

Utilização de imagens orbitais de alta resolução no monitoramento de faixa de dutos

Mara Lúcia Marques¹
Mateus Vidotti Ferreira¹
Paulina Setti Riedel¹
Cristina Maria Bentz²

¹ Universidade Estadual Paulista – UNESP/Rio Claro
Caixa Postal 176 - 13506-900 – Rio Claro - SP, Brasil
maralucia.marques@hotmail.com; mateusvidotti@yahoo.com.br; psriedel@rc.unesp.br

² Centro de Pesquisa da Petrobras - CENPES
Ilha do Fundão - 21941-598 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
cris@petrobras.com.br

Abstract. This study aimed to develop a methodology to the weekly or monthly monitoring of a pipeline using change detection techniques applied to a land cover mapping with high spatial resolution images. Three areas of the Rio de Janeiro-Belo Horizonte pipeline route were selected in the city of Duque de Caxias, showing different geographic environment, the first one is located at KM19.5 of the pipeline, the second one is related to a beltway in building phase and the last one is located at an urban area along Washington Luiz Route (BR 040). The change detection process was developed using two GeoEye images for November/2009 and March/2010. An initial land cover mapping for each area was obtained from visual interpretation of November/2009 image. The multiresolution segmentation algorithm creates the object delimitation from the two images and a multitemporal algebraic procedure of the red bands from the two images gives the changed areas. After that, the membership value fuzzy classified the land cover changes inside the analyzed areas and the changes were compared through crosstabs tools from the land cover classification. The results showed that the procedures enabled the change detection in the considered period of time, and can contribute to the monitoring of pipelines. However, some changes are related to seasonal features, not concerned to the monitoring and to implement this method it is necessary to consider the influence of the collected parameters, the need of image normalization, the costs related to image processing and performing experiments along a greater extension of a pipeline.

Palavras-chave: GeoEye, eCognition, change detection, image classification, detecção de mudança, classificação de imagem

1. Introdução

A partir de sua instalação, uma faixa de duto passa a sofrer influências do ambiente e também a causar impactos sobre o mesmo. Grande parte destes impactos no estado de São Paulo, Europa e Estados Unidos é referente aos acidentes envolvendo vazamento em dutos devido a falhas operacionais, atividades de terceiros e ação do meio físico (CETESB, 2009). As atividades dutoviárias e a prevenção e respostas aos acidentes são funções do sistema de monitoramento da faixa de dutos. O monitoramento é composto pelos setores de inspeções interna e externa dos dutos.

O setor inspeção interna é responsável pelo controle de variáveis como: pressão; vazão; temperatura; densidade e volume, durante o processo de transferência de produtos. O setor de inspeção externa é composto por observações aéreas e terrestres que percorrem toda a extensão das faixas de servidão (aproximadamente 20m) e áreas adjacentes. Realizam-se inspeções geológicas-geotécnicas e verificação de irregularidades que possam causar esforços mecânicos anormais nas tubulações ou colocar em risco as instalações, tais como: erosão; movimentos de massa; desmoronamento; tráfego de veículos e/ou equipamentos pesados sobre a faixa; crescimento de vegetação; deficiência do sistema de drenagem da faixa; queimadas; ocupação da faixa por terceiros; realização de obras nas proximidades; deficiência na sua demarcação e sinalização de advertência; afloramento do duto; travessia de cursos

d'água e cruzamentos com rodovias, ferrovias, redes elétricas e as condições de tráfego das estradas de acesso (Zirnig et al., 2002).

No monitoramento de faixas de duto, a utilização do sensoriamento remoto e do sistema de informação espacial (SIG) potencializa a detecção de mudanças, pois permite uma melhor frequência de aquisição de informação sistemática e ferramentas que possibilitam a integração e análise dos dados espaciais (Roper; Dutta, 2005). O aumento recente da disponibilidade de imagens orbitais de alta resolução espacial (igual ou menor a 1m), adquiridos por sistemas como: Ikonos, QuikBird, GeoEye, OrbView, Eros entre outros, viabilizam o emprego destes produtos como principal fonte de informação para esta finalidade.

