

Tipologias de Caatinga: Uma Revisão em Apoio a Mapeamentos Através de Sensoriamento Remoto Orbital e GEOBIA

Caatinga Typologies: A Review to Support Mapping Through Orbital Remote Sensing and GEOBIA

Diego Vicente Sperle da Silva¹, Carla Bernadete Madureira Cruz²

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, diegovsperle@gmail.com

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, carlamad@gmail.com

Recebido (Received): 29/01/2018

Aceito (Accepted): 29/05/2018

Resumo: A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, sendo um dos menos conhecidos e estudados no país. A oscilação da disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro, faz com que sua vegetação seja extremamente dinâmica e sazonal. Esta característica dificulta a identificação de tipos fisionômicos visando mapeamento. O presente trabalho busca discutir diferentes classificações de tipologias de Caatinga e a sua aplicabilidade em sensoriamento remoto orbital e GEOBIA, baseado no critério de separação entre as classes. GEOBIA (Análise de Imagens Baseada em objetos Geográficos) é uma metodologia que se destaca da tradicional, já que considera diversos atributos extraídos dos objetos, permitindo uma relação semântica no processo de classificação. Foi realizada uma revisão bibliográfica onde foram encontradas cinco classificações de tipologias de caatinga, a de Andrade-Lima (1981), Veloso e Góes-Filho (1982), George Eiten (IBGE, 2012), Chaves *et al.* (2008) e Cavalcanti (2014). O trabalho propõe o uso da classificação de Cavalcanti (2014) como o mais adequado para mapeamentos baseados em modelagem através de GEOBIA, devido ao seu caráter geossistêmico e multiescalar

Palavras-Chave: Semiárido; Caatinga; Sensoriamento Remoto; GEOBIA.

Abstract: The Caatinga is an exclusively Brazilian biome, being one of the least known and studied in the country. The oscillation of water availability in the Brazilian semiarid, makes its vegetation extremely dynamic and seasonal. This feature makes it difficult to identify physiognomic types for mapping. The present work seeks to discuss different classifications of Caatinga typologies and their applicability in orbital remote sensing and GEOBIA, based on the criterion of separation between classes. GEOBIA (Geographic-Object-Based Image Analysis) is a methodology that stands out from the traditional, since it considers several attributes extracted from the objects, allowing a semantic relation in the classification process. A bibliographic review was made, where five classifications of caatinga typologies were found: Andrade-Lima (1981), Veloso and Góes-Filho (1982), George Eiten (IBGE, 2012), Chaves *et al.* (2008) and Cavalcanti (2014). The paper proposes the use of the classification of Cavalcanti (2014) as the most appropriate for mapping based on GEOBIA modeling, due to its geosystemic and multiscalar character

Keywords: Semiarid; Caatinga; Remote Sensing; GEOBIA.

1. Introdução

O clima semiárido ocupa a porção central da Região Nordeste do Brasil, estando relacionado a um bioma completamente adaptado a este regime climático, denominado Caatinga. A área é caracterizada por uma forte escassez hídrica, apresentando precipitações anuais entre 350mm a 600mm, embora essas precipitações sejam irregulares e variem anualmente, havendo anos mais secos e anos com precipitações que podem causar inundações (AB'SABER, 2003). A palavra Caatinga é de origem Tupi-Guarani que significa “mata branca” e é usada tanto no senso comum quanto de forma científica (ANDRADE-LIMA, 1981; PRADO, 2003).

A oscilação da disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro, torna a vegetação da caatinga extremamente dinâmica e sazonal, onde em períodos secos a vegetação perde quase completamente suas folhas, enquanto em períodos úmidos a vegetação apresenta aspecto verdejante.

O histórico de ocupação da caatinga é longo. Quase toda a área do bioma é ocupada de forma rarefeita, tendo as maiores concentrações populacionais nos vales de rios que permitem o desenvolvimento mais expressivo da agricultura por serem as áreas mais úmidas (ANDRADE-LIMA, 1981; AB'SABER, 2003). Contudo, outras áreas mais secas também são utilizadas desde o início do processo de ocupação para agricultura e pastagens. AB'SABER (2003) ressalta que a caatinga é a área semiárida com maior total populacional no mundo.

