) (RADARSAT International, 1995). Os dados foram coletados em oito ciclos de imageamento contínuos, tentativamente coincidentes com o regime hidrológico da região (Tabela 1). Foram necessárias 44 imagens (por ciclo) para recobrir toda a área de interesse. A Figura 2 apresenta o mosaico gerado para o primeiro ciclo de imageamento, considerado como representativo do estágio de preservação da cobertura vegetal anterior à construção do duto. No total, foram obtidas 352 imagens ao longo de dois anos de coleta.

Tabela 1. Ciclos de imageamento/monitoramento definidos para o projeto.

Ciclos de Imageamento/Monitoramento	Período de Aquisição	Ciclo Hidrológico de Referência
1°*	02/08/2006 a 30/10/2006	Vazante
2°	02/11/2006 a 03/02/2007	Seca
3°	06/02/2007 a 10/05/2007	Enchente
4°	13/05/2007 a 14/08/2007	Cheia
5°	17/08/2007 a 18/11/2007	Vazante
6°	21/11/2007 a 22/02/2008	Seca
7°	25/02/2008 a 28/05/2008	Enchente
8°	31/05/2008 a 01/09/2008	Cheia

*Representativo do estágio de preservação da cobertura vegetal anterior à construção do duto.

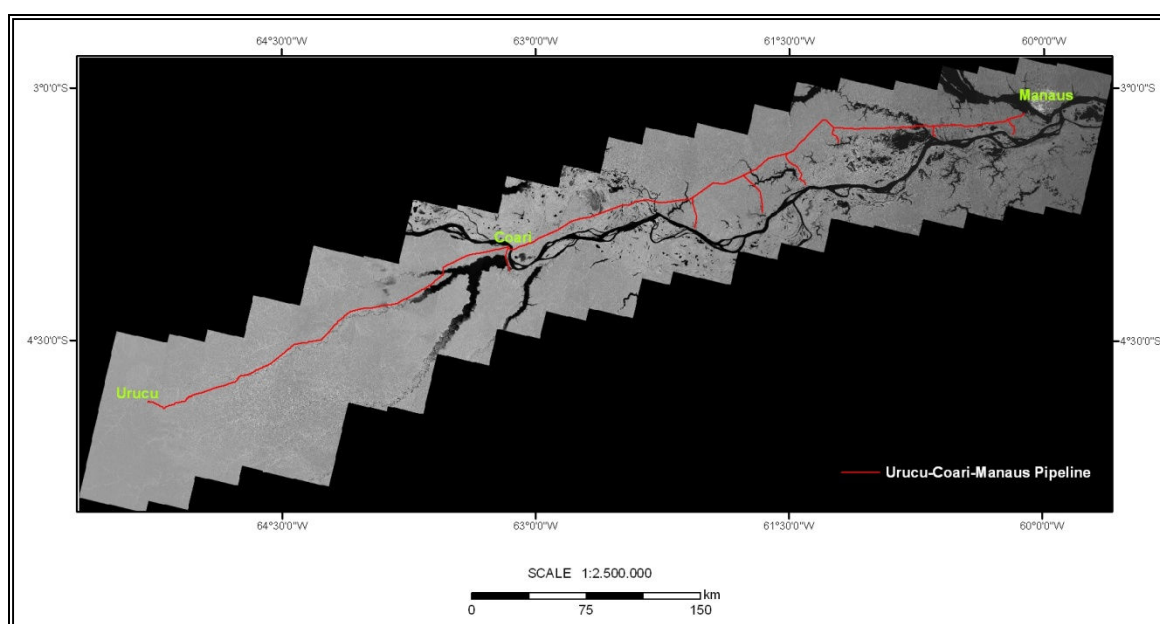


Figura 2. Mosaico RADARSAT-1 Fine gerado a partir do processamento de 44 cenas coletadas no período de 02/08/2006 a 30/10/2006, referente ao primeiro ciclo (vazante) de monitoramento, considerado como representativo do estágio de preservação da cobertura vegetal anterior à construção do duto.

