



PEDRO HENRIQUE QUARIGUASY SOARES

**HIERARQUIZAÇÃO DE APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO NO SETOR
SUCROENERGÉTICO, POR MEIO DE SISTEMA DE ANÁLISE DE DECISÃO
MULTICRITÉRIO (AHP Analytic Hierarchy Process)**

CAMPINAS

2012



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

PEDRO HENRIQUE QUARIGUASY SOARES

**HIERARQUIZAÇÃO DE APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO NO SETOR
SUCROENERGÉTICO, POR MEIO DE SISTEMA DE ANÁLISE DE DECISÃO
MULTICRITÉRIO (AHP Analytic Hierarchy Process)**

Orientador: Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha

Co-Orientador: Prof. Dr. Rubens Augusto Camargo Lamparelli

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre na área de concentração Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável.

Errata- onde se lê: "...obtenção do título de Mestre na área de Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável."

Leia-se: "...obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável."

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNO PEDRO HENRIQUE QUARIGUASY SOARES E ORIENTADA PELA PROF.DR.JANSLE VIEIRA ROCHA

Assinatura do Orientador

CAMPINAS

2012

Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA
Matricula 29041-2
Coordenador de Pós-Graduação
FEAGRI/UNICAMP

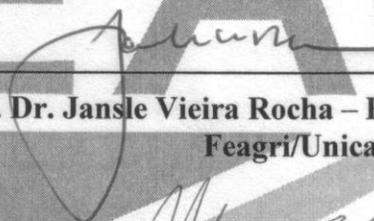
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

So11h	<p>Soares, Pedro Henrique Quariguasy Hierarquização de aplicações do sensoriamento remoto no setor sucroenergético por meio de sistema de análise de decisão multicritério (AHP - Analytic Hierarchy Process) / Pedro Henrique Quariguasy Soares, 1967-. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.</p> <p>Orientador: Jansle Vieira Rocha Coorientador: Rubens Augusto Camargo Lamparelli. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.</p> <p>1. Sensoriamento remoto. 2. Agroindústria canavieira. 3. Processo decisório por critério múltiplo. I. Rocha, Jansle Vieira, 1961-. II. Lamparelli, Rubens Augusto Camargo. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.</p>
-------	---

Título em Inglês: Hierarquization of remote sensing application in sugar cane sector, through multicriteria decision analysis system (AHP - Analytic Hierarchy Process)
Palavras-chave em Inglês: Remote sensing, Sugarcane industry, Multiple criteria decision making
Área de concentração: Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável
Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola
Banca examinadora: Luiz Henrique Antunes Rodrigues, Mauricio dos Santos Simões
Data da defesa: 30-08-2012
Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Pedro Henrique Quariguasy Soares**, aprovado pela Comissão Julgadora em 30 de agosto de 2012, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

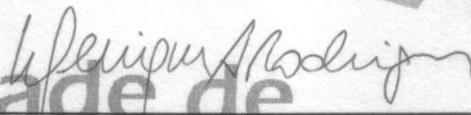
FEAGRI



Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp



Dr. Maurício dos Santos Simões - Membro Titular
Usina São Martinho



Faculdade de Engenharia Agrícola
Unicamp
Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues – Membro Titular
Feagri/Unicamp

À minha Mãe, Vincenzina Abbate Soares e,
meus distintos irmãos,
Cecilia Helena Soares Porto,
Ana Beatriz Soares
Paulo Vitor Quariguasy Soares

OFEREÇO

Ao meu querido e amado filho Pedro Van Tol Soares
e à memória de meu Pai, Dr. Geraldo Quariguasy Soares

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em particular ao Laboratório de Geoprocessamento - Labgeo, pela oportunidade de realizar mais uma etapa de meus estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha, pela amizade conquistada e paciência no decorrer deste período de aperfeiçoamento acadêmico e ao co-orientador, Prof. Dr. Rubens Augusto Camargo Lamparelli, pelos comentários sempre objetivos e pragmáticos.

À banca da qualificação, Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues (Prof. Lique), pelos comentários assertivos e críticos, mas profundamente necessários e Prof. Dr. Marco Tulio Ospina Patino, pelas observações sistêmicas ao projeto de pesquisa.

Ao meu amigo Rafael Aldighieri Moraes, pela amizade, companheirismo e confiança cultivada além de ajuda indispensável no dia-a-dia de trabalho.

Ao meu companheiro Deus, que me guia e orienta nesta longa e interessante jornada da vida.

Muito Obrigado!