De acordo Zirnig et al. (2001), que aborda situações que podem causar risco à integridade física das faixas de duto, considerou-se para este estudo as mudanças nas áreas de vegetação, nas edificações, nas áreas de cultivos e de solo exposto como indicativos de atividades de terceiros que podem interferir nas faixas dutoviárias. Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um procedimento metodológico para o monitoramento mensal ou semanal de faixa de dutos, a partir da detecção de mudanças da cobertura da terra com utilização de imagens orbitais de alta resolução.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Seleção da área de estudo

Tendo como referência o traçado da faixa de duto Rio de Janeiro-Belo Horizonte que cruza o município de Duque de Caxias, foram selecionados três trechos, com extensão de 200 a 300m, ao longo da faixa. A partir dos trechos foram delimitadas áreas de 100m para cada lado da faixa. Estes trechos foram selecionados por apresentarem diferentes contextos geográficos: (a) Trecho 1 – área localizada no KM19,5 da faixa do duto ORBEL II, onde ocorreu escorregamento de massa sobre a faixa; (b) Trecho 2 – área que apresenta obras de construção do anel viário Arco Metropolitano; (c) Trecho 3 – área urbana, ao longo de trecho da Rodovia Washington Luiz – BR 040 (Figura 1).

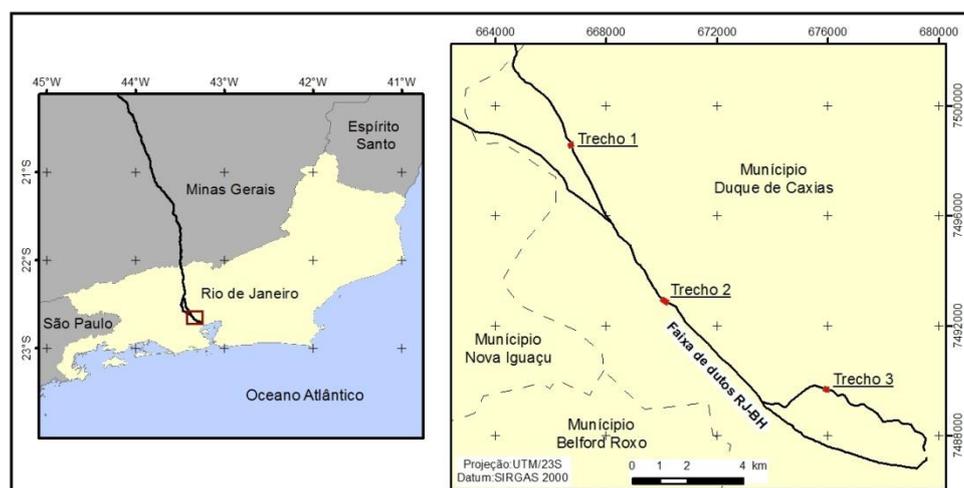


Figura 1. Localização área de estudo.

2.2 Materiais

Foram utilizadas imagens GeoEye, com características descritas na Tabela 1, adquiridas com fusão das bandas multiespectrais (2m) com a banda pancromática (0,5m), assumindo para todas as bandas a resolução espacial de 0,5m. Foi realizado o processo de ortorretificação utilizando Coeficiente Polinomial Racional (RPCs), Modelo Digital de Elevação elaborado partir das Cartas Topográficas da FUNDREN, de 1975, na escala 1:10.000.

Tabela 1. Propriedades das cenas das imagens Geoeye.

Data	Ângulo de elevação do imageamento	Azimute do imageamento	Ângulo de elevação solar	Azimute solar	Horário (GMT)
07/11/2009	61,47	293,30	71,03	74,22	13:21
10/03/2010	62,53	165,11	55,08	62,28	13:01

Devido à disponibilidade de imagens foi analisado um período de quatro meses, como pesquisa inicial para o desenvolvimento de um procedimento de monitoramento mensal das faixas de duto.

