

O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo



Carlos Augusto de Melo Ferraz

é servidor do Tribunal de Contas da União, na Secretaria de Controle Externo do Estado de Mato Grosso



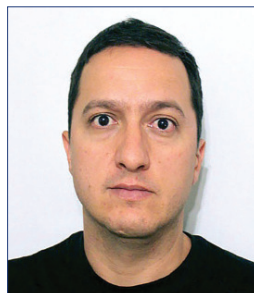
Rherman Radicchi Teixeira Vieira

é servidor do Tribunal de Contas da União, na Secretaria de Fiscalização de Infraestrutura Portuária, Hídrica e Ferroviária.



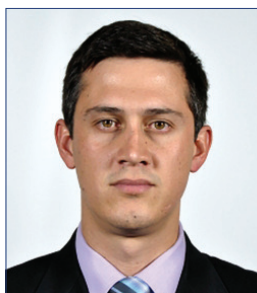
Cynthia de Freitas Q. Berberian

é servidora do Tribunal de Contas da União, na Secretaria de Fiscalização de Infraestrutura Portuária, Hídrica e Ferroviária



Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega

é professor Adjunto do Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais



Nivaldo Dias Filho

é servidor do Tribunal de Contas da União, na Secretaria de Fiscalização de Infraestrutura de Petróleo.



RESUMO

O objetivo deste trabalho é relatar como o uso de geotecnologias pode se tornar uma ferramenta inovadora para o controle externo, citando quais são as principais ferramentas de geotecnologia, elencando as vantagens de sua aplicação no âmbito do controle externo e descrevendo um projeto piloto realizado no Tribunal de Contas da União (TCU). Como ferramentas importantes para dar suporte às ações de controle externo destacam-se o uso de imagens provenientes de sensoriamento remoto (satélites, VANT e radares) com técnicas de geoprocessamento, aplicações de análise multicritério para informações geográficas e as plataformas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) suportando todas estas tecnologias. Para verificar a eficiência da análise multicritério como ferramenta de auditoria, foi realizado um teste piloto com base em um modelo de decisão por múltiplos critérios acoplado a sistemas de informação geográfica direcionados ao planejamento de transportes. O estudo foi desenvolvido para a planejada extensão norte da Ferrovia Norte Sul (FNS), interligando Açailândia/MA ao porto em Barcarena/PA. Os resultados do piloto foram muito positivos. O modelo revelou-se simples e flexível. Os resultados gráficos permitem uma fácil visualização comparativa das alternativas e dos corredores mais econômicos e eficientes. Ademais, o modelo traz transparência quanto aos dados utilizados, bem como valores e regras adotados. A adoção da análise multicritério espacial mostrou um enorme potencial de aplicação em

controle externo. O uso de ferramentas de geotecnologia possui a capacidade de aprimorar a atuação do controle externo, destacando-se o aumento da capacidade de fiscalização; ampliação da abrangência espacial e temporal do controle; redução de custos com viagens; fiscalização em tempo real de atividades críticas; aumento da “sensação” de controle. O conhecimento das geotecnologias viabiliza um controle externo mais atuante por parte do TCU, seja pelo aumento da capacidade de proposição de ferramentas para a formulação de políticas públicas, seja pelo aumento da capacidade de avaliação de políticas públicas instituídas. Nesse sentido, a realização deste piloto confirma a viabilidade técnica e o potencial de utilização das geotecnologias de análise multicritério nessas duas dimensões. Os próximos passos deste trabalho de pesquisa incluem a avaliação de outras geotecnologias e a avaliação da sua incorporação como ferramentas de controle externo.

Palavras-chave: geoprocessamento, geointeligência, sensoriamento remoto, análise multicritério, controle externo, auditoria de obras públicas, avaliação de políticas públicas.

1. INTRODUÇÃO

A implantação de uma política pública (em especial as que envolvem projetos de infraestrutura) geralmente é complexa e envolve a análise de uma grande quantidade de informações de diferentes áreas: eco-

nômica, social, jurídica, político-administrativas e ambientais (RODRIGUE; COMTOIS; SLACK, 2006; NÓBREGA et al., 2012). A tomada de decisão sem a consideração e integração adequada destes fatores leva a políticas mal formuladas que não otimizam a agregação de valor para a sociedade. Essa complexidade também se reflete na atuação dos tribunais de contas, especialmente ante a necessidade de atuarem de forma mais eficiente, tempestiva e eficaz na avaliação de políticas públicas. Isso demanda, especialmente na área de infraestrutura, a incorporação de avanços tecnológicos, entre outros, para aprimoramento das ações de controle (PEREIRA, 2009).

Um das tecnologias disponíveis e que permite um aprimoramento no desenvolvimento e avaliação de políticas públicas são as geotecnologias suportadas pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Elas possibilitam o processamento de grande quantidade de informações e permitem a integração de dados econômicos, sociais, ambientais e técnicos num contexto geográfico e temporal. Do ponto de vista prático, o assunto é novo e ainda está em desenvolvimento, portanto seu uso como ferramenta de controle ainda é muito incipiente.

Este artigo descreve ferramentas de geotecnologia passíveis de uso no suporte às fiscalizações do Tribunal de Contas da União e relata os trabalhos inovadores que vêm sendo desenvolvidos na busca de ferramentas de geoprocessamento que possam ser úteis ao controle externo. Apresenta um projeto piloto inovador realizado no TCU, com uso de análise multicritério e SIG, para avaliação de alternativas de traçado ferroviário. Por fim, o trabalho discute o potencial da aplicação da geointeligência no controle externo.

2. FERRAMENTAS DE GEOTECNOLOGIA E SEU USO NA TOMADA DE DECISÕES

Geoprocessamento é a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano. As geotecnologias são um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações georreferenciadas. Várias tecnologias são englobadas nessa concepção e aqui descrevemos as que recentemente têm tido maior aplicação: técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), que incluem o uso de imagens (de satélites e de

aeronaves tripuladas ou não), bem como aplicações de análise multicritério para informações geográficas e as plataformas SIG suportando todas estas tecnologias.

Os SIG ou GIS (*Geographic Information Systems*) são os sistemas que conectam informações geográficas a bancos de dados contendo outros tipos de informação. Os SIG permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados (DAVIS; CÂMARA, 2001). Os dados agrupados permitem a criação de mapas temáticos, em que vários tipos de informações podem ser sobrepostos e interpretados (DELGADO, 2014).