RESUMO

Atualmente o Sensoriamento Remoto tem avançado a sua utilização em diversos segmentos da sociedade acadêmica e empresarial, assim como, das iniciativas públicas e privadas, haja vista a quantidades de satélites já em órbita e os lançamentos contínuos dos mais diversos tipos de sensores remotos. Diversas nações têm como objetivo a independência geoespacial, seja por questões de segurança nacional ou estratégias de política de desenvolvimento econômico, razão pelo qual os vultosos valores investidos em inovação e tecnologias geoespaciais. Neste sentido, podemos citar inúmeras aplicações do sensoriamento remoto, como subsídio ao planejamento de políticas públicas de uso e ocupação terrestre, fiscalização governamental de fronteiras, planejamento ambiental, mapeamentos e análises de cobertura, análise da dinâmica espaço-temporal de uso e ocupação de solos, de florestas, de agricultura, dentre os mais diversos. Em relação às questões das aplicações do sensoriamento remoto na agricultura, vale ressaltar a importância do segmento sucroenergético nacional como fonte de diversas riquezas, como a produção de açúcar, etanol, bioeletricidade e derivados, e ainda contribuindo com uma matriz energética renovável. Desta forma, o presente trabalho tem a finalidade de hierarquizar as aplicações do Sensoriamento Remoto no setor sucroenergético, assim como, avaliar as restrições de utilização das geotecnologias no segmento. Para efeito didático da pesquisa, assim como, para o diagnóstico mercadológico foi classificado nesta pesquisa três grandes e principais grupos de a utilização das geotecnologias, sendo, aplicações em na gestão agrônômica dos fatores de produção, aplicações nas ambientais e, no suporte à gestão dos negócios. No grupo de análise de restrições foram elencados três principais fatores atuais de restrição de utilização: conhecimento de sensoriamento remoto, custos das tecnologias de sensoriamento remoto e a disponibilidade de recursos humanos para o setor sucroenergético. O presente trabalho foi realizado com uma pesquisa de opinião com especialistas junto aos principais “players” do segmento sucroenergético, nas áreas de produção das regiões Centro-sul. A representatividade da pesquisa considerando a safra 2012/2013, foi de aproximadamente 35% da produção total, que tem como previsão 448 milhões de toneladas (Conab, 2012). Como ferramenta de análise e suporte às informações provenientes das pesquisas de opinião, foi utilizado o método multicritério AHP – Analytic Hierarchy Process. Os resultados apresentados nesta pesquisa hierarquizam como principais aplicações do sensoriamento remoto: Aplicações Agrícolas, Meio Ambiente e Gestão de Negócios; e como principais restrições: Conhecimento da Tecnologia do sensoriamento remoto, Disponibilidade de Recursos Humanos e Custos das Tecnologias do Sensoriamento Remoto. Com estes resultados, foi possível elencar e adequar os esforços acadêmicos e comerciais para subsidiar o aumento de utilização das geotecnologias, assim como, diagnosticar suas restrições, para aperfeiçoar e estimular alternativas de uso e aplicação.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Sistemas de Análise Multicritério MCDA, AHP (Analytic Hierarchy Process); Sucoenergético, Agronegócio.

ABSTRACT

Currently, remote sensing has advanced its use in various segments of the academic society and business, as well as, the public and private initiatives, given the amounts of satellites already in orbit and the ongoing launches of several types of remote sensors. Several nations have the goal of geospatial independence, either by national security issues or strategies of economic development policy, which is why the huge amounts invested in innovation and geospatial technologies. In this sense, we can cite numerous applications of remote sensing, as planning policies for land use and occupation, government oversight of borders, environmental planning, mapping and analysis of land use, analysis of the spatial-temporal dynamics of soil use and land use, forests, agriculture, among many others. Regarding the questions of applications of remote sensing in agriculture, is worth emphasizing the importance of national energy sector sugar as a source of various wealth, as the production of sugar, ethanol, bioelectricity and sub products, and also contributing to a renewable energy matrix. Thus, this study aims to identify and prioritize the main applications of Remote Sensing in the sugar energy sector, as well as, assess the constraints to increase use of geotechnologies. For didactic purposes of this research, as well as, marketing for the diagnosis was classified in this study three main groups of geotechnologies uses, applications in the management of agronomic factors of production, environmental applications, and support of business management. In the group analysis of constraints were listed three major factors restricting current use, such as remote sensing knowledge and costs of remote sensing technologies, as well as, the availability of Human Resources for the energy sector sugar. This work was carried out with a survey with experts with the major players in the segment of sugar energy in the Mid-South production areas. The representativeness of the survey considering 2012/2013 was approximately 35% of total production, which is forecasting 448 million tons (Conab, the first survey - April 2012). As a tool of analysis and supporting information from polls was used multicriteria method AHP - Analytic Hierarchy Process. The results presented in this research prioritize the main applications of remote sensing as Applications for Agriculture, Environment and Business Management, and as major constraints are: Knowledge of Remote Sensing Technology, Human Resource Availability and Costs of Remote Sensing Technologies. With these results, it was possible to list and tailor academic and commercial efforts in order to support geotechnologies use, as well as, diagnosing its constraints, to improve and encourage alternatives for use and application.

Keywords: Remote Sensing, Multi-criteria Decision Analysis-MCDA, AHP (Analytic Hierarchy Process), Sugar-Energy Sector Agribusiness.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Contextualização da Agricultura Nacional.....	3
2.2 A utilização do Sensoriamento Remoto no Setor Sucroenergético.....	4
2.3 Metodologias e Sistemas de Suporte à Decisão – MCDA.....	6
2.3.1 Principais Métodos de Análise Multicritério.....	7
2.3.2 Estruturação dos Sistemas de Decisão.....	10
2.3.3 MCDA e Suporte à Decisão.....	12
2.3.4 Caracterização do Método AHP.....	13
2.3.5 Hierarquização dos Critérios de Decisão.....	14
2.3.6 Estruturação e Formação da matriz de Análise.....	14
2.4 Identificação das principais aplicações do Sensoriamento Remoto.....	15
2.4.1 Aplicações em Agricultura.....	15
2.4.2 Aplicações em Meio Ambiente.....	17
2.4.3 Aplicações na Gestão de Negócios	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1 Área de Estudo.....	20
3.2 Sistemática da pesquisa e coleta de dados	23
3.2.1 Levantamento de dados e a pesquisa de opinião.....	23
3.2.2 O Software – Expert Choice®	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1 As Aplicações e Restrições do Sensoriamento.....	30
4.2 Análises – Perfil dos entrevistados e relações com hierarquia dos resultados.....	35
4.3 Considerações Finais.....	36
5. CONCLUSÕES.....	39
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Potencialidades e Ambiente de utilização da Geointeligência	5
Figura 2 - AHP - Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão.....	9
Figura 3 - Escala contínua para elaboração da matriz de comparação pareada.....	15
Figura 4 - Quadro demonstrativo para processos de Planejamento e Decisão.....	19
Figura 5 – Demonstrativo do Questionário on line – Website AHP/Java.....	24
Figura 6 - Demonstrativo do Questionário – Objetivos, Critérios e Restrições.....	24
Figura 7 - Demonstrativo do Questionário – Respostas Escala de Saaty.....	26
Figura 8 - Software Expert Choice®, licença de usuário	27
Figura 9 - Software Expert Choice®, Arquitetura do Sistema.....	28
Figura 10 - Gráfico gerado pelo Expert Choice®, resultado final.....	31
Figura 11 - Gráfico gerado pelo Expert Choice®, Restrições (Agrícola).....	32
Figura 12 - Gráfico gerado pelo Expert Choice®, Restrições (Meio Ambiente).....	33
Figura 13 - Gráfico gerado pelo Expert Choice®, Restrições (Gestão de Negócios.....	33
Figura 14 - Demonstrativo dos Resultados e Critérios da pesquisa.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala Fundamental de Saaty.....	10
Tabela 2 – Demonstrativo de representatividade/pesquisa (produção, empresas e cargos).....	20
Tabela 3 – Matriz de comparação paritária – Critérios.....	25
Tabela 4 – Matriz de comparação paritária – Alternativas / Restrições.....	26
Tabela 5 – Software Expert Choice®, Resultado de Inconsistência – inicial.....	29
Tabela 6 – Software Expert Choice®, Resultado de Inconsistência – Final.....	30
Tabela 7 – Demonstrativo resultados (classificação empreendimento e perfil de entrevistados).....	35