2.3 Definição das classes de cobertura da terra e interpretação visual

A definição de classes de cobertura da terra ocorreu em função da identificação das atividades que possam causar risco à integridade da faixa de duto e estão definidas na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição das classes de cobertura da terra

Classes de Cobertura da terra	Descrição
Sombra	Sombra de elementos naturais e construídos
Asfalto	Rodovias e arruamentos pavimentados com cobertura asfáltica
Solo exposto claro	Áreas sem construções e sem cobertura de vegetação com tonalidade clara
Solo exposto escuro	Áreas sem construções e sem cobertura de vegetação com tonalidade escura
Vegetação Arbórea	Árvores de porte médio a alto, presentes em áreas florestadas e áreas verdes urbanas
Vegetação Rasteira	Áreas composta por gramíneas e pequenos arbustos
Cobertura/Solo	Telhado em cerâmica clara e áreas de solo exposto em tonalidade média
Cobertura Escura	Telhado em concreto e cerâmica escuros e áreas pavimentadas em concreto escuro
Cobertura Branca	Concreto claro em telhado e áreas pavimentadas e telhados de alumínio

Para a análise de mudanças sobre a faixa de duto, foi elaborado o mapa de cobertura da terra inicial, a partir da interpretação visual da imagem de novembro de 2009, para cada trecho selecionado (Figura 2).

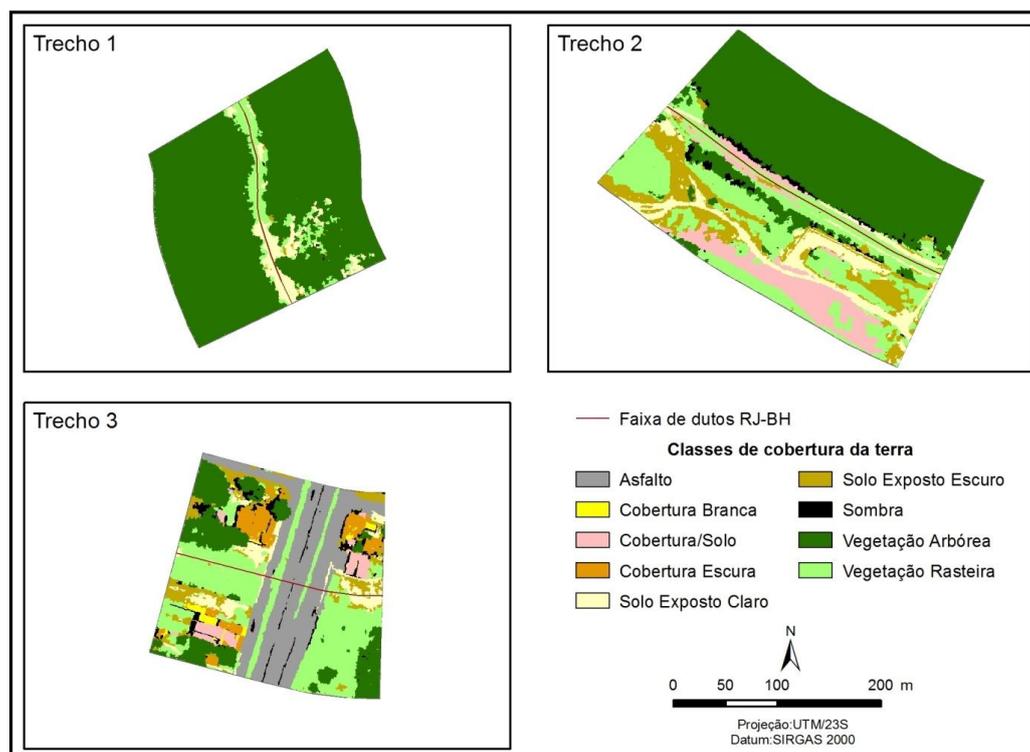


Figura 2. Mapa de cobertura da terra de cada trecho, selecionado em novembro/2009.