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, e apesar de haver outros biomas adaptados ao clima semiárido no mundo é o que apresenta maior biodiversidade. No Brasil é um dos biomas menos conhecidos e estudados (LEAL *et al.* 2003), o que favorece um cenário de desinformação, dificultando ações de manejo sustentável e preservação, principalmente no que tange à preservação de solos, que são muito sensíveis por serem predominantemente rasos (AB'SABER, 2003; PRADO, 2003).

Um dos grandes desafios atuais para a gestão ambiental do semiárido brasileiro envolve um esforço em evitar o avanço e o surgimento de núcleos de desertificação, citados e estudados por autores como LEAL *et al.* (2003), DUARTE (2008) e LIMA (2010). Também é importante salientar que a vegetação tem um papel importantíssimo para a mitigação deste problema, assim como para a preservação e manutenção dos recursos hídricos, sendo parte indispensável do ciclo hidrológico.

A importância socioeconômica da Caatinga é imensurável, já que existe toda uma população ligada economicamente e culturalmente ao bioma, além do potencial turístico do semiárido do Brasil ainda explorado de forma incipiente.

2. Dificuldades técnicas para o mapeamento de Caatinga através de sensoriamento remoto orbital

O mapa é uma ferramenta fundamental no planejamento e gestão de recursos humanos e naturais sendo, portanto, fundamental focar na sua produção, buscando meios de melhor qualificar a informação espacial, garantindo a sua exatidão e detalhamento temático.

O uso do sensoriamento remoto orbital no mapeamento da vegetação é antigo e bastante explorado, apesar de apresentar ainda muitos desafios. As principais vantagens do uso de imagens orbitais em apoio ao mapeamento temático envolvem o custo das imagens, a variedade de opções existentes, a percepção sinótica e a conjugação de soluções para atendimento de demandas relativas à abrangência e detalhamento. Essa alternativa ainda é mais atraente quando é viável a utilização do acervo de imagens e *softwares* gratuitos disponíveis.

A geração de mapas temáticos de uma forma em geral está muito vinculada a produtos imagéticos que possibilitam, entre outros fatores, a redução de trabalhos de campo. Desta forma, frente à necessidade de velocidade na produção cartográfica, da abrangência de grandes extensões e da cobertura de áreas de difícil acesso, as imagens orbitais passam a ser, muitas vezes, consideradas imprescindíveis.

Deve-se considerar ainda a necessidade de monitorar a cobertura terrestre, principalmente a vegetal. Cada vez mais tem sido possível mensurar a supressão e a recuperação de áreas vegetadas em intervalos de tempo menores, considerando a crescente resolução temporal ofertada por diferentes sensores. Com a ampliação da estrutura informática para o processamento de imagens, tem sido possível também a manipulação de volumes de dados expressivos.

É preciso reforçar que mapear a caatinga através de sensoriamento remoto apresenta algumas dificuldades técnicas. A principal delas é a sazonalidade na disponibilidade hídrica para o uso biológico da vegetação, o que consequentemente afeta o aspecto vegetal, já que há uma perda de folhas acentuada em períodos de estresse hídrico. Todavia, quando há entrada de água no sistema, o aspecto vegetal muda de forma drástica num curto período de tempo, com o crescimento de folhas novas. Considerando ainda a distribuição errática da pluviosidade na área, é muito complicado se definir datas ideais para o imageamento para fins de mapeamento.

Devido a esta característica, o mapeamento deste bioma através de sensoriamento remoto é considerado extremamente complexo, dado que a resposta espectral da vegetação varia de forma significativa em curtos períodos de tempo. Isto se deve ao fato da presença de folhas propiciarem uma maior absorção de comprimentos de ondas da faixa visível do espectro eletromagnético e uma maior reflexão na faixa do infravermelho. A proporção do quanto é absorvido e refletido varia de acordo com a espécie e densidade da vegetação, pois a resposta espectral é sensível aos pigmentos e outras substâncias presentes nas folhas, além de ser influenciada pela composição e estrutura dos dosséis (PONZONI *et al.* 2012).