1. INTRODUÇÃO

Atualmente diversos empreendimentos empresariais do segmento agroindustrial brasileiro necessitam um significativo embasamento acerca das decisões a serem tomadas frente ao dinamismo das atividades de produção, e ainda acentuadas pelas importantes questões relacionadas ao Meio Ambiente. O setor sucroenergético, com participação destacada no agronegócio brasileiro, tem por características ocupar extensas áreas, além de apresentar grande dinamicidade nas operações agrícolas, sendo bastante adequado o uso de sistemas baseados em sensoriamento remoto. Segundo informações do primeiro levantamento realizado em abril de 2012, pela Conab, a área total agrícola de produção da lavoura de cana de açúcar, é de 8,5 milhões de hectares, deste montante, 51,66% estão concentrados no estado de São Paulo. No entanto, o uso das Geotecnologias no setor ainda não atingiu o seu pleno potencial em função da adversidade da maturidade tecnológica das empresas. Importante frisar que este cenário tende a ser revertido em horizonte próximo em função das recentes joint ventures ocorridas com empresas do segmento petroquímico, que tem a gestão da produção como fatores de diferenciação de resultados econômico-financeiros.

Por outro lado, diversas decisões são atualmente estratégicas e em alguns momentos restritivas, como, por exemplo, assuntos relacionados ao meio ambiente, podendo em algumas situações comprometer severamente os resultados de investimentos das organizações.

Os métodos e sistemas de apoio à decisão auxiliam os profissionais a tomarem decisões estruturadas sobre várias óticas operacionais, pois subsidiam significativas informações, em formato adequado, para que seja possível identificar, calcular, avaliar, sintetizar e comparar antes de tomar as decisões necessárias.

Os sistemas de apoio à decisão permitem lidar com problemas de grande complexidade, e os tomadores de decisão podem especificar e modelar os processos de decisão e finalmente tomar as decisões mais consistentes e focadas em resultados efetivos.

Desta forma, com o sensoriamento remoto aliado ao SIG (Sistemas de Informações Geográficas), é possível a captura e o processamento de um volume expressivo de dados que combinados aos sistemas de análise multicritério, permitem que os dados sejam analisados e transformados em inteligência geoespacial.

Para analisar as atuais utilizações das tecnologias do sensoriamento remoto, o Método AHP (Analytic Hierarchy Process) hierarquiza as principais aplicações na agricultura, meio ambiente e gestão de negócios. Dessa forma, serão integrados na pesquisa os conceitos de Geointeligência, onde esta doutrina, segundo Diesel (2009), é caracterizada pela interação de métodos e técnicas gerenciais e computacionais aplicadas a temas relacionadas ao espaço geográfico, como segurança, preservação, produção, propriedade, economia, sociologia e política.

A hipótese deste trabalho é que por meio do método de análise multicritério, utilizando-se o AHP (Analytic Hierarchy Process), é possível hierarquizar as principais aplicações e restrições do uso de sensoriamento remoto no setor sucroenergético, nas áreas de produção agrícola, meio ambiente e gestão de negócios.

Objetivos Gerais

Hierarquizar as aplicações do sensoriamento remoto no setor sucroenergético, para possibilitar o suporte às decisões de geointeligência na cadeia produtiva deste segmento e aplicar técnica que possibilite a identificação das aplicações das geotecnologias no segmento sucroenergético, além de avaliar quais as demandas e tendências tecnológicas para o sensoriamento remoto.

Objetivos Específicos

Hierarquizar:

1. As principais aplicações do sensoriamento remoto, sendo considerados três critérios: aplicações em agricultura, meio ambiente e gestão de negócios.
2. As principais limitações da utilização do sensoriamento remoto no setor sucroenergético, em cada um dos critérios, considerando três restrições: conhecimento e custos da tecnologia do sensoriamento remoto e disponibilidade de recursos humanos.
3. Qualificar os mercados potenciais das aplicações do sensoriamento remoto, no setor sucroenergético.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contextualização da agricultura nacional

A agricultura brasileira é um dos setores econômicos mais estratégicos para a consolidação do programa de estabilização da economia desde meados da década de 1990. A grande participação e o forte efeito multiplicador do complexo agroindustrial no PIB, o alto peso dos produtos de origem agrícola (básicos, semi-elaborados e industrializados) na pauta de exportações e a contribuição para o controle da inflação são exemplos da importância da agricultura para o desempenho da economia brasileira nos próximos anos e décadas (FELIPE, 2006).