Sensoriamento Remoto é o conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objetos, áreas, fenômenos). O sensoriamento remoto não se restringe a fotos com satélites, mas inclui qualquer equipamento que possa sustentar um sensor, tais como uma câmera fotográfica, um radar ou até uma trena a laser. Assim, os sensores podem captar a luz visível ou qualquer outra frequência do espectro eletromagnético e podem estar instalados na mão de uma pessoa, num prédio, num satélite, num avião ou nos modernos VANT (veículos aéreos não tripulados). Naturalmente, a posição relativa entre o sensor e o objeto a ser observado pode variar, resultando numa infinidade de perspectivas, que possibilitariam diferentes aplicações para as imagens obtidas.

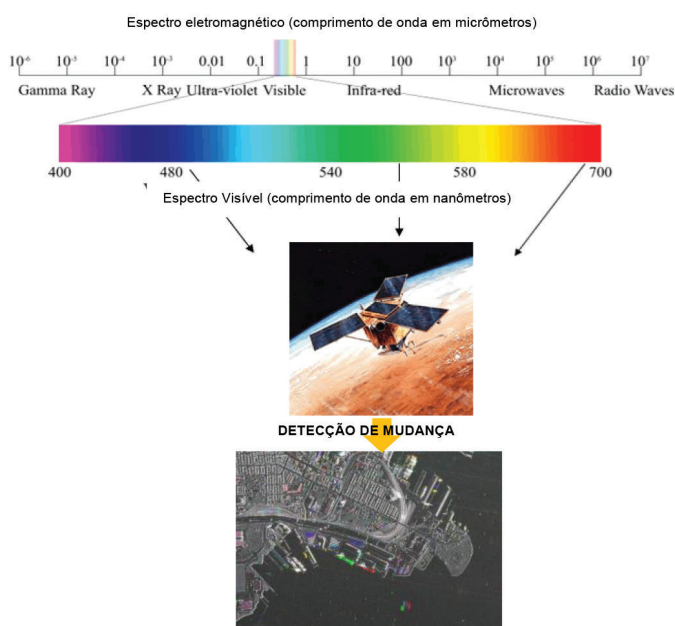
O avanço aeroespacial, a miniaturização dos sensores e a popularização de VANT têm possibilitado a obtenção de imagens de melhor qualidade e a custos cada vez menores. Esse efeito, aliado à profusão de softwares como o Google Earth, deu enorme impulso para a popularização de imagens da superfície terrestre e viabilizou a aplicação do sensoriamento remoto para uma enormidade de propósitos. Como ferramentas importantes de sensoriamento remoto para o controle externo exercido pelo TCU, podemos citar as imagens de satélite, imagens de radar e as imagens obtidas pelos VANT, sintetizadas no texto a seguir.

2.1 IMAGENS DE SATÉLITES

Os satélites atualmente disponíveis no mercado são capazes de fornecer imagens com um nível de detalhe extremamente elevado. A precisão de localização e a excelente qualidade geométrica tornam esses produtos instrumentos com diversas aplicações para ações de controle externo. Também chamadas de imagens orbitais, são utilizadas quando a área de interesse é relativamente grande, o que prejudica o custo benefício

Figura 1:

Imagens de satélite e realce em cores da detecção de mudanças (Fonte: geo-airbusds.com)



do voo aerofotogramétrico ou por VANT e também quando se necessita de imagens periódicas. As imagens de satélite têm também como atrativo uma maior gama de bandas espectrais, como imagens em infravermelho que permitem identificar de forma automatizada o tipo de terreno ou cobertura vegetal da área, por exemplo. As imagens orbitais de alta resolução já competem em preço e aplicação com imagens aéreas fotogramétricas e são fontes importantes de dados digitais para os SIG, de forma a constituir um banco de dados geográfico permitindo a realização de diversas análises¹.

Um dos produtos que oferece muitas aplicações é a detecção de mudanças, que é o reconhecimento de alterações nos padrões característicos de determinadas feições, em um determinado espaço de tempo. Na prática, se utilizam imagens periódicas, em que as áreas onde houve alteração são “pintadas” ou marcadas com cores diferentes (SANTOS et al., 2005). A escolha dos dados a serem utilizados neste processo deve relacionar o tipo

à sequência das ocorrências, para que possam subsidiar o controle e a fiscalização de determinada região (STEININGER, 1996).

No âmbito do controle externo, o uso das imagens de satélite possibilita diversas ações que vão desde o monitoramento de áreas ou atividades de interesse (agricultura, obras, empreendimentos, assentamentos, áreas de preservação e indígenas), que podem se dar por imagens atualizadas diariamente, até a extração de dados contidos nas imagens por meio de softwares específicos para atividades interativas de análise e manipulação de imagens brutas para posterior interpretação, a exemplo da criação de Modelos Digitais de Elevação e da extração de curvas de nível a partir das imagens.

2.2 IMAGENS DE PERFILAMENTO A LASER

As imagens de perfilamento a laser, conhecidas como LiDAR (light detection and ranging), revolucionam

Figura 2:

Aplicação de imagens de perfilamento: comparativo entre a simples inspeção visual através de fotografias e a detecção de problemas na superestrutura da via (Adaptado de www.jasonamarori.com)

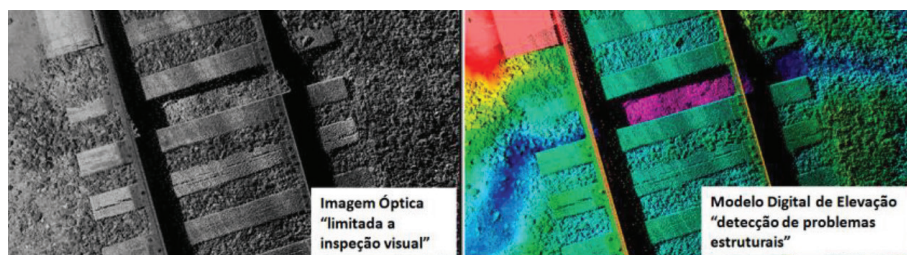
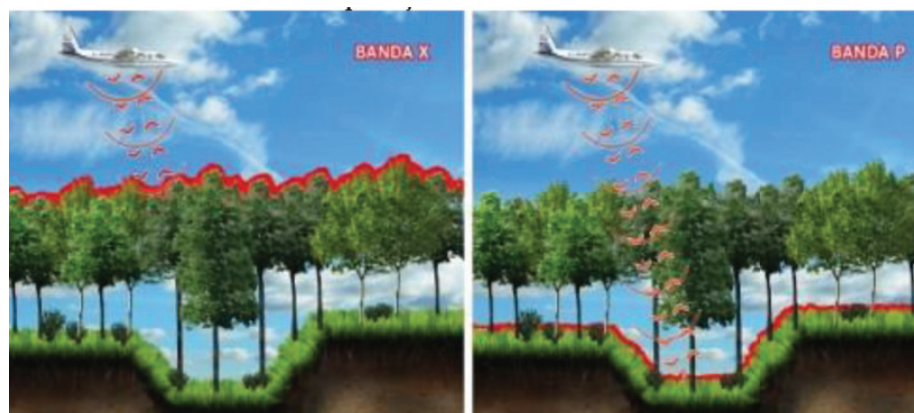