Em contrapartida, em períodos secos a ausência de folhas pode ocasionar uma resposta espectral muito parecida com a do solo exposto ou de afloramentos rochosos, dificultando a correta classificação das áreas vegetadas. Desta forma, é imprescindível o uso de imagens de múltiplas datas ao longo do ano, ou de pelo menos duas, uma representando o período seco e outra o período úmido, de modo a facilitar a identificação de tipos de Caatinga sem o risco de superestimar ou subestimar a cobertura desta vegetação.

A escassez de produções científicas, incluindo mapeamentos sobre a Caatinga, dificulta o acesso a informações detalhadas sobre o bioma e, não raras vezes, os mapas produzidos apresentam um alto grau de generalização em sua legenda. Além disto, dados de assinatura espectral da vegetação de caatinga, e suas variedades tipológicas, são quase inexistentes, havendo apenas poucos estudos envolvendo diferenças na assinatura espectral de algumas espécies deste bioma, como NAUE *et al.* (2011).

3. Tipologias de Caatinga

Ao contrário do senso comum, a Caatinga não é um bioma homogêneo, apresentando uma diversidade de paisagens. Para se obter um mapeamento detalhado é fundamental que se estabeleça modelos de identificação de classes, de modo a captar variações muitas vezes sutis. Assim, um dos principais desafios é a identificação de elementos diferenciadores dessas classes.

Contudo, é importante ressaltar que as transições entre as paisagens que compõem a caatinga ocorrem de forma gradativa. É necessário também considerar a existência de enclaves de outras fisionomias vegetais dentro do bioma, resultantes de ciclos de retração e expansão associados a mudanças climáticas ocorridas em passado geológico recente (quaternário), o que influenciou a dispersão e o confinamento de algumas espécies vegetais que compõem as paisagens atuais (ANDRADE-LIMA, 1981; AB’SABER, 2003).

Na literatura existem diversas classificações de tipologias de Caatinga que variam desde classificações puramente biológicas, onde as espécies vegetais são o principal critério de diferenciação, até classificações geossistêmicas, onde a relação da vegetação com o ambiente abiótico (solo, relevo, hidrologia, entre outros) é o principal fator para a diferenciação.

ANDRADE-LIMA (1981) propôs uma classificação de caatinga levando em conta as espécies dominantes. Contudo, o autor discute a profunda relação das tipologias de caatinga com fatores abióticos, principalmente referentes ao solo, clima e geologia, embora a escassez de dados disponíveis na época não permitiu ao autor avançar nessas características. Todavia, algumas observações sobre as influências abióticas estão presentes na descrição das tipologias de caatinga, como pode ser visto na **tabela 1**.

Tabela 1: Classificação de vegetação de caatinga adaptada de ANDRADE-LIMA (1981)

Tipos de Caatinga	Descrição
<i>Tabebuia-Aspidosperma-Astronium-Cavanillesia</i>	Caatinga de porte alto presente no sul da Bahia e norte de Minas Gerais
<i>Astronium-Schinopsis-Caesalpinia</i>	Caatinga de porte médio presente na porção central do semiárido.
<i>Caesalpinia-Spondias-Bursera-Aspidosperma</i>	Caatinga de porte médio localizada em áreas mais secas que o tipo anterior.
<i>Mimosa-Syagros-Spondia-Cereus</i>	Caatinga de porte baixo, presente no centro norte da Bahia.
<i>Pilosocereus-Poeppigia-Dalbergia-Piptadenia</i>	Caatinga de porte baixo, presente em solos arenosos.
<i>Cnidocolus-Bursera-Caesalpinia</i>	Caatinga arbórea aberta, presente no sudoeste do Ceará e outras áreas moderadamente secas com solos ácidos e inconsolidados.
<i>Caesalpinia-Aspidosperma-Jatropha</i>	Caatinga arbustiva, presente em áreas secas do vale do São Francisco.
<i>Caesalpinia-Aspidosperma</i>	Caatinga arbustiva aberta
<i>Mimosa-Caesalpinia-Aristida</i>	Caatinga arbustiva aberta
<i>Apidosperma-Pilosocereus</i>	Caatinga arbustiva aberta
<i>Calliandra-Pilosocereus</i>	Caatinga arbustiva aberta, restrita a áreas espalhadas de solo cascalhento.
<i>Copernicia-Geoffroea-Licania</i>	Franja de vales fluviais do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte.