2.2 Tratamento dos dados

A metodologia de tratamento dos dados consistiu no processamento e manipulação digital das imagens RADARSAT-1 para a extração de feições de interesse. Neste sentido, foi realizada uma etapa de pré-processamento, que incluiu filtragens, georreferenciamento e reamostragens espacial e radiométricas dos dados. Após esta etapa, as imagens foram classificadas através do algoritmo USTC (*Unsupervised Semivariogram Textural Classifier*) (Miranda et al., 1997). O *software* de processamento de imagens utilizado foi o PCI Geomatica 10.1 (PCI Geomatics, 2008). Com base na metodologia USTC, as classes de desmatamentos foram individualizadas considerando o tipo de espalhamento (*scattering*) predominante nas imagens RADARSAT-1 (Werle, 1988) (Tabela 2). Além disso, foram discriminadas as principais unidades de paisagem: água (reflexão especular), floresta emersa (espalhamento volumétrico) e floresta inundada (espalhamento duplo).

Tabela 2. Classes de desmatamento definidas de acordo com os diferentes mecanismos de espalhamento (*scattering mechanisms*) observados nas imagens RADARSAT-1.

Desmatamentos	Descrição
Tipo 1	Espalhamento predominantemente volumétrico (<i>volume scattering</i>) associado às superfícies desmatadas que apresentam alguma rugosidade ao radar (banda C) dada pela vegetação rasteira (gramíneo-arbustiva); áreas de campo antrópico; capoeira.
Tipo 2	Espalhamento duplo (<i>double bounce scattering</i>) associado às áreas desmatadas que contém edificações, onde a geometria dos alvos conduz a uma reflexão dupla da energia do radar.
Tipo 3	Reflexão especular (<i>specular reflection</i>) associado às superfícies lisas ao radar (banda C), ou seja, superfícies que refletem a energia emitida pelo sensor em sentido oposto à antena do radar; solo exposto compactado, pasto ativo.

2.3 Análises finais

As análises finais dos produtos gerados ao longo dos oito ciclos de mapeamento foram realizadas sob duas abordagens que consideram o relacionamento espacial entre os desmatamentos e a faixa de influência do duto: análise das áreas críticas e análise da variação da detecção de áreas desmatadas.

ANÁLISE DAS ÁREAS CRÍTICAS – este procedimento gerou um produto indicativo das áreas mais críticas do ponto de vista de ocorrência de desmatamentos em relação à proximidade do duto. Valores estimados de criticidade variam de 1 (baixa) a 8 (alta), tanto para o desmatamento como para a distância ao duto. Para tanto, foram considerados: a ocorrência cumulativa dos polígonos de desmatamento nos oito ciclos de mapeamento (quanto mais recorrente é o desmatamento, maior é o grau de criticidade); a distância destes em relação ao traçado principal do duto (quanto mais perto, maior é o grau de criticidade). Os dados foram manipulados através da técnica de Álgebra de Mapas por Operador Aritmético, onde foram aplicados pesos por grau de importância da informação contida nos dois *layers* (desmatamento e distância ao duto). No presente caso, atribuiu-se peso 2 à distância ao duto, de modo a ressaltar sua relevância no contexto do empreendimento. A Equação 1 expressa esta relação:

$$\frac{\text{DesmatCumul} + 2*(\text{DistDuto})}{2} \quad (1)$$

Nessa equação, o valor mínimo possível é 1,5, ou seja $[(1+2*1)/2]$, enquanto que o valor máximo é 12, ou seja $[(8+2*8)/2]$. Para a representação temática final, valores no intervalo compreendido entre 1,5 e 12 foram redistribuídos entre 1 e 22. Neste produto, a “criticidade” está representada em uma escala gradual de cor, onde o vermelho indica as áreas de maior grau de criticidade (22) e o verde as áreas de menor grau de criticidade (1).