Figura 3:

Ilustração do processo de operação do radar ressaltando a diferença de bandas que permitem retorno do sinal na superfície das copas de árvores ou do sinal na superfície do terreno (Fonte: www.bradar.com.br).



ram as geotecnologias e são usadas como forma de coletar dados para a composição de superfícies topográficas, como áreas de mineração, volumes de corte e aterro, bem como medição tridimensional de objetos sobre ela instalados, como linhas de transmissão e edificações. Há no Brasil diversas empresas de aerofotogrametria (com aeronaves tripuladas) que dispõem desse sistema. Pela qualidade, agilidade e precisão nas medidas, esse sistema tem ganhado cada vez mais espaço nos projetos de infraestrutura e em seu monitoramento.

O LiDAR é um sensor que emite pulsos no espectro óptico (geralmente laser) que, ao atingirem a superfície a ser mapeada, são refletidos, retornando parcialmente para a fonte emissora. O sistema mede a diferença de tempo entre a geração do pulso enviado e o recebimento do sinal refletido, e calcula a distância entre o sensor e a superfície. A interação do pulso com diferentes alvos presentes na superfície ocasiona defasagens no sinal que possibilitam a distinção e classificação de diferentes padrões sobre a superfície.

2.3 IMAGENS DE RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA (SAR)

Os radares de abertura sintética (SAR) operam na faixa micro-ondas do espectro eletromagnético. Tradicionalmente, os sensores operam nas bandas X (ondas mais curtas), L (ondas intermediárias) e P (ondas mais longas), estas com poder de penetração na cobertura vegetal, possibilitando gerar modelos digitais de terreno com maior precisão se comparado a métodos tradicionais. As imagens de radar operantes na banda P não sofrem interferência nem obstrução das copas das árvores, o que diminuiu consideravelmente a margem de erro na execução de projetos nos quais o conhecimento

da topografia do terreno com alta precisão é muito importante, como no estudo preciso da área de inundação em uma barragem antes de sua construção.

As imagens SAR são muito usadas quando: [1] a área de interesse é constantemente coberta por nuvens; [2] se necessita levantar de forma precisa a altimetria de uma região de cobertura florestal; [3] se necessita mapear a região durante a noite; ou [4] se necessita monitorar variações da superfície de um terreno ao longo do tempo (BRADAR, 2015). Os sensores SAR podem ser embarcados em satélites ou aeronaves de maior porte quando se necessita de resoluções mais finas. Há produtos orbitais disponíveis comercialmente com resoluções de dezenas de metros a um metro. Vale ressaltar que as imagens SAR, pela natureza não óptica do sinal e do processamento requerido, apresentam características diferentes de uma fotografia aérea, e como tal requerem métodos exclusivos de análise e interpretação.

2.4 VANT / DRONES

Os veículos aéreos não tripulados (VANT), também conhecidos como *drones*², são aeronaves não tripuladas que podem possuir controle autônomo ou ser controlados remotamente de forma manual. Geralmente, são dotados de diferentes sistemas como câmeras, sensores, equipamentos de comunicação, dentre outros (BARRIOS; CUNHA, 2007). Atualmente, a utilização dos VANT vem crescendo tanto na área militar quanto na civil, principalmente quando a operação humana é desnecessária, antieconômica, repetitiva ou perigosa, sobretudo em áreas longínquas ou pequenas, onde o uso da fotogrametria convencional torna a execução do trabalho economicamente inviável.

Figura 4:

Ilustração do emprego de VANT para sobrevoo em rodovias e os possíveis problemas que a tecnologia pode ajudar a identificar antes, durante e após a execução de uma obra.



Os VANT estão sendo empregados em áreas de estudo variadas, como arqueologia, geologia, monitoramento ambiental e de acidentes, acompanhamento de obras de engenharia, para fins bélicos e no mapeamento aerofotogramétrico. Os sistemas permitem, com moderado grau de acurácia, desenvolver processos fotogramétricos para correção das imagens e medição tridimensional do terreno.

Os VANT são excelentes ferramentas de obtenção de imagens de alta resolução, baixo custo e alta resolução temporal. Essas características os firmam como uma alternativa de qualidade para produção de mapas, modelos numéricos de terreno (MNT) e imageamento de alta resolução espacial.

No âmbito do controle externo, os VANT possuem diversas aplicações, a exemplo das auditorias para acompanhamento de obras lineares, como em ferrovias,

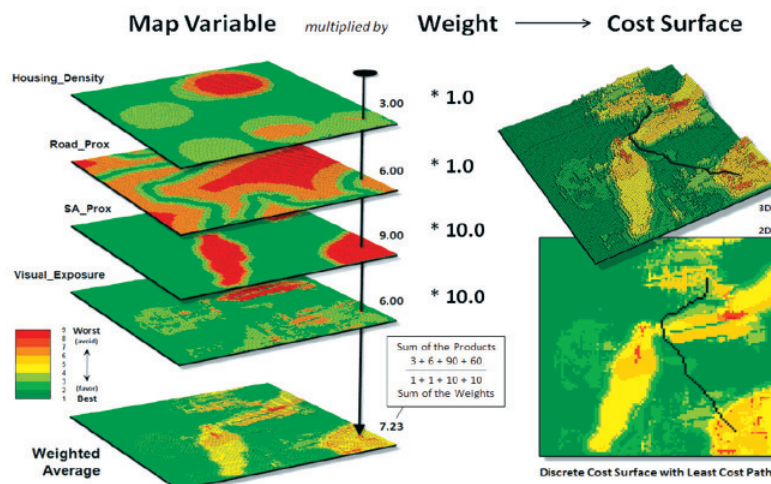
rodovias, canais, linhas de transmissão. A utilização dos VANT viabilizaria a execução de aerolevantamento em toda a extensão da obra ou em algum ponto específico, com alta resolução de imagens e restituição da altimetria com nuvem de pontos, geração de modelo digital de terreno (MDT) e de curvas de nível, como ilustra a figura a seguir.