Os tipos de caatinga *Caesalpinia-Aspidosperma*, *Mimosa-Caesalpinia-Aristida* e *Apidosperma-Pilosocereus*, presentes na tabela 1, apesar de terem a mesma descrição de fisionomia se diferenciam pela composição florística, embora o autor cite localidades onde estas tipologias foram observadas.

A classificação de ANDRADE-LIMA (1981) também considera uma possível influência humana nos tipos de caatinga classificados, ou seja, o autor questiona a possível influência da degradação da vegetação oriunda das atividades socioeconômicas no aspecto da vegetação de caatinga, sobretudo as de baixo porte.

IBGE (2012) compilou uma série de tipologias de Caatinga propostas ao longo do tempo. A classificação a seguir foi utilizada no projeto RADAMBRASIL, buscando solucionar alguns problemas envolvendo o mapeamento da vegetação no Brasil. A **Tabela 2**, proposta por Veloso e Góes-Filho (1982), apresenta uma descrição detalhada de espécies dominantes e aspecto fisionômicos para a classificação. Esta tipologia inclui a vegetação de Caatinga como um tipo de estepe, que é um termo muito mais amplo, que possibilitaria a utilização desta classificação fora do semiárido.

Tabela 2: Tipologia da Região Fitoecológica de Estepe (VELOSO & GÓES-FILHO, 1982)

Região Fitoecológica da Estepe (Caatinga e Campanha Gaúcha)	Arbórea Densa	Sem palmeiras
		Com palmeiras
	Arbórea Aberta	Sem palmeiras
		Com palmeiras
	Parque	Sem palmeiras ou sem floresta de galerias
		Com palmeiras ou com floresta de galerias
	Gramíneo-Lenhosa	Sem floresta de galeria
		Com floresta de galeria

A classificação de Veloso e Góes-Filho (1982) é autoexplicativa, não sendo necessária uma análise mais profunda de cada uma das classes, já que na nomenclatura das mesmas estão presentes os aspectos fisionômicos e dos grupos vegetais que as diferenciam.

Outra classificação, também mencionada em IBGE (2012), foi proposta por George Eiten. Essa classificação é mais detalhada, com diversas classes novas que não existem na classificação anterior, como pode ser observado na **Tabela 3**. É uma classificação estritamente fisionômica, onde o aspecto da vegetação como um todo prevalece na separação das classes. Esta classificação adiciona mais uma categoria de Caatinga que não está associada ao clima semiárido regional, que é a Caatinga Amazônica, que apresenta suas próprias subclasses. Como esta classificação foi desenvolvida com um alto grau de detalhe, foi necessária a criação da tipologia Caatinga Amazônica para designar e subdividir os enclaves de vegetação com fisionomia semelhante ao da Caatinga que cobre o semiárido brasileiro. Como o propósito do presente trabalho é estritamente a vegetação do semiárido, as classes que não estão nesta região climática foram omitidas.

Tabela 3: Classificação de Caatinga de George Eiten. (IBGE, 2012)

Caatinga	Florestal
	De arvoredo
	Arbóreo-arbustiva fechada
	Arbóreo-arbustiva aberta
	Arbustiva aberta
	Arbustiva fechada
	Savânica
	Savânica lajeada

Chaves et al. (2008) propuseram uma classificação de tipologias de Caatinga na qual as características morfoestruturais da vegetação são utilizadas como parâmetro para a separação de cada classe. Esta classificação tem a particularidade de ter sido desenvolvida para aplicação em sensoriamento remoto e consiste em quatro níveis categóricos, composta por Tipo, Grupo, Classe e Subclasse. Na **Tabela 4** é possível observar as categorias de tipo e grupo, onde o porte da vegetação é o principal critério de separação dos grupos.

Tabela 4: Proposta de classificação de tipologia de Caatinga, adaptado de Chaves et al. (2008).