A agropecuária nacional representa cerca de 12% do PIB nacional, considerando-se apenas o valor da produção. Quando se usa o conceito moderno de agribusiness (que abrange a soma total das operações de produção e distribuição de insumos e novas tecnologias agrícolas, produção propriamente dita, armazenamento, transporte, processamento e distribuição dos produtos agrícolas e seus derivados), a participação do complexo agroindustrial alcançou mais de 35% do PIB, evidenciando o efeito multiplicador que esse setor exerce sobre a economia como um todo e sobre o interior do País em particular (GILHOTO et al., 2000).

Atualmente o interesse em obter informações sobre produção de alimentos passou de “lobby” a uma necessidade uma vez que, o consumo de alimento é sempre crescente. Além disso, é necessário obter informações precisas e em tempo hábil, para que órgãos governamentais e de iniciativa privada possam tomar medidas de ação rápida para importar ou exportar o excedente da produção de determinado produto agrícola. A tecnologia de sensoriamento remoto apresenta um grande potencial para ser utilizada na agricultura. Através desta técnica, é possível obter informações sobre: estimativa de área plantada, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, além de fornecer subsídios para o manejo agrícola em nível de país, estado, município ou ainda em nível de microbacia hidrográfica ou fazenda. (RUDORFF, 2002).

Assim, a possibilidade de unir as aplicações do sensoriamento remoto, associado à geointeligência, nas atividades de produção agrícola, na gestão dos recursos ambientais e na administração estratégica dos empreendimentos privados ou públicos, pode definitivamente contribuir para resultados mais estruturados em toda a cadeia primária de produção.

2.2 A utilização do sensoriamento remoto no setor sucroenergético

Segundo Giannotti (2001), o papel do Sensoriamento Remoto na agricultura tem sido atribuído, principalmente, ao monitoramento e mapeamento de áreas agrícolas através da utilização de imagens orbitais. A adequação do Sensoriamento Remoto a monitoramentos e mapeamentos do ambiente advém da flexibilidade proporcionada pela consideração dos aspectos espaciais e temporais em suas análises (Walker e Mallawaarachchi, 1998). De certa forma, o Sensoriamento Remoto aliado ao Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite o dinamismo do ambiente de estudo, através da integração de diversos tipos de dados em diferentes momentos no tempo.

Em referência à análise multitemporal, a dinâmica do uso das áreas agrícolas permite apresentar alta variabilidade temporal seja pela sucessão de diferentes culturas em uma mesma área, seja pelos diferentes estágios fenológicos em uma mesma cultura, faz-se assim, muito importante a análise multitemporal dos dados provenientes de áreas agrícolas com o Sensoriamento remoto. Não obstante, é objetivo o fato das análises de uso e ocupação serem diretamente impactadas pelas datas de aquisição e pelo número de repetição de coleta de dados, ou ainda pelo número de coberturas das áreas imageadas de forma sequencial (Giannotti, 2001). Béngué et al. (2008) analisando a variabilidade do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dentro de um talhão de cana-de-açúcar concluíram que com uma única data de imagem não é possível fazer um diagnóstico do estado da cultura. Além disso, é necessário conhecer o ciclo da cultura para interpretar de forma correta a variabilidade espacial.

Rudorff et al. (2005) e Rudorff et al. (2010), utilizando imagens do sensor TM (Thematic Mapper) e ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) a bordo dos satélites Landsat-5 e Landsat-7 com 30 metros de resolução espacial, mapearam a cana-de-açúcar na região centro sul do Brasil e concluíram que foi possível mapear a cultura, e classificar áreas de expansão e reforma, ficando atento ao período da imagem, onde outras culturas têm o mesmo comportamento espectral. Segundo Aguiar et al. (2008), a seqüência temporal de imagens adquiridas entre abril e dezembro permite identificar as áreas de cana colhidas sem queima e, portanto, distingui-las das áreas de cana colhidas com queima, utilizando imagens Landsat-5.

De modo a separar variedades de cana-de-açúcar, Galvão et al (2005), utilizando dados do satélite EO-1 Hyperion, obtiveram uma precisão de classificação de 87,5% o que demonstrou o poder discriminatório do modelo utilizado para diferenciar as variedades de cana-de-açúcar com refletância similar. Porém, são necessários testes em novas áreas para confirmar o resultado.

Diversas são as possibilidades de utilização do Sensoriamento remoto, onde é possível elucidar, a administração dos fatores de produção na agricultura, sendo possível desde as análises de dimensionamento dos recursos agrícolas envolvidos, utilizado nos diversos tipos de mapeamentos, monitoramento e análise da evolução das lavouras e também no planejamento logístico, além de outras finalidades de uso. O sensoriamento remoto aliado às técnicas dos SIG tornam-se importante ferramenta de análise e prognóstico de produtividade agrícola e como instrumento de gestão de políticas agrícolas, para demandas em grandes escalas territoriais. Na Figura 1, podem ser observados, de forma sistemática, as diversas aplicações das tecnologias de sensoriamento remoto.