2.5 ANÁLISE MULTICRITÉRIO E O DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

O objetivo da avaliação de políticas públicas é ajudar a desenvolver uma solução eficiente³ que atenda aos objetivos da ação governamental, considerando as possíveis alternativas para a obtenção dos resultados pretendidos (HM TREASURY, 2003). O TCU possui importante papel no sentido de cobrar dos gestores

Figura 5:

Análise multicritério: processo de integração de mapas (BERRY, 2009)



públicos que as políticas públicas sejam adequadamente avaliadas antes de sua implementação, para fins de garantir uma boa aplicação dos recursos. De outro lado, cabe-lhe monitorar e avaliar as políticas já implementadas. As ferramentas de geotecnologia discutidas até aqui têm grande aplicação na monitoração de projetos em andamento ou concluídos. Por sua vez, a análise multicritério espacial tem aplicação tanto na avaliação prévia (durante a fase de planejamento de um empreendimento) quanto na avaliação após a escolha da política.

Uma das ferramentas de avaliação de alternativas (e de monitoramento e avaliação de políticas públicas) mais utilizadas é a análise custo-benefício. A base da análise custo-benefício é a monetização dos custos e benefícios. Contudo, nem sempre tais custos e benefícios podem ser facilmente monetizados. Nesses casos, a análise multicritério é uma importante ferramenta que permite ponderar os benefícios e custos dos impactos não monetizados (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT, 2009). É uma técnica para auxiliar a tomada de decisões acerca de um problema complexo, ponderando fatores através de pesos, permitindo que se escolha alternativas segundo diferentes critérios e pontos de vista (JANUZZI et al., 2009).

De outro lado, verifica-se que, especialmente quando se trata de políticas de infraestrutura, ambientais, agrárias ou de planejamento urbano, grande parte das informações necessárias à tomada de decisão são espacializadas. Com isso, surge a necessidade de tratar a análise multicritério de forma espacial – quando ela é utilizada em combinação com as geotecnologias. O processo permite a substancial redução do tempo de análise, ilustra sob a forma de mapas, gráficos e tabelas, aponta as áreas de maior viabilidade (diretriz natural esperada para a implantação da infraestrutura) e quantifica as áreas não viáveis para a implantação da obra.

A análise multicritério espacial tem, portanto, grande potencial de aplicação no TCU em áreas como avaliação de corredores de transportes, traçados de obras de infraestrutura, localização ótima de escolas, creches, hospitais e também no acompanhamento de assentamentos, de áreas agrícolas e indígenas.

Como será descrito mais adiante, foi realizado um trabalho piloto de análise multicritério espacial, no TCU, com o objetivo de avaliar o corredor de transporte ligando Açailândia (extremo norte da ferrovia Norte Sul) com o porto de Barcarena (PA), buscando garantir a melhor aplicação dos recursos públicos.

3. O PROJETO DE USO DE GEOTECNOLOGIA NO TCU

Fica claro que existem inúmeras aplicações de geotecnologias das quais o controle pode se beneficiar, destacando-se:

- **Aumento da capacidade de fiscalização:** a utilização de imagens de sensoriamento remoto possibilita a automação do processo de fiscalização ao disponibilizar uma maior quantidade de informações sistematizadas em um menor intervalo de tempo, viabilizando avaliações mais amplas das políticas ou obras públicas;
- **Ampliação da abrangência espacial e temporal do controle externo:** com uma maior capacidade de fiscalização se torna viável o controle de um maior número de locais e em diversos momentos;
- **Redução de custos com viagens:** a utilização do sensoriamento remoto é capaz de substituir, em grande parte dos casos, a ida do auditor ao local da fiscalização;
- **Fiscalização em tempo real de atividades críticas:** determinadas atividades que demandem um acompanhamento mais intenso por parte do órgão de controle podem ser monitoradas remotamente de forma eficiente e tempestiva;
- **Aprimoramento do planejamento do controle:** a grande quantidade de informações processadas que essa tecnologia viabiliza se torna uma poderosa fonte para o planejamento das ações de controle;
- **Aumento da “sensação” de controle:** com uma maior capacidade de fiscalização e com a ampliação da abrangência espacial e temporal das atividades do órgão de controle, as ações de controle externo se tornam eficientes e tempestivas, o que resulta em uma maior sensação de controle por parte do auditado;
- **Aumento da robustez e qualidade das avaliações de políticas públicas:** com uso de análise multicritério espacial é possível avaliar e comparar variáveis não quantificáveis ou que não podem ser monetizadas, permitindo que o controle

avaliar de forma mais robusta as alternativas e escolhas de projetos e políticas, tais como corredores de transportes, traçados de obras de infraestrutura, localização de escolas, hospitais, entre outras políticas públicas;

- **Transparência nos critérios adotados para a definição de políticas ou projetos** – a disponibilização de todos os dados analisados como critério de avaliação e escolha de um projeto num banco de dados espacial (SIG) – que pode estar combinado ou não com uma ferramenta de análise multicritério – dá transparência aos critérios adotados e aos pesos relativos usados nos processos decisórios.

Neste contexto, surgiu na Coordenação de Infraestrutura (Coinfra) do Tribunal de Contas da União um projeto para avaliar melhor as ferramentas de geotecnologia disponíveis no mercado passíveis de aplicações em controle externo e formular proposta de estruturação das unidades técnicas para que incorporem o uso dessas ferramentas. Este trabalho abrange a realização de dois pilotos: o primeiro, descrito a seguir, que utilizou a análise multicritério espacial para avaliar a definição de um corredor ferroviário. O segundo piloto, ainda em andamento, avalia o uso de imagens de satélites e sen-

soriamiento remoto para o acompanhamento de obras públicas. O trabalho conta com o apoio do Centro de Pesquisa e Inovação do ISC.

3.1 PILOTO DE USO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM UMA FERROVIA

Para verificar a eficiência da análise multicritério como ferramenta de auditoria, foi realizado um teste piloto, em parceria com o prof. Rodrigo Nóbrega, do Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), que desenvolveu um modelo de decisão por múltiplos critérios, suportado por sistemas de informação geográfica, direcionados ao planejamento de transportes.