Tipo	Grupo
Vegetação Natural de Caatinga	Arbóreo (> 4,5m)
	Subarbóreo (>3m e <4,5m)
	Arbustivo (>1,5m e <3m)
	Subarbustivo (<1,5m)

Quanto às classes, Chaves *et al.* (2008) definem que o critério a ser seguido é a ordem decrescente de classes dominantes, quando for possível de serem identificadas, até três níveis. Um exemplo de aplicação das classes pode ser visto na **Tabela 5**, com a apresentação das dez classes do grupo Caatinga Arbórea. Vale ressaltar que todos os grupos têm dez subclasses, resultantes da combinação entre as morfologias predominantes.

Tabela 5: Classes do grupo Caatinga Arbórea, adaptado de Chaves *et al.* (2008).

Grupo	Classe
Arbórea (> 4,5m)	Arbórea
	Arbórea Subarbórea
	Arbórea Arbustiva
	Arbórea Subarbustiva
	Arbórea Subarbórea Arbustiva
	Arbórea Subarbórea Subarbustiva
	Arbórea Arbustiva Subarbórea
	Arbórea Arbustiva Subarbustiva
	Arbórea Subarbustiva Arbustiva
	Arbórea Subarbustiva Subarbórea

As subclasses se referem à porcentagem de cobertura vegetal no substrato e é dividida em muito densa (>80%), densa (>60% e <80%), aberta (>40% e <60%), rala (>20% e <40%) e muito rala (<20%) (CHAVES *et al.* 2008). Além disto, os autores associam os parâmetros de classificação mencionados anteriormente com valores absolutos de Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL) a partir de dados de sensoriamento remoto orbital. Contudo, as classificações anteriores não levam em conta as bases físicas, como características geomorfológicas, que compõem o substrato onde há exploração biológica da flora para a separação das classes de Caatinga. Neste contexto, surge uma classificação mais recente desenvolvida por Cavalcanti (2014), apresentada na **Tabela 6**.

Tabela 6: Classificações de subgrupos de Caatinga e formações associadas segundo CAVALCANTI (2014).

Nome	Descrição
Caatinga Lenhosa	Dominada por elementos lenhosos (árvores e arbustos). A flora não é influenciada por corpos hídricos. Pode ser subdividida em caatinga lenhosa aberta, caso as copas das árvores não se toquem, ou fechada, caso as copas das árvores se toquem ou entrelacem.
Caatinga gramíneo-lenhosa	Vegetação dominada por elementos herbáceos, com presença de indivíduos lenhosos (árvore ou arbustos) esparsos ou em agrupamentos isolados.
Caatinga-parque	Vegetação com a presença de palmeiras e elementos lenhosos da caatinga distribuídos ao longo de um corpo hídrico.
Caatinga rupestre	Vegetação que cresce sobre os lajedos (afloramentos rochosos), normalmente dominada por bromeliáceas e cactáceas.
Formação higrófila	Vegetação que cresce nas proximidades de corpos hídricos e apresenta flora cosmopolita ou introduzida.

4. GEOBIA (Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos)

GEOBIA (Geographic-Object-Based Image Analysis, em tradução livre para o português “Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos”) consiste em uma técnica que ao invés de utilizar uma classificação baseada em pixel, utiliza além desta característica, os segmentos geométricos e variáveis como localização, textura, contexto e relação semântica entre classes ou objetos, com isso, este método se destaca do tradicional pelo fato de considerar uma vasta gama de informações extraídas dos objetos (FRANCISCO e ALMEIDA, 2012). Desta forma, o uso de GEOBIA simula a interpretação visual do ser humano, automatizando a classificação de objetos com características espaciais complexas. Entre diversas características desta técnica, pode-se destacar a capacidade de integrar dados de múltiplas fontes, sua multiescalaridade e a consideração do contexto de cada objeto (HAY e CASTILLA. 2008).

A multiescalaridade é uma característica chave, já que quando há a necessidade de integração de dados de diversas fontes, e consequentemente produzidos em escalas e resoluções distintas, se torna necessária uma metodologia que suporte tal demanda. Isto se relaciona tanto com o uso de dados vetoriais produzidos em escalas distintas, quanto para o uso integrado de sensores de diferentes resoluções espaciais e temporais.