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA DETECÇÃO DE ÁREAS DESMATADAS – este procedimento resultou na geração de um produto que refletisse a dinâmica da detecção da mudança da cobertura vegetal ao longo do período de monitoramento, seja por aumento de áreas desmatadas (incremento de desmatamentos já existentes ou surgimento de novos), seja por sua redução na forma de regeneração. Vale ressaltar que tais variações também podem estar associadas a mudanças nas características radiométricas das imagens SAR, tais como o aumento da constante dielétrica dos alvos causada principalmente pela chuva. Inicialmente, para facilitar a manipulação da informação, os *layers* originais de desmatamento (polígonos em representação vetorial) foram transformados em *grids* com células de 1 km². Assim, para cada nova célula, foi atribuído um valor de desmatamento (em m²) correspondendo aos ciclos da Tabela 1, totalizando oito *grids*. Em seguida, tais *grids* foram usados para determinar a variação da detecção de áreas desmatadas ao longo do período de monitoramento, de acordo com a Equação 2:

$$Var = Av2 - Av1 \quad (2)$$

onde:

Var = variação da detecção de área desmatada (em m²);

Av1 = média aritmética da área desmatada detectada nos quatro primeiros ciclos;

Av2 = média aritmética da área desmatada detectada nos quatro últimos ciclos.

Este produto permitiu obter a variação da detecção da área desmatada na região de estudo. As variações positivas referem-se ao aumento de área desmatada nos quatro últimos ciclos em relação aos quatro primeiros; as negativas correspondem a uma diminuição da área desprovida de cobertura vegetal ao final da construção. Mais uma vez, deve-se ressaltar a influência nesses resultados das mudanças nas características radiométricas dos alvos, em função da ocorrência de precipitação no período de aquisição das imagens SAR.

O *grid* obtido com esse procedimento apresentou valores, expressos em m²/célula, variando de -398.135 a 636.027. Os intervalos de classe utilizados na edição desses valores foram estabelecidos de forma interativa, resultando em 29 classes, das quais 12 representam variações negativas e 17 variações positivas.

3. Resultados e Discussões

Inicialmente, foi possível extrair das imagens as classes de unidades de paisagem (Figura 3), quais sejam água, floresta emersa e floresta inundada, que são essenciais para a análise do contexto ambiental dos produtos gerados para o desmatamento. Os resultados alcançados a seguir com a aplicação da metodologia aqui desenvolvida representam um volume de informações significativo para análise do desmatamento na área de interesse, tanto do ponto de vista de possíveis impactos causados pela obra de implantação do duto, quanto das demais atividades antrópicas observadas na região. As duas abordagens consideradas foram: análise das áreas críticas e análise da variação da detecção de áreas desmatadas. O processamento referente à primeira abordagem resultou no produto denominado de “Indicador de Áreas Críticas”, o qual permitiu identificar as áreas mais cruciais do ponto de vista de ocorrência de desmatamento. A Figura 4 dá destaque aos municípios de Iranduba e Manacapuru, que