3.1.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido para a planejada extensão norte da Ferrovia Norte Sul (FNS) interligando Açailândia/MA ao porto, em Barcarena/PA. Nessa mesma região também está sendo planejado o porto de Espadarte, a leste de Barcarena. O conhecimento gerado e os resultados já obtidos podem ser usados para analisar tanto o traçado a ser proposto pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e Valec quanto para se avaliar os impactos da escolha de um porto ou outro. De

Figura 6:

Cenários, variáveis e respectivos rankings utilizados no nível 1 do processo multicriterial de tomada de decisão implementado para o estudo do TCU do trecho norte da Ferrovia Norte-Sul.

Nível 1	Socioeconômico		Mercadológico		Logístico	
	Critério	Ranking	Critério	Ranking	Critério	Ranking
	População	6	Soja	3	Rodovias - Densidade	3
	PIB Agropecuário	3	Outros Grãos	4	Hidrovia	8
	PIB Industrial	1	Minério de ferro	2	Jazidas	2
	PIB Serviços	5	Calcário/Fosfato/Caulim	3	Ferrovia FEPASA	1
	PIB per Capita	6	Bauxita	1		
			Outros minérios	4		
	Ambiental		Físico			
	Critério	Ranking	Critério	Ranking		
	Terras Indígenas Oficiais	9	Hidrografia - Densidade	5		
	Terras Indígenas Estudo	7	Hidrografia - Distância	5		
	UC - Proteção Integral	7	Declividade	9		
	UC - Uso Sustentável	5	Geomorfologia	3		
	Caverna	9	Solos Moles	9		
	Quilombo	7	Linha de Transmissão	5		
	Assentamento	7	Duto	5		
	Mangue	5				
	Floresta Nativa (Maciço)	5				
	Sítio Arqueológico	9				
	RPPN	9				

forma a maximizar a captura da diversidade socioeconômica, ambiental e as infraestruturas da região que possam influenciar o projeto da ferrovia, a área de estudo foi expandida 250 quilômetros para leste e para oeste da linha reta que liga Açailândia e Barcarena.

3.1.2 Metodologia

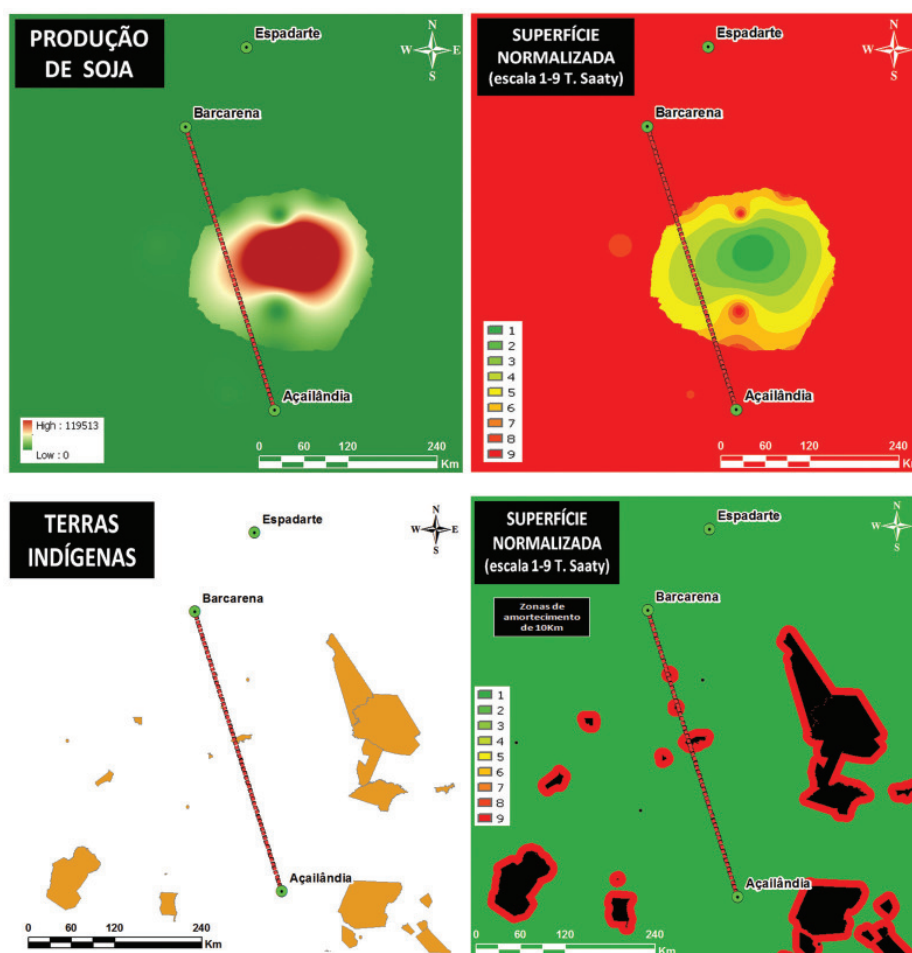
O modelo de análise multicritério utilizado integrou simultaneamente 35 variáveis distintas (tais como declividade do terreno, produto interno bruto agrícola e industrial, densidade viária e atratividade intermodal, intersecção de cursos d'água, áreas de proteção ambiental) combinadas em cinco grupos (variáveis mercadológicas, logísticas, socioeconômica, física e ambiental) conforme mostra a Figura 7.

Essas variáveis foram trabalhadas em um processo hierárquico, no qual foram dados pesos/pontos

para cada variável. O modelo define se essas variáveis possuem atratividade ou repulsividade para o traçado ferroviário, bem como os níveis de atração ou repulsão. Dessa forma, por exemplo, trechos com alta declividade no terreno repelem o traçado da ferrovia, pois resultam em um maior custo de construção; assim, pontos com um alto PIB agrícola e industrial atraem o traçado, pois podem se tornar pontos de interesse para a construção de pátios de carregamento e transporte de mercadorias. A adoção dos pesos foi indireta e considerou *inputs* no intervalo de 1 a 9, correspondentes ao modelo AHP (SAATY, 1995). A estratégia considerou sempre o grau de esforço ou custo potencial oferecido para a implantação da ferrovia para cada variável. Valores menores representaram, no modelo, atração (maior viabilidade), e valores maiores representaram repulsão (baixa viabilidade ou impossibilidade).