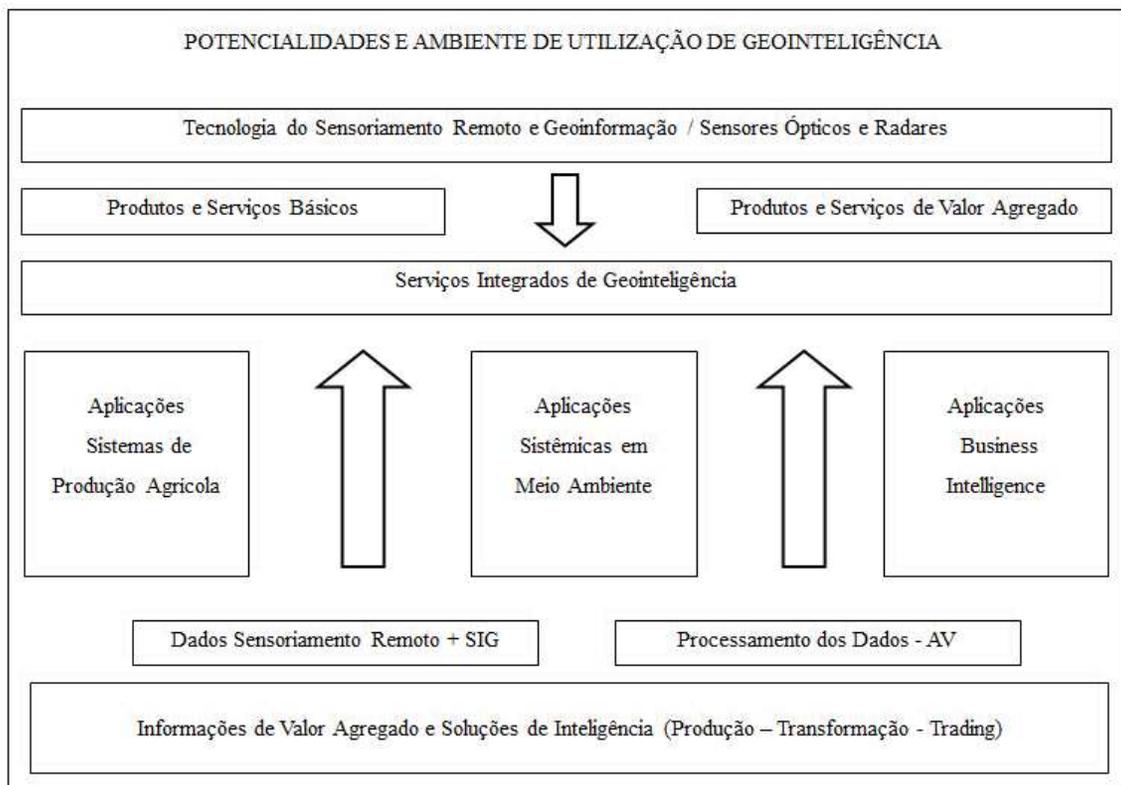


Figura 1 – Potencialidades e Ambiente de utilização da Geointeligência.

2.3 Metodologias e sistemas de suporte à decisão – MCDA

O processo de civilização humana tem como um dos princípios a tomada de decisões no sentido de adaptação a cada nova situação. Em alguns momentos, na história da civilização humana, ocorreram situações que não foram cuidadosamente definidas e, portanto, decididas de forma questionável.

Segundo Banna e Costa (1992) as metodologias multicritérios propuseram a adoção de múltiplos aspectos para avaliar as ações disponíveis. Surgem assim as metodologias de análise de decisão multi-criterial (MCDA), basicamente na Europa, cujo objetivo básico é o de gerar conhecimentos aos decisores, através de ferramentas (modelos) baseadas em seus sistemas de valor.

As metodologias MCDA caracterizam-se principalmente pela capacidade de analisar problemas complexos, incorporando critérios tanto quantitativos como qualitativos, e que, muitas vezes, são conflitantes entre si. Por outro lado, baseadas no construtivismo, procura também buscar de forma bastante pragmática suporte em termos de construção de conhecimento para os envolvidos no processo decisório.

Segundo Holz (1999), a escola européia de MCDA, apesar dos diversos enfoques ainda existentes, acolhe com atenção o seguinte grupo de convicções básicas: 1) a onipresença da subjetividade e interpenetrabilidade com a objetividade no processo decisório; 2) o paradigma da aprendizagem pela participação, e o construtivismo. Isto no entanto, não significa que reina a unanimidade entre os praticantes e cientistas do campo científico decisório. Conhecer as diversas linhas de pensamento é uma tarefa que cabe ao estudante deste campo do conhecimento humano, para que possa, à luz da sua visão da realidade, optar pelo que é mais adequado.

Ainda, pode-se afirmar que as metodologias MCDA orientam, de forma bastante clara, o decisor a descobrir a solução de melhor compromisso para seu problema. Percebe-se, ao utilizar-se uma metodologia MCDA, não existir uma racionalidade única quando se defronta com um problema complexo, haja vista que os atores trazem valores/objetivos próprios, e as ações têm suas características. Isto tudo em uma forma bastante confusa que só será entendida mais

claramente à medida que o problema vai sendo estruturado de acordo com o pensamento do decisor.

Por sua vez, a fase de avaliação tem por fim a modelagem do problema, utilizando-se de métodos multicritérios, de maneira a oferecer ao decisor condições e opção de escolha entre as ações, levando-se em conta as consequências de sua implantação segundo os diversos pontos de vista do decisores. Estas ações podem ser avaliadas localmente, em cada ponto de vista, ou ainda, podem ser avaliadas globalmente, agregando-se suas performances locais (Roy, 1985).

Os métodos MCDA aparecem como uma opção para realização desse propósito. Eles provêm um maior entendimento do contexto multidisciplinar do processo decisório; efetuam a análise da decisão e testam a sua robustez; recomendando o curso de ações ou selecionam a melhor ação a ser implementada; validam a análise da decisão e organizam as informações para decisões futuras, (Gomes, 1998 apud Naves, 2008).

Desta forma, diante a variedade de métodos multicritério existentes e da multiplicidade de características inerentes de cada um, torna-se imprescindível selecionar aquele que melhor se adequem à demanda.

2.3.1 Principais métodos de análise multicritério

Basicamente duas escolas de pensamento foram desenvolvidas para os métodos relacionados a decisões multicritérios: a Escola Francesa e a Escola Americana.

Métodos da Escola Francesa ou Europeia

Os métodos ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) desenvolvidos por Roy (1985) tiveram quatro desdobramentos: Electre I, II, III e IV e são considerados como 12 métodos de superação, baseados em relações de classificação binária, onde, de acordo com as preferências do Decisor e pressupondo-se qualidade da avaliação, pode-se admitir que uma ação “a” é tão boa, melhor ou pior que uma outra “b”. Essa família de métodos permite a inclusão da incomparabilidade e da intransitividade em seu modelo.