Neste contexto, é possível identificar parâmetros importantes na modelagem do conhecimento das classes em diferentes escalas, sem a necessidade de haver uma relação direta com a escala cartográfica do mapeamento final.

Além disto, o uso de GEOBIA também permite a criação de uma hierarquia entre as classes (LANG, 2008), tornando possível que uma classe derive de outras, herdando informações das classes da qual vieram. Em um bioma com dificuldades técnicas de mapeamento como a Caatinga, o uso de GEOBIA torna-se um facilitador e ao mesmo tempo um filtro para um mapeamento mais eficiente.

Assim, a utilização de GEOBIA depende da disponibilidade, conhecimento ou levantamento de algumas informações sobre o funcionamento do sistema que está sendo analisado ou mapeado, visto que o uso destas relações geossistêmicas serão traduzidas pelo pesquisador para o *software* através de modelos. O processo se constitui em duas etapas principais: a segmentação, onde os objetos são definidos, e a classificação em si, que pode seguir diferentes caminhos. Em GEOBIA é possível estabelecer modelos individualizados por classe, definindo regras de decisão baseadas numa variedade de atributos disponíveis ou customizados (FRANCISCO e ALMEIDA, 2012).

Sobre a etapa da segmentação, LANG (2008) destaca que em casos de imagens de alta resolução o pixel é muito menor do que o objeto de interesse e, assim, a segmentação acaba sendo um processo análogo à regionalização, transformando um grupo de pixels em objetos que poderão ser trabalhados. É evidente que algumas das características que o autor destaca para a segmentação de imagens de alta resolução podem ser extrapoladas para imagens de média resolução. Contudo, LANG (2008) ressalta que apesar da segmentação ser uma etapa importante do processo metodológico em GEOBIA, não pode ser pensada como uma etapa exclusiva ou isolada.

Outra vantagem do uso de GEOBIA em relação a outros métodos de classificação é a possibilidade de incorporação de dados temáticos e vetoriais no processo de modelagem das classes, sendo possível integrar conhecimentos prévios das mais diversas fontes para a modelagem de classes de maior complexidade.

Neste contexto, o GEOBIA se torna uma ferramenta ideal na análise das organizações espaciais por levar em conta, entre outros fatores, as relações entre o objeto e seu entorno. Desta forma, passa-se a considerar o contexto em que ele está inserido, minimizando gastos de tempo na realização de edições manuais.

5. Integração entre o conhecimento geossistêmico e GEOBIA

Geossistema é o produto da interação entre geomorfologia, vegetação, clima, relevo, fauna, solo, entre outros, ou seja, é resultado de uma inter-relação entre o potencial ecológico, exploração biológica e ação antrópica (BERTRAND, 2004). Logo, o conhecimento das relações sistêmicas entre os elementos da paisagem é fundamental para a utilização bem-sucedida de GEOBIA, quando o objetivo de mapeamento são paisagens, já que não serão utilizadas apenas características espectrais da imagem, mas outros critérios semânticos.

Um exemplo disso é o uso de imagens de pelo menos duas datas, uma para o período úmido e outra para o período seco, a fim de identificar a variação anual do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*, em tradução livre para o português, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) ou de qualquer parâmetro que seja sensível à perda de folhas, uma das características mais significativas na diferenciação da caatinga. Desta forma, na aplicação de sensoriamento remoto em uma região semiárida, toda vegetação que perde folhas de forma expressiva no período seco, tem uma alta probabilidade de ser caatinga.

O procedimento acima também permite diferenciar a vegetação de caatinga de algumas comunidades de flora introduzida, como é o caso da algaroba (*Prosopis juliflora*), que não perde as folhas no período seco, por ser manejada em áreas próximas de corpos hídricos, como rios, que mesmo que estejam com seus leitos secos apresentam acúmulo de água subterrânea. Pela classificação de CAVALCANTI (2014), esta classe seria definida como Formação Higrófila, e de todas as classificações apresentadas, esta é a única na qual há uma classe destinada à vegetação introduzida ou cosmopolita. Contudo, o exemplo anterior não é suficiente para responder por toda a complexidade da caatinga, sendo apenas uma aproximação da utilização da dinâmica ambiental inerente ao bioma, em apoio à classificação de imagens de sensoriamento remoto orbital.