Figura 7:

Exemplos de modelagem de mapas temáticos utilizados no estudo do segmento ferroviário entre Açailândia/MA e Barcarena/PA



Como resultado, o modelo gera mapas temáticos (cada variável é plotada em um mapa) e esses mapas são combinados, seguindo o exemplo ilustrado na Figura 5, de forma que qualificam e quantificam as áreas de maior viabilidade para a implantação da infraestrutura.

O trabalho foi realizado em 4 etapas: a obtenção e tratamento dos dados geográficos, o pré-processamento ou adequação dos dados para a entrada no modelo, a modelagem geográfica e, por fim, a análise multicritério para a criação das superfícies de custo (ou esforço) propriamente ditas.

Coleta de Dados

Nesta fase foram coletados os dados que resultaram nas 35 variáveis distintas. Estes dados de entrada, sem exceção, são oriundos de fontes públicas e foram obtidos sem ônus.

Pré-processamento

Na etapa de pré-processamento, os dados elencados acima foram preparados/modificados para servi-

rem como entrada no modelo. O primeiro passo foi o recorte geográfico utilizando o polígono da área de estudo. Alguns dados, como foi o caso do modelo digital de elevação, passaram pelo processo contrário, sendo necessário compor um mosaico para preencher o polígono. Uma vez em consonância com a área de estudo, os dados foram trabalhados para gerar mapas temáticos: o mapeamento espacial de uma informação.

Modelagem geográfica

A modelagem geográfica deste estudo foi baseada no modelo proposto por Nóbrega (2009). O procedimento consiste no tratamento da informação de cada mapa temático para que estes possam ser processados e analisados em conjunto.

O desafio inicial da modelagem é o entendimento geral do problema e como cada mapa temático de entrada deverá ser tratado para atingir o objetivo proposto. Neste sentido, os passos necessários são: [1] estabelecimento de regras para modelar (pesos/pontos) cada mapa temático e [2] normalização dos valores⁴.

Figura 8:

Corredores de viabilidade interligando Açailândia/MA e Barcarena/PA. Áreas brancas e rosadas representam maior viabilidade para implantação da ferrovia.

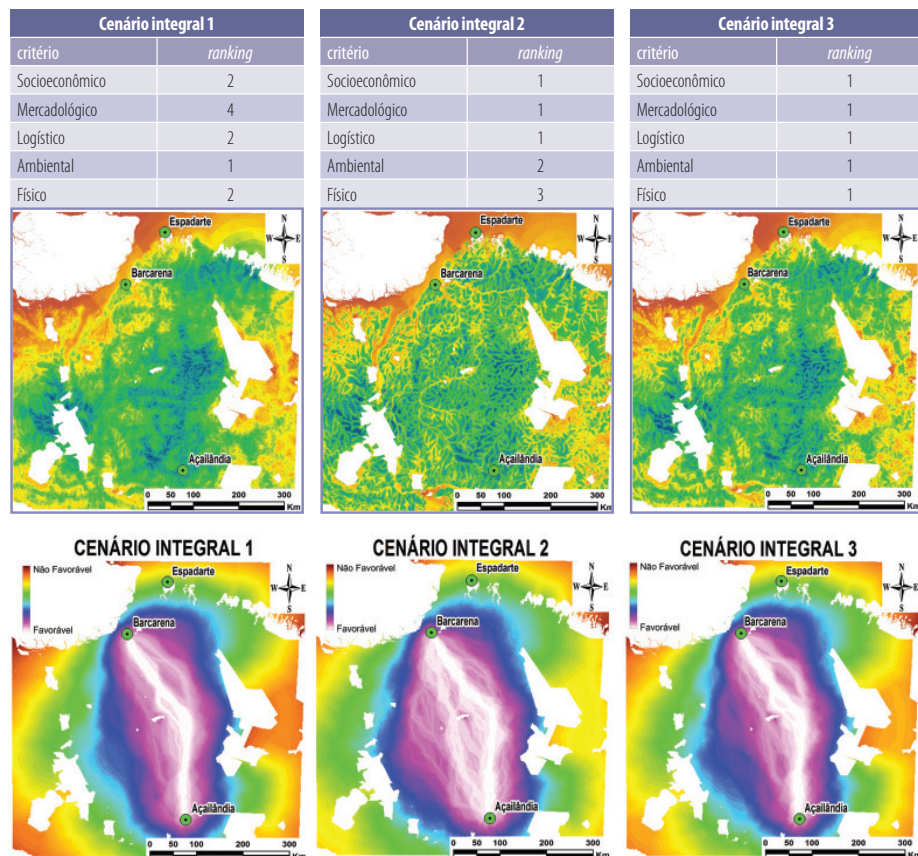
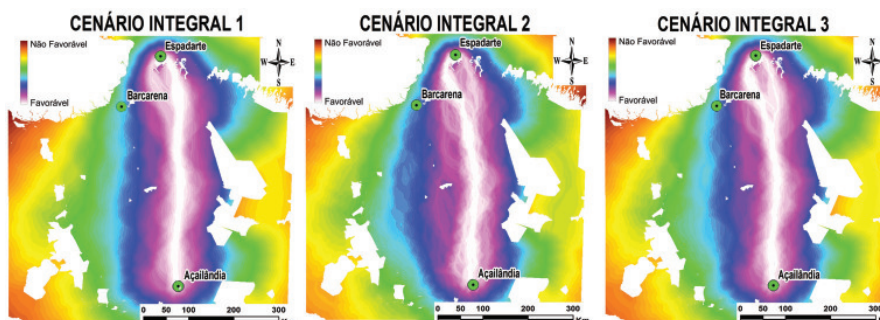


Figura 9:

Corredores de viabilidade interligando Açailândia/MA e Porto Espadarte/PA. Áreas brancas e rosadas representam maior viabilidade para implantação da ferrovia



Em síntese, para o estabelecimento das regras, os dados de cada mapa são analisados e tratados, de forma que contenham dados qualitativos (nominais, categóricos) e dados quantitativos (intervalares, ordinais), permitindo que sejam descritos sob uma mesma escala numérica e adimensional para que possam ser posteriormente processados em conjunto. Esse processo pode ser desenvolvido de duas formas:

Processamento de uma superfície por interpolação, mapa de densidade ou de índices (como mapas de declividade do terreno): quando se utiliza o centro de massa do município e o atributo de produção agrícola (por exemplo, soja). A superfície resultante será dividida em 9 classes adimensionais conforme a produção. A atribuição dos fatores, chamados de AHP (analytic hierachy process) será inversamente proporcional ao valor da produção. Quanto maior a produção, menor o fator AHP e respectivamente maior a atratividade da área para o corredor. Quanto menor a produção, maior o fator AHP e maior o esforço operacional para corredor.