A família ELECTRE é composta de métodos baseados em relações de superação para decidir sobre a determinação de uma solução, que mesmo sem ser ótima pode ser considerada satisfatória, e obter uma hierarquização das ações. Eles se sustentam em três conceitos fundamentais: concordância, discordância e valores-limite, utilizando um intervalo de escala para as relações-de-troca na comparação aos pares das alternativas (GONÇALVES, 2001).

Outro método da Escola Francesa é o método Prométhée (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) que utiliza comparações aos pares para as preferências e a atribuição de pesos para as preferências dos atributos, chamados de critérios. Para as preferências utilizam-se funções pré-definidas que expressam relações: fortes, fracas e intervalos de indiferença, sempre numa escala [0-1]:

- Preferência Forte=1
- Preferência Fraca = entre 0 e 1
- Indiferença = 0

Se a alternativa a resultar preferível a alternativa b, então quando se compara a com b, a receberá uma pontuação entre 0 e 1, e quando se compara b com a, a alternativa b receberá zero pontos. Os valores sempre são estabelecidos no sentido da análise.

Esta abordagem faz uso abundante do conceito de pseudocritério, ou seja, quase critério, já que constrói o grau de superação entre cada par de ações ordenadas levando em conta a diferença de pontuação que essas ações possuem a respeito de cada atributo.

Existe uma família extensa para o método Prométhée assim como para o método Electre.

Métodos da Escola Americana

A Escola Americana desenvolveu nos anos 70 um dos primeiros métodos para a tomada de Decisão Multicritério, chamado método AHP (Analytic Hierarchy Process) que tem como base a representação de um problema complexo através da estruturação hierárquica do mesmo, objetivando priorizar os fatores na análise das diversas alternativas. Esse processo segue quatro etapas básicas: estruturação hierárquica, comparação paritária dos elementos em cada nível do sistema, princípio de priorização e sintetização de prioridades.

A primeira etapa consiste na definição do objetivo global e decomposição do sistema em vários níveis de hierarquia. Esta estruturação possibilita a visualização do sistema como um todo,

bem como interações dos seus componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema (Figura 2).

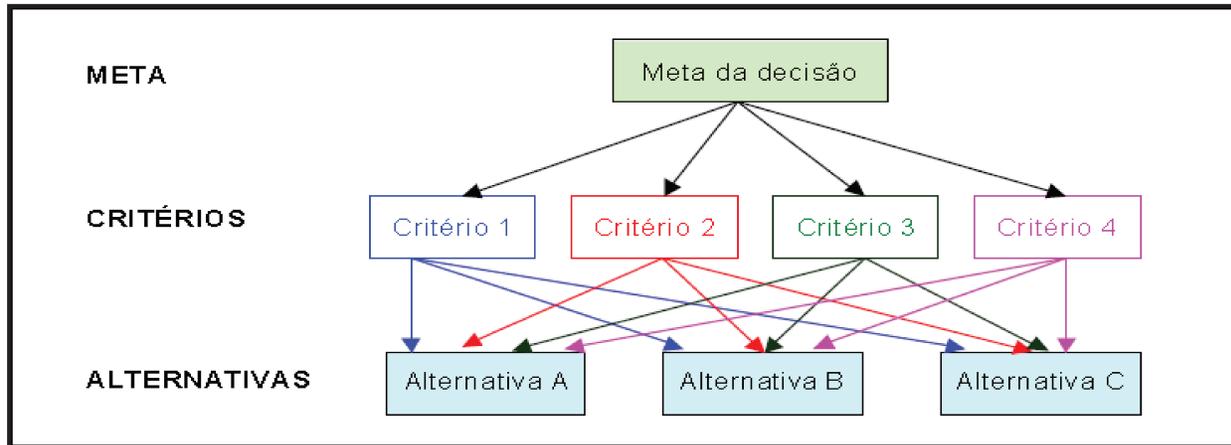


Figura 2 – AHP Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão (Gartner 2001, apud Vilas Boas, 2006).

A hierarquia é composta dos eventos e suas respectivas relações. A comparação por pares se constitui através da atribuição de pesos e um julgamento comparativo onde se procura determinar a importância relativa de cada elemento de um nível hierárquico com relação a cada critério no nível imediatamente superior. Estes pesos são determinados por uma escala de julgamentos sugerida por Saaty (1980) variando de 1, quando os critérios são de mesma importância a 9 para a importância absoluta de um critério sobre o outro (Tabela 1). A partir daí, forma-se então a matriz de comparação paritária (LUCENA, 1999).

Tabela 1 - Escala Fundamental de Saaty (Adaptado de Thirumalaivasan e Karmegam 2001).

Importância	Definição	Descrição
1	Igual Importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância Absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2 - 4 - 6 - 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Através da matriz de comparação, obtém-se o vetor de prioridade relativa por um auto vetor que viabiliza a determinação do grau de importância dos elementos de cada nível hierárquico, e essa é a fase de priorização dos elementos do sistema. A etapa seguinte é a sintetização das prioridades com o objetivo de definir a prioridade global dos planos alternativos, através da multiplicação dos elementos da matriz de prioridades relativas destes planos, pelas prioridades relativas dos critérios.