Para a diferenciação das subclasses de caatinga pode-se utilizar diversos critérios geossistêmicos. Para tal, faz-se necessário definir uma tipologia de caatinga que possa adotar e parametrizar descritores para a classificação. Com isto, não basta apenas reconhecer as relações sistêmicas, é preciso organizar uma base de dados que permita aplicar

estas relações através de GEOBIA, como é o caso da pluviosidade, solo, geologia, geomorfologia, hidrografia, entre outros.

Pode-se melhor exemplificar a partir da separação das classes Caatinga Lenhosa e Caatinga- Parque, pela classificação de Cavalcanti (2014). Ambas as classes apresentam vegetação lenhosa, e a assinatura espectral de ambas é muito similar. A partir do conhecimento das relações geossistêmicas, sabe-se que a Caatinga-Parque, pela própria definição da classe, só pode ocorrer em margens de corpos hídricos. Assim, além da assinatura espectral pode-se utilizar a localização e contexto dos objetos em relação aos corpos hídricos como um dos critérios semânticos para a modelagem da classe.

Outro exemplo é a modelagem da classe Caatinga Rupestre que, pela definição de Cavalcanti (2014), é predominantemente composta por bromeliáceas e cactáceas e cresce sobre afloramentos rochosos residuais conhecidos localmente como lajedos. Estes afloramentos são predominantemente corpos ígneos de granitoides, encaixantes em rochas mais antigas, que a partir de processos geomorfológicos persistem no relevo como inselbergs. Logo, é possível modelar essa classe a partir de dados temáticos de geologia e geomorfologia, associados à assinatura espectral de vegetação rasteira.

A classificação proposta por Chaves *et al.* (2008) tem um enorme potencial, além de levar em conta o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL), além de permitir identificar áreas degradadas em diversos níveis. Entretanto, esta metodologia deixa pouco espaço para utilização de dados de múltiplas fontes, além da integração de conhecimentos sistêmicos. Fora isto, esta classificação torna onerosos os levantamentos de campo, já que exige medições, o que torna validações utilizando informações de campo demoradas e custosas. Além disto, o uso de sensores de média ou baixa resolução espacial dificultaria o aprofundamento nas divisões hierárquicas da classificação de Chaves *et al.* (2008). Já que neste caso provavelmente aumentar-se-ia o quantitativo de erro, visto que cada pixel abrange uma área maior do que os parâmetros utilizados para a definição de algumas subdivisões das classes. Contudo, estudos de caso e comparações aplicadas tornam-se necessárias a fim de obter informações quantitativas e qualitativas mais concisas.

Todavia, a metodologia proposta por Chaves *et al.* (2008) pode ser integrada à classificação de Cavalcanti (2014), permitindo estimar o porte vegetal e conseqüentemente estabelecer parâmetros para modelagem do conhecimento das classes proposta pelo segundo autor, além de fornecer informações sobre o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa, que dependendo do objetivo do trabalho é um parâmetro chave.

6. Considerações Finais

Existe uma diversidade de classificações de caatinga, tendo-se abordado apenas uma parte neste trabalho. A escolha de uma determinada classificação está intimamente relacionada à ferramenta utilizada para mapeamento. Assim, utilizando-se imagens orbitais e dados temáticos em GEOBIA, busca-se uma classificação onde relações espaciais, resposta espectral e interpretação visual possam ser adotadas em conjunto.

As classificações de Andrade-Lima (1981) e Veloso e Góes-Filho (1982) levam em conta espécies presentes na comunidade vegetal, o que dificulta a aplicação em imagens orbitais, principalmente de média resolução espacial, sendo muitas vezes impossível a distinção destas espécies.

Já as tipologias propostas por George Eiten (IBGE, 2012) e Chaves *et al.* (2008) valorizam a fisionomia vegetal, sendo a última desenvolvida para a aplicação em sensoriamento remoto. Contudo, estas classificações carecem de critérios abióticos na descrição das tipologias, além de permitirem pouca margem de integração de dados temáticos.