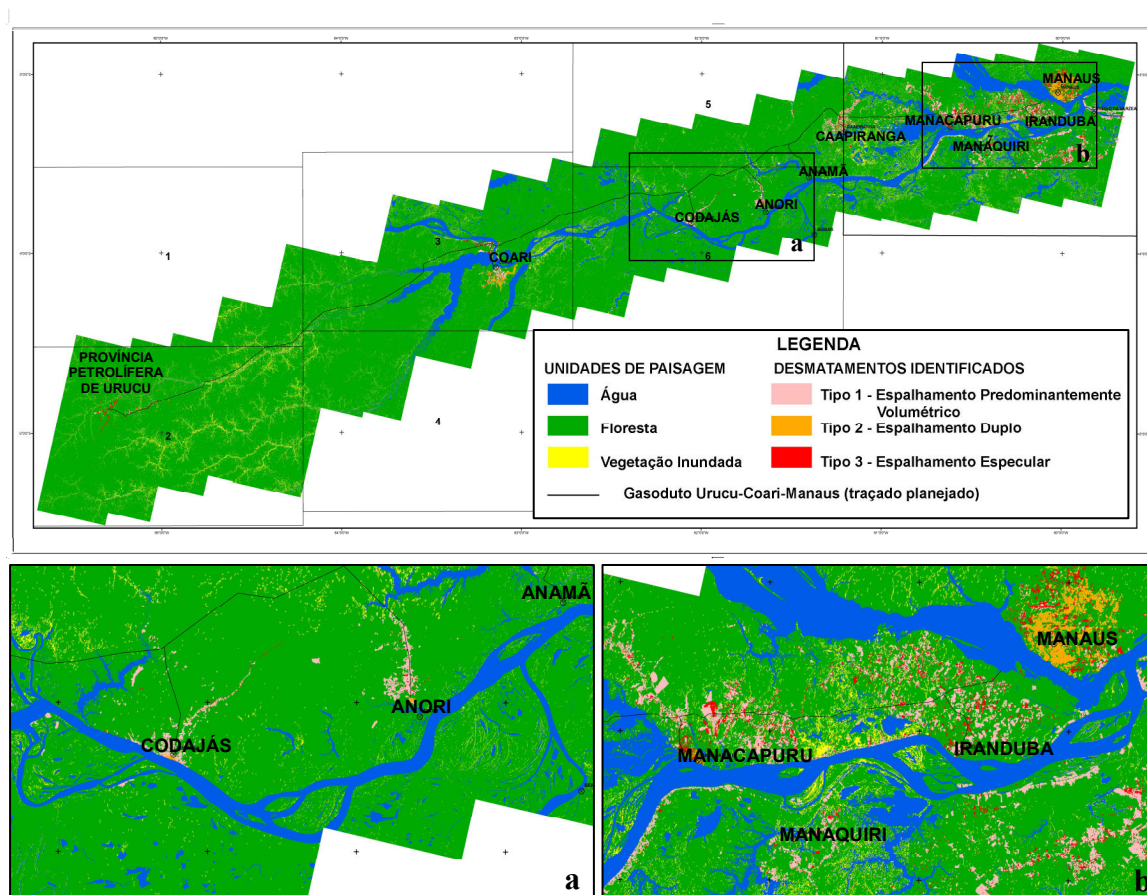


Figura 3. Mapa de Unidades de Paisagem e Desmatamentos, referente ao primeiro ciclo (vazante) de monitoramento, considerado como representativo do estágio de preservação da cobertura vegetal anterior à construção do duto. a) Exemplo de trecho com pouca alteração inicial; b) Trecho de maior alteração, registrada previamente à construção do duto.