2.4 Detecção de mudanças

De acordo com Lu et al. (2004), para iniciar o processo de detecção de mudanças é preciso realizar correções atmosféricas, radiométricas e geométricas sobre as imagens multitemporais. Nesta pesquisa não foram realizadas correções radiométrica, devido à indisponibilidade de parâmetros de calibração do sensor e à técnica de detecção de mudança empregada, pois ainda segundo os autores, a técnica de comparação de imagens multitemporais por uma matriz de mudanças após classificação, minimiza as interferências atmosféricas. Ainda, com o intuito de minimizar as diferenças de iluminação e atmosféricas das imagens obtidas em novembro/2009 e março/2010 foi aplicado o contraste linear, descartando 1% dos valores digitais máximos e mínimos, ainda neste processo as imagens de 11 bits foram reamostradas para 8 bits.

Os processos para a detecção de mudanças foram aplicados individualmente para cada trecho de estudo no software eCognition 8.0 (DEFINIENS, 2009).

(a) Segmentação: os segmentos foram gerados pelo algoritmo de segmentação multiresolução (*Multiresolution Segmentation*) que possibilita a geração dos objetos da imagem em diferentes escalas de detalhamento. Esta segmentação utiliza a abordagem de crescimento de regiões, na qual regiões adjacentes são agrupadas de acordo com o critério de similaridade que considera a heterogeneidade interna das regiões. Na definição da similaridade é necessário fornecer os parâmetros de escala, forma, tonalidade, compacidade, suavidade, bandas espectrais e também permite o uso de plano de informação temático (*Thematic Layer*) (Baatz e Schäpe, 2000). O processo de segmentação foi realizado de acordo com os critérios descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de segmentação

Segmentação Nível I				
Parâmetros	Escala	20	Bandas Novembro	Bandas Março
	Forma	0,2	B	B
	Cor	0,8	G	G
	Compacidade	0,5	R	R
	Suavidade	0,5	NIR	NIR
Plano de informação temático			Mapa de cobertura da terra Nov/2009	
Segmentação Nível II				
Parâmetros	Escala	40	Bandas Novembro	Bandas Março
	Forma	0,2	B	B
	Cor	0,8	G	G
	Compacidade	0,5	R	R
	Suavidade	0,5	NIR	NIR
Plano de informação temático			Mapa de cobertura da terra Nov/2009	

(b) Identificação das áreas de mudança: para delimitar as áreas de mudança foi realizada uma análise da imagem resultante do processamento de álgebra multitemporal das bandas do vermelho ([Vermelho_março2010]-[Vermelho_novembro2009]), considerando três possibilidades de ocorrência: **não mudança (NM)**, áreas que permanecem sem alterações; **mudança 1 (M₁)**, que ocorrem quando os objetos possuíam resposta espectral baixa na imagem de novembro e passaram a ter alta resposta em março; **mudança 2 (M₂)**, quando os objetos possuíam resposta espectral alta na imagem de novembro e passaram a ter baixa resposta em março (Tabela 4).

Tabela 4: Descrição dos intervalos de valores da imagem diferença utilizados.

Classes	Trecho 1 KM19,5	Trecho 2 Arco Metropolitano	Trecho 3 Rodovia WL
Não mudança	NM ≤ 60	-90 ≤ NM ≤ 55	-90 ≤ NM ≤ 65
Mudança 1	M ₁ > 60	M ₁ > 55	M ₁ > 65
Mudança 2	----	M ₂ < -90	M ₂ < -90

(c) Classificação das áreas de mudança: em todos os trechos de estudo, o Nível II de segmentação foi o mais adequado para delimitação das áreas de mudanças, portanto nas áreas definidas como mudança 1 e 2 foram adquiridas amostras de treinamento de cada classe de cobertura da terra. Estas amostras são necessárias para descrição das classes e do contexto onde estão inseridas, permitindo através da análise dos histogramas de atributos gerados pelo editor de amostras (*Sample Editor*) a escolha dos atributos para a classificação. No processo de classificação, o algoritmo utilizado foi classificação (*Classification*), a partir das funções de pertinência fuzzy, que possibilitam discriminar os objetos que devem pertencer à determinada classe, com um grau de pertinência no intervalo de valor contínuo entre 0 e 1 (Shackelford e Davis, 2003). A descrição dos limiares utilizados para cada classe de cobertura da terra está apresenta na Tabela 5.