A classificação de Chaves *et al.* (2008) pode ser aplicada em GEOBIA, embora não seja uma escolha aplicável as variadas resoluções espaciais de sensores. Embora seja uma ótima classificação, dependendo do objetivo do trabalho e dos sensores utilizados.

Sendo assim, uma classificação compatível com o uso de GEOBIA é potencializada por relações de contexto espacial, pela incorporação de dados de diversas fontes e pela multiescalaridade na definição das classes, como é o caso da classificação de Cavalcanti (2014), onde o porte da vegetação, elementos da paisagem e observações tanto de interpretação visual de imagens nas mais diversas resoluções espaciais, como em observações de campo, se associam na diferenciação das tipologias. A tipologia de Cavalcanti (2014) define ainda uma classe destinada à vegetação cosmopolita e introduzida, que é o caso da espécie invasora algaroba (*Prosopis juliflora*) e de enclaves de brejos alagados comuns em algumas áreas do semiárido, o que torna esta classificação mais completa, do ponto de vista sistêmico, perante as complexidades da região.

Outro ponto importante é a aplicabilidade desta classificação através das mais diferentes resoluções espaciais de sensores, sendo aplicáveis tanto em sensores de alta, média ou baixa resolução. Além disto, é uma classificação

simples de se discernir em campo, o que facilita a logística de validação do mapeamento. Contudo, não há impeditivos para a associação de duas ou mais classificações, a classificação de Chaves *et al.* (2008) e Cavalcanti (2014) são bons exemplos de classificações com potencial de se complementarem. Onde a valorização da morfo-estrutura da vegetação da primeira classificação pode subsidiar a modelagem de classes na segunda, e quiçá haja uma relação inversa.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Domínios da Natureza**. São Paulo. Ateliê Editorial. 2003
- ANDRADE-LIMA, D. **The Caatinga Dominion**. Revista Brasileira de Botânica. v.4: p.149-153. 1981
- BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. RAEGA. n. 8. p. 141-152. 2004.
- CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de Paisagens**. São Paulo. Oficina de Textos. 2014
- CHAVES, I. de B.; LOPES, V. L.; FOLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. **Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga**. Revista Caatinga. vol. 21. n. 2. p.204-213. 2008.
- DUARTE, S. M. A. **O Desastre da Desertificação no Município de Taperoá, Estado da Paraíba, Brasil**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande
- FRANCISCO, C. N. ALMEIDA, C.M. **Data Mining Techniques and GEOBIA Applied to Land Cover Mapping**. In: Proceedings of the 4th GEOBIA. p.89-94. 2012.
- HAY, G.J., CASTILLA, G. **Geographic object-based image analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline**. In: Blaschke, T., Lang, S., Hay, G.J. (eds.), Object-Based Image Analysis. Springer, Berlin, Germany, pp. 75–89. 2008
- IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro. IBGE. 2012
- LANG, S. **Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity**. In: BLASCHKE, T. LANG, S. HAY, G. J. Object-Based Image Analysis: Spatial for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications. 2008.
- LEAL, R. I; TAMBARELLI, R.I.; CARDOSO DA SILVA, J. M. **Ecologia e Conservação da Caatinga: Uma introdução ao desafio**. In: Ecologia e conservação da caatinga. Editores: LEAL, I. R., TABARELLI, M., CARDOSO DA SILVA J. M. 2003
- LIMA, R. C. C. **Avaliação de desertificação no Semiárido Paraibano Utilizando Geotecnologias**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual da Paraíba.
- NAUE, C. R.; GALVINCIO J. D.; MOURA, M. S. B.; COSTA, V. S. O. **Resposta Espectral de Espécies da Caatinga**. In: Simpósio de Mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro. Juazeiro. Embrapa Semiárido. 2011.
- PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São Paulo. Oficina de Textos. 2012
- PRADO, D. E. **As Caatingas da América do Sul**. In: Ecologia e conservação da caatinga. Editores: LEAL, I. R., TABARELLI, M., CARDOSO DA SILVA J. M. 2003
- VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. **Fitogeografia brasileira: classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical**. Salvador. IBGE. 1982.