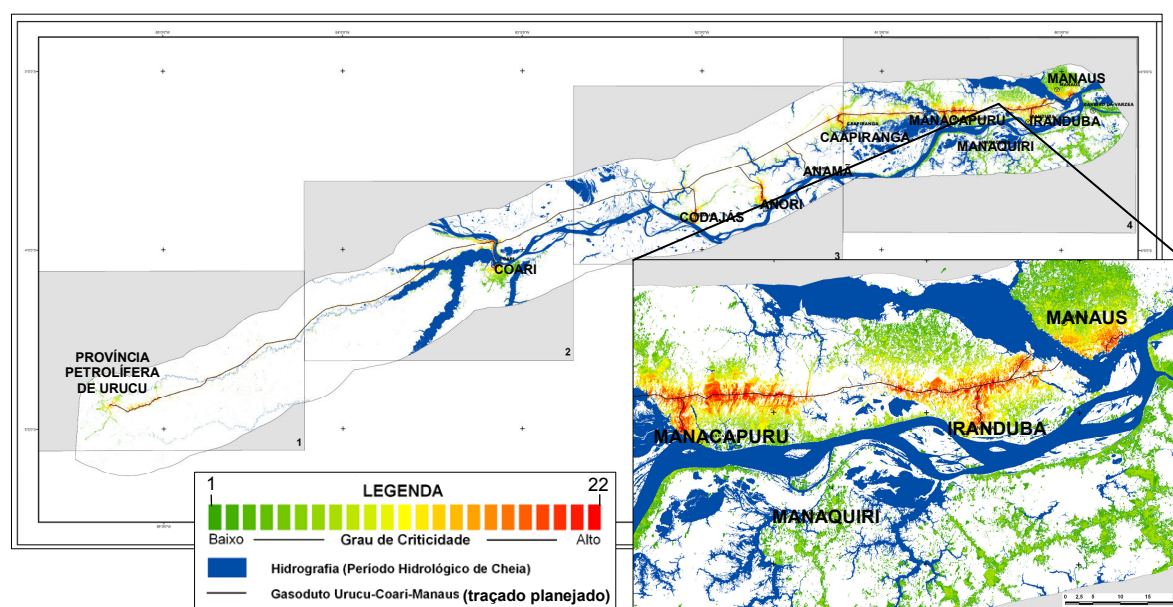


Figura 4. Mapa Indicador de Áreas Críticas de Ocorrência de Desmatamentos com Relação à Proximidade aos Dutos Urucu-Coari e Coari-Manaus. Os tons vermelhos representam maiores graus de criticidade e os verdes os menores.

apresentaram um dos maiores grau de criticidade. As áreas de maior grau de criticidade estão relacionadas às áreas de ocupação urbana e àquelas com atividades de uso da terra localizadas mais próximas da faixa de influência do duto. Deve-se registrar que tais alterações, em grande parte, já estavam presentes antes do início da construção do duto (Figura 3). Além disso, pela observação da Figura 4, constatou-se que não foram detectados indícios significativos de desmatamento, ao longo do traçado do duto, entre a unidade de produção em Urucu e a sede municipal de Caapiranga.

No que se refere à segunda abordagem, o produto obtido, “Mapa de Variação da Detecção de Áreas Desmatadas”, possibilitou identificar os locais que apresentaram variações positivas ou negativas na cobertura vegetal. A Figura 5 apresenta este produto destacando a área do trecho Codajás-Anamá, onde se observam variações positivas, ou seja, aumento da área desmatada ou perda de cobertura vegetal, relacionadas com a obra e com as vias de acesso presentes na área. As alterações relacionadas com o empreendimento foram restritas à abertura da faixa de duto, de ramais de distribuição e de clareiras na obra. Quanto às variações negativas, acredita-se que estas estejam mais propriamente relacionadas com mudanças nas características radiométricas das imagens de um ciclo para outro, em razão de ocorrência de chuvas antes da aquisição das imagens SAR.