Tabela 5. Descrição dos limiares utilizados em cada trecho de estudo

Trecho 1 - KM19,5				
Atributo	Média banda B	Média banda G	Média banda R	Média banda NIR
Cobertura Branca	239,40 – 255	236,80 – 255		
Cobertura/Solo	20,80 – 253,79	29,80 – 255		
Trecho 2 - Arco Metropolitano				
Atributo	Média banda B	Média banda G	Média banda R	Média banda NIR
Cobertura/Solo	82,70 – 212,29	94,30 – 236,69	125,70 – 255	137,50 – 255
Solo Exposto Claro	143,20 – 255	182,50 – 255	190,60 – 255	127,20 – 255
Solo Exposto Escuro	7,60 – 212,39	7,40 – 186,59	32,10 – 180,89	0 – 214,69
Vegetação Rasteira	44,50 – 100,49	47,30 – 109,69	43,40 – 110,59	107,60 – 184,39
Sombra	17,40 – 68,59	8,20 – 65,79	11,70 – 93,29	0 – 99,39
Trecho 3 - Rodovia WL				
Atributo	Média banda B	Média banda G	Média banda R	Média banda NIR
Asfalto	101,50 – 205,49	49,30 – 175,69	1,80 – 168,19	0 – 102,69
Cobertura Branca	231,60 – 255	209,50 – 255	192,60 – 255	99,80 – 255
Cobertura/Solo	84,70 – 230,29	85,20 – 238,79	135,40 – 250,59	103,70 – 201,29
Cobertura Escuro	55,30 – 229,69	40,80 – 175,19	49,20 – 154,79	11,60 – 104,39
Solo Exposto Escuro	63,40 – 162,59	42,70 – 172,29	38,20 – 191,79	25,90 – 197,09
Vegetação Rasteira	54,40 – 105,59	63,10 – 99,89	54,10 – 90,89	81,20 – 234,79
Sombra	28,10 – 144,89	24,10 – 108,89	30,20 – 87,79	0 – 40,39

(d) Análise das mudanças: a partir dos resultados das classificações da cobertura da terra nas áreas de mudanças, em cada trecho de estudo, foram geradas matrizes de comparação entre as classes de cobertura da terra de novembro/2009 e março/2010. Estas matrizes permitiram a identificação e quantificação das classes de mudanças, com o intuito de monitorar atividades que interfiram na integridade da faixa de duto.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos demonstraram que as áreas de mudanças ocupam menos que 10% da área total de cada trecho analisado, de acordo com a Tabela 6. Observa-se que estes valores são referentes a uma análise temporal com intervalo de quatro meses.

Tabela 6. Porcentagem de mudanças da cobertura da terra, em cada trecho de estudo.

Classe	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
	KM19,5	Arco Metropolitano	Rodovia WL
Mudança	9,35%	6,72%	8,33%
Não Mudança	90,65%	93,28%	91,67%

A Tabela 7 apresenta as mudanças ocorridas no Trecho KM19,5, sendo que as alterações mais significativas ocorreram das classes de vegetação arbórea, vegetação rasteira e solo exposto claro para cobertura/solo, isto pode ser explicado por neste período analisado ocorreu

um escorregamento de massa sobre a faixa de dutos o que acarretou na exposição do solo e realização de obras de contenção, abertura de caminhos de acesso e desvios das tubulações e reconstrução da faixa. As alterações das classes de vegetação arbórea e rasteira para cobertura branca correspondem à construção de cortinas de concreto nas encostas (Figura 3).

Tabela 7. Mudanças da cobertura da terra do Trecho 1 – KM19,5

Novembro/2009	Março/2010	
	Cobertura Branca	Cobertura/Solo
Vegetação arbórea	6,87%	41,75%
Vegetação Rasteira	3,42%	23,34%
Solo Exposto Claro	0,00%	24,06%
Solo Exposto Escuro	0,00%	0,57%
Total de mudanças	10,29	89,71