Definição de áreas restritivas: por exemplo, o polígono da área indígena será tratado como máscara restritiva. Neste caso, foi criado um buffer de 10 km para o polígono e atribuído o fator AHP = 9 para a área contida no buffer. A regra impede a ocupação da área indígena, e dificulta a ocupação da área no entorno da terra indígena.

3.1.3 Resultados

Uma vez estabelecidas as cinco superfícies de esforço dos cenários, estas foram integradas ao segundo nível do processo hierárquico, para o qual foram estabelecidos três cenários integrados, os quais correspondem às análises de sensibilidade da solução para modelar os respectivos corredores de viabilidade. De forma análoga ao nível 1, o processamento do nível hierárquico 2 gerou três novas superfícies de esforço integradas (Figura 8), utilizadas nos respectivos cálculos dos corredores (Figuras 8 e 9).

Embora distintos, os resultados dos três cenários mostraram convergência no trecho/corredor para ligar os dois pontos. As áreas apontadas como sendo as de maior viabilidade para a instalação da infraestrutura ferroviária sofreram desvios causados pela repulsão de áreas com restrições ambientais. Em seus trechos inferiores, os corredores mostraram grande aderência pela atração logística, socioeconômica e mercadológica para conectar, em uma linha quase direta, as localidades de Açailândia/MA e Paragominas/PA. A escolha foi também apoiada na maximização da geologia e geomorfologia adequadas, reduzindo o número de travessias de rios e de intersecção de áreas de alto potencial para solos moles.

Ainda que o propósito inicial do trabalho tenha sido o emprego de um modelo de inteligência geográfica para calcular e representar alternativas de corredores para a ferrovia Norte-Sul entre Açailândia/MA e Barcarena/PA, houve também a preocupação em incluir no modelo o Porto de Espadarte, cujo apelo principal é a profundidade de calado, compatível com a nova demanda de tráfego esperada após a ampliação do Canal do Panamá. A Figura 9 ilustra os resultados do modelo incluindo o Porto de Espadarte.

De forma análoga aos resultados ilustrados na Figura 8, a convergência dos resultados na metade inferior pode ser explicada pela atração das variáveis logísticas, mercadológicas, socioeconômicas e físicas. No geral, o comportamento dos três corredores foi muito similar, salvo ao sul do Porto de Espadarte, para a qual o modelo apresentou duas opções de corredor, na tentativa de minimizar os impactos ambientais ao interceptar áreas de mangue e solo saturado.

3.2 AVALIAÇÃO DO MODELO

Os resultados do piloto foram muito positivos. O modelo revelou-se simples e flexível, pois possibilita que as regras sejam moldadas de forma dinâmica,

incluindo a participação de atores e suas respectivas opiniões ponderadas em pesos para a criação de cenários. Os resultados gráficos permitem uma fácil visualização comparativa das alternativas e dos corredores que melhor atendem aos critérios estabelecidos. Ademais, o modelo traz transparência quanto aos dados utilizados, bem como valores e regras adotados. Todas as informações (quantitativas e qualitativas) são devidamente registradas no sistema em forma de mapas e tabelas, possibilitando a reprodução do estudo.

O resultado do corredor de ligação entre os dois pontos foi consistente com o esperado. Como ainda não existe um projeto de traçado para esta via ferroviária, os resultados desta análise multicritério poderão ser usadas no futuro para avaliar as propostas de traçado a serem apresentadas pela ANTT. No momento da avaliação do projeto, o modelo também poderá oferecer informações de valor – com a visualização de vários cenários diferentes – para a escolha do local do porto.

O trabalho piloto de análise multicritério espacial mostrou um enorme potencial de aplicação em controle externo. A ferramenta expande a forma em que a análise é feita atualmente quando se consideram somente as variáveis geográficas. A ferramenta permite que se avaliem as escolhas de políticas públicas como um todo, pois se expande a quantidade e o tipo de variáveis consideradas e permite resumir, em um resultado gráfico, variáveis não quantificáveis ou que não podem ser monetizadas. Esta ferramenta permite a avaliação de localização ótima (de escolas, creches, hospitais e outros empreendimentos) e de traçado ótimo para obras lineares (rodovias, ferrovias, canais, linhas de transmissão etc.). Com tanto potencial, existe a possibilidade de aplicação direta nas áreas de obras, educação, ambiental, saúde, entre outras. Além disso, existem diversas customizações que poderão ser desenvolvidas, merecendo destaque a possibilidade de se monetizar as variáveis e mapas temáticos, para gerar superfícies financeiras a serem comparadas.

4. CONCLUSÃO

Uma das principais responsabilidades do TCU é a avaliação de políticas públicas, com o objetivo de trazer benefícios para o país e para sociedade. No entanto, o exame de políticas públicas, especialmente de investimentos em infraestrutura, é intrincado e envolve a análise integrada de dados econômicos, espaciais, ambientais, sociais e técnicos. Essa complexidade demanda inovação e incorporação de avanços tecno-

lógicos. Os SIG e as geotecnologias são algumas das ferramentas disponíveis que tem grande aplicação na realização de avaliação e acompanhamento da implementação de projetos por terem capacidade de processar grande quantidade de informações e permitirem sua integração num contexto espacial.

Várias tecnologias são englobadas nessa concepção, entre elas o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), que incluem o uso de imagens (de satélites e aeronaves, tripuladas ou não) bem como aplicações de análise multicritério para informações geográficas com as plataformas SIG/GIS suportando todas estas tecnologias.

Para verificar a eficiência desse instrumento como forma de promover um controle externo mais atuante e inovador, a Coordenação de Infraestrutura (Coinfra) está desenvolvendo um trabalho para explorar a utilização de geotecnologias em controle externo de forma sistemática. Para isso, estão em andamento dois projetos pilotos na área de ferrovias: um com uso de análise multicritério para avaliação de traçado de ferrovia e o segundo ainda em fase inicial que avalia o uso de imagens de satélites, e complementarmente de VANT, para acompanhamento de obras públicas.