2.3.2 Estruturação dos sistemas de decisão

Em um problema multicritério vários agentes são atuantes. É preciso notar que sua definição é meramente didática, muitas vezes confundindo-se entre si. Os componentes básicos de um problema de decisão multicritério são (BELTON e STEWART, 2002):

a) Estruturação do problema

Essa fase é importante para o perfeito entendimento do problema. Na verdade, a estruturação do problema quando feita de forma apropriada torna-se a fundamentação necessária sobre a qual irá se apoiar a análise de decisão. Existem algumas ferramentas utilizadas para dar apoio a essa primeira fase de análise, desde mais simples como um “brain storm”, como mais complicadas com recursos computacionais, como reunião com recursos de multimídia e votação eletrônica.

b) Decisores

São os indivíduos que fazem escolhas e assumem preferências, como uma entidade única, chamada de Decisor, agente ou tomador de decisão.

c) Analista

É a pessoa encarregada de interpretar e quantificar as opiniões dos decisores, estruturar o problema, elaborar o modelo matemático e apresentar os resultados para a decisão. Deve atuar em constante diálogo e interação com os decisores, em um processo de aprendizagem constante. Embora não seja recomendável, é comum que o analista seja um dos decisores.

d) Modelo

É o conjunto de regras e operações matemáticas que permitem transformar as preferências e opiniões dos decisores em um resultado quantitativo.

e) Alternativas

São ações globais, ou seja, ações que podem ser avaliadas isoladamente. Podem representar diferentes cursos de ação, diferentes hipóteses sobre a natureza de uma característica, diferentes conjuntos de características, etc.

f) Critérios

Os critérios são as ferramentas que permitem a comparação das ações em relação a pontos de vista particulares (ROY, 1985). Bouyssou (1990) define um critério mais precisamente como uma função de valor real no conjunto A das alternativas, de modo que seja significativo comparar duas alternativas a e b pertencente ao conjunto A, de acordo com um particular ponto de vista, ou seja, é a expressão qualitativa ou quantitativa de um ponto de vista utilizado na avaliação das alternativas.

Cada alternativa possui um valor segundo cada critério. A cada critério estão associados uns sentidos de preferência; uma escala; uma estrutura de preferências. Bouyssou (1993) propõe algumas normas para a construção de um critério:

- Os pontos de vista que formam a base das definições dos vários critérios devem ser compreendidos e aceitos por todos os atores do processo de decisão. Um critério que possua uma unidade física definida pode ser associado a um determinado ponto de vista, sendo um grande facilitador.

- Uma vez definido e aceito um ponto de vista, o método que permite avaliar os critérios para cada alternativa, também deve ser entendido e aceito por todos os atores do processo de decisão. O analista deve ter a preocupação de criar um modelo simples e transparente a ser usado.
- A escolha de um modo particular de construir um critério deve considerar a qualidade dos dados utilizados. As comparações deduzidas dos critérios devem considerar elementos de determinação de incerteza, imprecisão e/ou inacurácia afetando os dados utilizados na construção.

2.3.3 MCDA e suporte à decisão

Segundo LASKAR (2003) duas áreas distintas da pesquisa, SIG e MCDA, podem se beneficiar mutuamente. Técnicas e procedimentos do SIG tem uma importante oportunidade para a análise do desempenho dos problemas MCDA através da automatização, da gestão e da análise uma grande variedade de dados espaciais para a tomada de decisões.

Embora uns números crescentes de SIG sejam descritos como sistemas de apoio a situações de decisão espacial, a maioria dos Sistemas de Informação Geográfica carecem da análise espacial requerida pelos tomadores de decisão. Por outro lado as metodologias MCDA provêm uma consistente coleção de técnicas e procedimentos preferenciais aos decisores que incorporam a base SIG aos tomadores de decisão. A incorporação destas tecnologias através de uma interface amigável disponibiliza um cenário ao sistema de suporte à decisão espacial (SDDS – Spatial Decision Support System) e auxilia a efetividade dos tomadores de decisão, pela incorporação dos julgamentos dos decisores e os programas computacionais com base no processo decisório.

A abordagem sistemática é necessária para as análises de decisão para aperfeiçoar a qualidade das decisões e justificar as ações realizadas. Avançadas inovações tecnológicas no campo do sensoriamento remoto e nos SIG promoveram uma expressiva quantidade de dados sob a forma de recursos para inventários e mapeamentos. No entanto, para a funcionalidade da tomada de decisão, estes dados devem ser processados para a obtenção de informações consistentes e relevantes. Dois tipos de informação são amplamente associados com os processos de tomada de decisão espacial: as informações geográficas e informações sobre a preferência dos

tomadores decisão. Neste cenário é possível uma integração de: capacidade de aquisição de dados do sistema de informações geográficas, armazenagem, recuperação, manipulação e análises com a capacidade técnica MCDA, para assim agregar os dados geográficos e avaliar a preferência dos decisores, demonstrando o enorme potencial para resolver problemas de tomada de decisão (Malczewski, 1999).

Desta forma, é perceptível a oportunidade de agregar as tecnologias de MCDA e as tecnologias de sensoriamento remoto, aliadas aos SIG, para que seja criado um ambiente de análise sistêmica e conjunta das informações.

2.3.4 Caracterização do método AHP (Analytic Hierarchy Process)

O Analytic Hierarchy Process (AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970 no intuito de promover a superação das limitações cognitivas dos tomadores de decisão [Abreu *et al.* (2000)]. Segundo Barbarosoglu e Pinhas (1995), ele é aplicado para sistematizar a uma ampla gama de problemas de decisão nos contextos: econômico, político, social e ambiental, devido a sua simplicidade, sólida base matemática e capacidade de avaliar fatores qualitativos e quantitativos, sejam eles, tangíveis ou intangíveis [Shiau *et al.* (2002)]. Consequentemente um dos métodos mais conhecidos e utilizados mundialmente (Jansen *et al.*, 2004).

O AHP baseia-se na capacidade humana de usar a informação e a experiência para estimar magnitudes relativas através de comparações par a par (*pairwise comparisons*) (TOMA e ASHARIF, 2003). Trata-se de uma abordagem flexível que utiliza a lógica aliada à intuição, com a finalidade de obter julgamentos através de consenso Schimidt (1995). Seu uso é indicado para problemas que envolvem a priorização de soluções potenciais através da avaliação de um conjunto de critérios (Asahi, *et al.*, 1994); Finnie e Wittig (1999); Kim (1999).