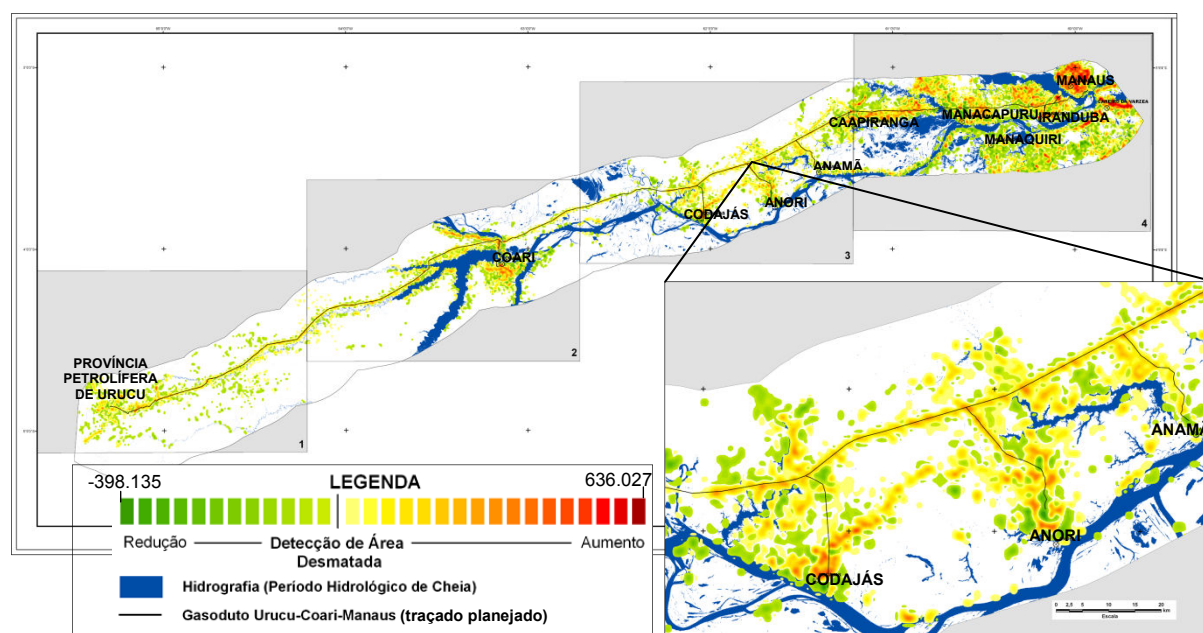


Figura 5. Mapa de Variação da Detecção de Áreas Desmatadas com base no mapeamento realizado nos oito ciclos de monitoramento. Os tons do amarelo ao vermelho indicam aumento da área desmatada e os verdes a diminuição.

4. Conclusões

O recobrimento da área de interesse em vários ciclos de imageamento conferiu maior confiabilidade às classificações das imagens SAR, bem como possibilitou a realização de análises temporais de mudanças na cobertura vegetal durante o período de monitoramento. As imagens RADARSAT-1 Fine foram fundamentais neste contexto, uma vez que sua utilização permitiu a cobertura contínua e de forma operacional da área de interesse, sem a interferência de nuvens. Verificou-se que, durante a construção do duto Urucu-Coari-Manaus, o desmatamento detectado foi mínimo entre a área de produção de Urucu e a sede municipal de Caapiranga. Por sua vez, os locais de maior criticidade, nos municípios de Manacapuru e Iranduba, já se encontravam significativamente desmatados no início da obra. Finalmente,

acredita-se que a metodologia aqui apresentada é eficiente para o monitoramento e controle de impactos ambientais relacionados com a implantação da infraestrutura para o transporte de petróleo na Amazônia. Além disso, o material assim obtido representa uma rica e robusta fonte de informações sobre o meio ambiente, que é essencial tanto para a operação sustentável do duto como para a gestão de recursos naturais em suas vizinhanças.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobras pela permissão para a publicação do presente trabalho.

Referências Bibliográficas

Miranda, F.P., L.E.N. Fonseca, C.H. Beisl, A. Rosenqvist, M.D.M.A.M. Figueiredo, 1997, Seasonal mapping of flooding extent in the vicinity of the Balbina Dam (Central Amazonia) using RADARSAT-1 and JERS-1 SAR data: Proceedings of the International Symposium Geomatics in the Era of RADARSAT (GER'97), Ottawa, Canada, May 1997.

PCI Geomatics Enterprises Inc. Geomatica Version 10.1 Realease 2008.

RADARSAT International. RADARSAT-1 Illuminated: your guide to products and services. Richmond, British Columbia, CA. 1995. 73p.

Werle, D. 1988. Radar Remote Sensing: A Training Manual. Dendron Resources Survey- Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Canadá.