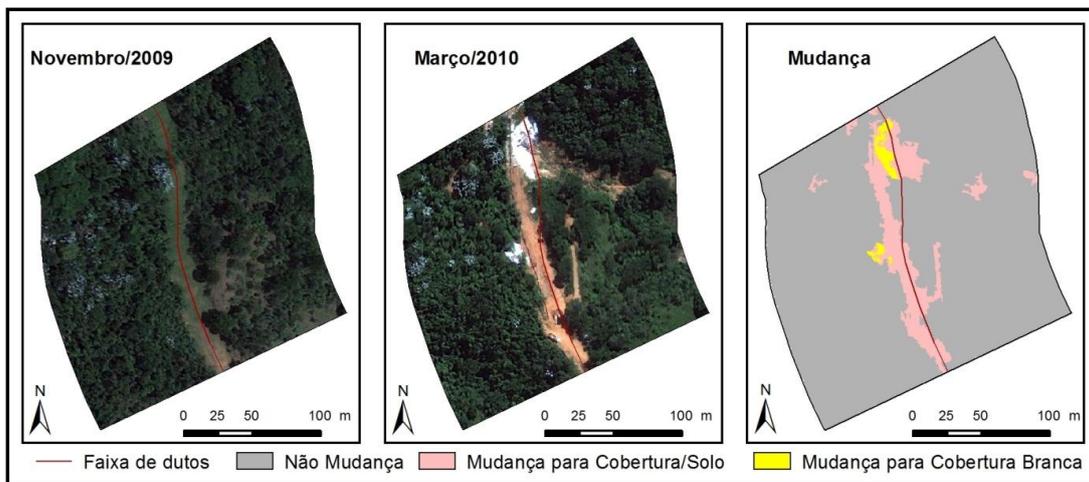


Figura 3. Classes de mudanças da cobertura da terra, Trecho 1 – KM19,5

Entre as áreas analisadas, o Trecho 2 foi o que apresentou menor taxa de mudanças (6,72%), representado na Figura 4. Verifica-se que neste período as obras de construção do arco metropolitano causaram pouca interferência, mesmo assim ocorreu a substituição de vegetação rasteira passando para uma exposição do solo evidenciado pelas classes solo exposto claro e escuro e cobertura/solo (Tabela 8).

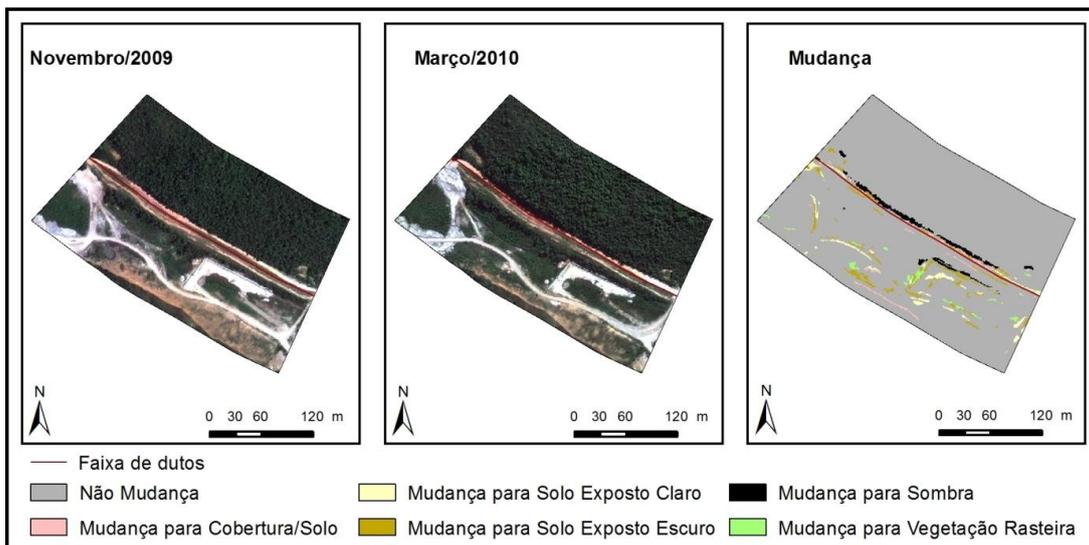


Figura 4. Classes de mudanças da cobertura da terra, Trecho 2 – Arco metropolitano