O primeiro piloto consistiu na aplicação da análise multicritério espacial para avaliação do melhor corredor ferroviário para ligar Açailândia/PA a Barcarena/PA. Esse protótipo usou um modelo que integra o processo de análise multicriterial a um sistema de informação geográfica (SIG), permitindo a hierarquização, priorização, seleção e refinamento de alternativas preferidas. A análise multicritério espacializada é uma importante ferramenta que permite ponderar os benefícios e custos dos impactos incluindo os que não podem ser facilmente monetizados. Para avaliação do melhor corredor/faixa de implantação da ferrovia, foram consideradas 35 variáveis, agrupadas em 5 grupos (variáveis mercadológicas, logísticas, socioeconômicas, físicas e ambientais). O modelo define se essas variáveis possuem atratividade ou repulsão para o traçado ferroviário, além de definir os níveis de atração ou repulsão. As variáveis foram trabalhadas em um processo hierárquico de análise multicriterial e apontam um corredor ótimo onde a ferrovia deve ser implantada. O processo permitiu substancial redução do tempo de análise, ilustrou os resultados e soluções sob a forma de mapas, gráficos e tabelas, apontou as áreas de maior viabilidade (diretriz natural esperada para a implantação da infraestrutura), bem como as áreas não viáveis para a implantação da obra. Além

disso, o uso desta ferramenta aumenta a robustez e qualidade das avaliações de políticas públicas – e dá transparência nos critérios adotados para a definição de políticas públicas.

As geotecnologias têm se consolidado como ferramenta de aprimoramento da atuação da administração pública brasileira. O conhecimento das geotecnologias viabiliza um controle externo mais atuante por parte do TCU, seja pelo aumento da capacidade de proposição de ferramentas para a formulação de políticas públicas, seja pelo aumento da capacidade de avaliação de políticas públicas instituídas. Nesse sentido, a realização deste piloto confirma a viabilidade técnica e o potencial de utilização das geotecnologias de análise multicritério nessas duas dimensões. Os próximos passos deste trabalho de pesquisa incluem a avaliação de outras geotecnologias e a avaliação da sua incorporação como ferramentas de controle externo, inclusive em termos de estrutura para suportar as secretarias de controle no uso de geotecnologias, de forma sistemática, por meio da formação de parcerias com empresas especializadas, capacitação de auditores e até uma possível criação de estrutura própria dentro do órgão.

NOTAS

- 1 Imagens do satélite norte-americano Landsat fotografam a superfície terrestre com resolução espacial de 30 metros e são disponíveis gratuitamente. Em 2012, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), disponibilizou aos órgãos públicos federais imagens dos satélites RapidEye, com resolução de até 5 metros. Em 2015, o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG) realizou um registro de preços para aquisição de imagens orbitais pelos satélites Plêiades 1A/1B e Spot 6/7, que disponibilizam imagens com resolução de até 0,7 metros. Há ainda imagens provenientes de outros sensores civis com resoluções submétricas que podem ser adquiridas de representantes comerciais de forma simples. Uma vez adquirida, a imagem passa a integrar a base de dados do projeto e serve como referência espacial e temporal para suprir análises, por exemplo, de medição e monitoramento da evolução de uma obra.
- 2 Drone é uma palavra inglesa que significa zangão, mas que é utilizada para designar os VANT.
- 3 Segundo o TCU (Manual de Auditoria Operacional. Brasília, 2012, p. 12): "A eficiência é definida como a relação entre os produtos (bens e serviços) gerados por uma atividade e os custos dos insumos empregados para produzi-los, em um determinado período de tempo, mantidos os padrões de qualidade."
- 4 Explicações técnicas sobre os procedimentos da modelagem geográfica podem ser encontrados em Sadasivuni et al. (2009), bem como a caracterização prática para compreensão por parte de stakeholders e gestores de transportes em Nóbrega et al. (2009).

REFERÊNCIAS

BARRIOS E.; CUNHA, A. M. *Um protótipo de sistema especialista para VANTs*. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007.

BERRY, J. K. Use of spatial sensitivity analysis to assess model response. *GeoWorld Magazine*, ago. 2009.

BRADAR. *Homepage*. Disponível em: <www.bradar.com.br>. Acesso em: ago. 2015.

DAVIS, C.; CÂMARA, G. *Introdução: por que geoprocessamento?* São José dos Campos: INPE, 2001.

DELGADO, A. *Geotecnologias como ferramenta para o controle externo de obras públicas: estado da arte e perspectivas futuras*. Cidade: Editora, 2014.

DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT. *Multi-criteria analysis: a manual*. Londres: 2009.

HM TREASURY. *The Green Book*. Appraisal and Evaluation in Central Government. Londres: 2003.

JANNUZZI, P. M.; MIRANDA, W. L.; SILVA, D. S. G. Análise multicritério e tomada de decisão em políticas públicas: aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações. *Revista Informática Pública*, ano 11, p. 69-87, 2009.

NÓBREGA, R. A. A.; O'HARA, C. G.; SADASIVUNI E J. DUMAS. Bridging decision-making process and environmental needs in corridor planning. *Management of Environmental Quality International Journal*, v. 20, p. 622-637. 2009

PEREIRA, C. V. *A atividade de inteligência como instrumento de eficiência no exercício do controle externo pelo Tribunal de Contas da União*. Minas Gerais, 2009. Monografia (Especialização em Inteligência de Estado e Inteligência de Segurança Pública com Inteligência Competitiva) – Escola Superior do Ministério Público de Minas Gerais, Centro Universitário Newton Paiva, Belo Horizonte. p. 83-84.

RODRIGUE, J. P.; COMTOIS, C.; SLACK, B. *The geography of transport systems*. Nova York: Routledge, 2006.

SAATY, T.L. Transport planning with multiple criteria: the analytic hierarchy process applications and progress review. *Journal of Advanced Transportation*, v. 29, n. 1, p. 81-126, 1995

SADASIVUNI, R.; NÓBREGA, R. A. A.; O'HARA, C. G.; DUMAS, E. J. Transportation Corridor Case Study for Multi-Criteria Decision Analysis Proceedings of American Society of Photogrammetry and Remote Sensing 75th Annual Meeting, Baltimore, MD. 2009.

SANTOS, J. R.; MALDONADO, F. D.; GRAÇA, P. M. L. A. Integração de imagens Landsat/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição. *Revista Brasileira de Cartografia* v. 57, p. 15-27, 2005.

STEININGER, M. Tropical secondary forest regrowth in Amazonian: age, area and change estimation with Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 1, p. 9-27, 1996.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. *Manual de auditoria operacional*. Brasília, 2012.