Tabela 8. Mudanças da cobertura da terra do Trecho 2 – Arco metropolitano

Novembro/2009	Março/2010				
	Cobertura/ Solo	Solo Exposto Claro	Solo Exposto Escuro	Vegetação Rasteira	Sombra
Cobertura/Solo	0,00%	4,54%	9,30%	1,75%	11,03%
Solo Exposto Claro	0,10%	0,00%	14,45%	2,89%	8,18%
Solo Exposto Escuro	0,51%	7,27%	0,00%	4,42%	4,23%
Vegetação Rasteira	9,89%	9,38%	8,61%	0,00%	0,95%
Sombra	0,00%	0,51%	0,05%	0,00%	0,00%
Vegetação Arbórea	0,00%	0,69%	1,19%	0,03%	0,05%
Total de mudança	10,50%	22,39%	33,60%	9,08%	24,43%

As mudanças ocorridas nos solo exposto claro para escuro e o ressurgimento de vegetação rasteira, nos trechos 2 e 3, são explicadas pela a imagem de março corresponder ao final do período chuvoso (Tabelas 8 e 9). Nestes mesmos trechos o aumento de mudanças para sombra justifica-se pela variação do ângulo de elevação solar de $71,03^\circ$ na imagem de novembro/2009 para $55,08^\circ$ na imagem de março/2010.

Os resultados apresentados na Figura 4 e na Tabela 9 possibilitam observar que as mudanças para cobertura branca nas áreas de asfalto ocorreram devido ao tráfego de veículos sobre a rodovia (6,46%), e nas áreas de cobertura escura e cobertura/solo são decorrentes das alterações nos materiais utilizados na construção de telhados. Entre as mudanças para solo exposto escuro verifica-se a retirada de vegetação arbórea e rasteira e a ocorrência de uma mudança não esperada, áreas de asfalto foram alteradas para solo exposto devido uma distorção geométrica no setor sul da imagem de novembro/2009.

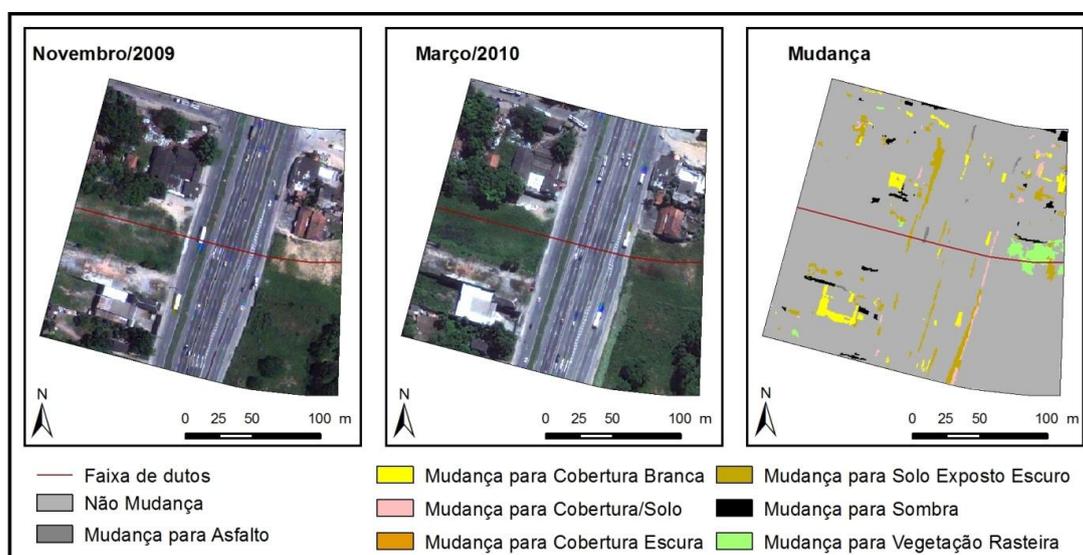


Figura 5. Classes de mudanças da cobertura da terra, Trecho 3 – Rodovia WL

A partir do desenvolvimento da pesquisa foi possível identificar fatores que limitam a maior automatização do método e obtenção de melhores resultados: (a) normalização das imagens para permitir maior comparabilidade dos números digitais sem perda de resolução radiométrica; (b) os parâmetros para a detecção de mudança variam para cada área de estudo e períodos analisados, portanto para cada intervalo de análise temporal os parâmetros necessitam ser redefinidos; (c) a sazonalidade influencia na posição e dimensão das sombras e na variação umidade do solo, fatores que produzem mudanças não relevantes para o monitoramento.

Tabela 9. Mudanças da cobertura da terra do Trecho 3 – Rodovia WL

Novembro/2009	Março/2010						
	Asfalto	Cobertura Branca	Cobertura Escura	Cobertura/Solo	Solo Exposto Escuro	Vegetação Rasteira	Sombra
Asfalto	0,00%	6,46%	0,00%	2,51%	8,45%	0,00%	0,48%
Cobertura Branca	0,09%	0,00%	0,00%	0,00%	1,65%	0,00%	2,42%
Cobertura Escura	0,56%	4,52%	0,00%	1,81%	3,09%	0,00%	0,83%
Cobertura/Solo	0,00%	6,69%	0,00%	0,00%	1,34%	0,00%	0,66%
Solo Exposto Escuro	0,00%	1,16%	0,00%	0,00%	0,00%	4,19%	3,59%
Vegetação Rasteira	0,83%	0,12%	0,00%	3,02%	4,67%	0,00%	0,36%
Sombra	1,13%	2,08%	0,29%	0,50%	3,28%	0,00%	0,00%
Vegetação Arbórea	0,00%	1,04%	0,10%	0,38%	6,49%	0,03%	0,09%
Solo Exposto Claro	0,03%	0,71%	0,00%	0,00%	7,95%	11,97%	4,42%
Total de mudança	2,64%	22,79%	0,39%	8,22%	36,92%	16,18%	12,85%

4. Conclusões

O procedimento metodológico proposto apresentou um resultado satisfatório, o que possibilita sua aplicação no monitoramento mensal ou semanal de faixa de dutos. Porém para a implementação deste método, alguns fatores devem ser ainda avaliados, tais como: a influência dos parâmetros de aquisição de imagens no monitoramento; a determinação da importância da normalização de imagem e a definição da melhor técnica a ser aplicada; o custo de processamento do método e a reprodução dos procedimentos em um trecho mais extenso da faixa de duto.

Agradecimentos

Apoio: CENPES/PETROBRAS e Fundação CAPES.

Referências Bibliográficas

- Baatz, M.; Schäpe, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*, v. 12, p. 12-23, 2000.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. Dutos no estado de São Paulo. 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/dutos/dutos.asp>>. Acesso em: 26 jan. 2010.
- Definiens - **eCognition user guide version 8.0**, Definiens Imaging GmbH, Munich, Germany, 2009.
- Hausamann, D.; Zirnig, W.; Schreier, G.; Strobl, P. Monitoring of gas pipelines - a civil UAV application. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, v.77, n.5, p.352-360, 2005.
- Lu, D. S; Mausel, P.; Brondízio, E.; Moran, E. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 25, n. 12, p. 2365-2401, 2004.
- Roper, W. Dutta, S. Remote Sensing and GIS Applications for Pipeline Security Assessment. In: ESRI User Conference Proceedings, 2005, San Diego. Disponível em: <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc05/papers/pap1762.pdf>>. Acesso em: 25 jul 2010.
- Shackelford, A. K.; Davis, C. H. A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multispectral data over urban areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.41, n.10, Oct, p.2354-2363, 2003.
- Zirnig, W.; Hausamann, D.; Schreier, G. A concept for natural gas transmission pipeline monitoring based on new high-resolution remote sensing technologies. In: International Gas Research Conference 2001, Amsterdam. Disponível em : <http://www.gerg.info/publications/confer_papers/2001/zirnig_amsterdam01.pdf>. Acesso em: 25 jul 2010.
- Zirnig, W., Hausamann, D., Schreier, G. High-resolution remote sensing used to monitor natural gas pipelines. *Earth Observation Magazine*, v. 11, p.12-17, 2002.