Seguindo os critérios acima citados, referentes à capacidade de mensuração de fatores qualitativos e quantitativos, necessários à este trabalho, como as análises de diversos e grupos heterogêneos de entrevistados, assim como, diversificado nível departamentos envolvidos na pesquisa, chegou-se a conclusão de que o método mais adequado seria o Analytic Hierarchy Process (AHP). Ele possui vários atributos desejáveis para a realização do estudo proposto como: a) é um processo de decisão estruturado que pode ser documentado e repetido; b) é aplicável a

situações que envolvem julgamentos subjetivos; c) utiliza tanto dados quantitativos como qualitativos; d) provê medidas de consistência das preferências; e) há uma ampla documentação sobre suas aplicações práticas na literatura acadêmica; f) seu uso é apropriado para grupos de decisão (JIANYUAN, 1992 e STEIGUER et al., 2005).

2.3.5 Hierarquização dos critérios de decisão

O AHP é projetado para ajudar as decisões com múltiplos critérios. São três componentes importantes do AHP: (1) a estruturação de um problema em uma hierarquia de objetivos sob determinados recursos (Decomposição), (2) comparações por pares entre os elementos em cada nível (Avaliação), e (3) a propagação em níveis específicos, prioridades locais para prioridades globais (Síntese). Níveis subordinados podem incluir: objetivos, cenários, eventos, ações, resultados e alternativas. Cursos alternativos de ações poderão ser comparados e estas serão apresentadas no nível mais baixo da hierarquia. Comparações de pares são realizadas entre todos os elementos em cada nível particular e em relação ao nível superior. As comparações podem ser realizadas de acordo com os níveis de preferência, a importância ou risco, conforme for mais apropriado aos elementos considerados. Saaty (1980), desenvolveu uma teoria matemática, para combinar as comparações pareadas em diferentes níveis, produzindo valores de prioridade final para cada uma das alternativas e em cada uma das hierarquias.

2.3.6 Estruturação e formação da matriz de análise

A aplicação do método AHP pode ser dividida em duas fases: estruturação e avaliação (VARGAS (1990) em ABREU *et al.* 2001). A primeira envolve a decomposição do problema em uma estrutura hierárquica que mostra as relações entre as metas, os critérios que exprimem os objetivos e sub-objetivos, e as alternativas que envolvem a decisão. Relaciona-se, portanto, à apresentação, descrição e justificativa do problema e pontos de vista e, conseqüentemente, à busca do consenso Schmidt (1995).

A segunda fase – avaliação, é caracterizada pela definição do tipo de problema ser adotado, determinando assim se as ações serão: a) analisadas em termos relativos ou absolutos; b) ordenadas ou escolhidas, c) aceitas ou rejeitadas Bana e Costa (1993) em Schmidt (1995).

Essencialmente, o Analytic Hierarchy Process (AHP), procura decompor um problema em uma estrutura hierárquica descendente que se assemelha a uma árvore genealógica, (Gomes e Moreira, 1998; Saaty, 1980 em Schmoldt e Peterson, 1997). As hierarquias geralmente são utilizadas em situações que envolvem incerteza, a exemplo dos problemas ambientais, e devem ser construídas de tal forma que: a) incluam todos os elementos importantes para a avaliação, permitindo que, se necessário, eles possam ser modificados ao longo do processo; b) considerem o ambiente que cerca o problema; c) identifiquem as questões ou atributos que contribuam para a solução, d) identifiquem os participantes envolvidos com o problema.

Os principais *inputs* para a construção de uma hierarquia são as respostas obtidas para uma série de perguntas que, normalmente, possuem a forma geral: Qual é a importância do critério 1 em relação ao critério 2, e assim sucessivamente, Dodgson *et al.* (2001). Esse procedimento, conhecido por comparação par a par (*pairwise comparison*), é utilizado para estimar a escala fundamental unidimensional (Figura 3) em que os elementos de cada nível são medidos Schmidt (1995).

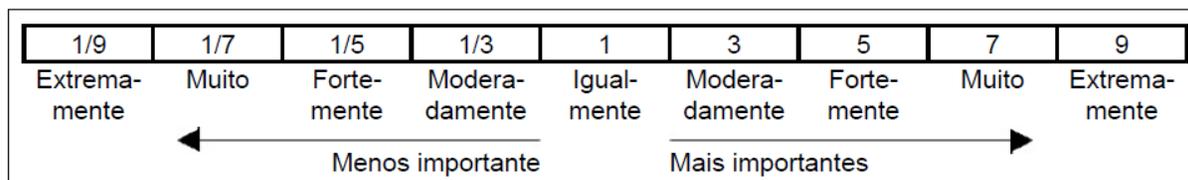


Figura 3 - Escala contínua para elaboração da matriz de comparação pareada (Eastman, 2001).

2.4 Identificação das principais aplicações do sensoriamento remoto

2.4.1 Aplicações em agricultura

Atualmente é considerável o número de usuários de dados obtidos por sistemas sensores, visando um maior e melhor conhecimento sobre o planeta Terra, o que os torna indispensáveis ao “inventário, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais” (ROSA, 2005).

Vergara et al. (2002) comenta que os documentos cartográficos em diferentes escalas são ferramentas fundamentais para conhecer o meio ambiente em escala local, regional e global, e ajudar na tomada de decisões necessárias para o planejamento ambiental e o gerenciamento de recursos, bem como na solução de problemas em áreas tão variadas como saúde, desmatamento, qualidade do ar e da água, demografia, etc. Entretanto, a situação atual da cartografia mundial indica que, para muitas regiões do planeta, não existem documentos cartográficos que forneçam informação com qualidade adequada, sendo este um problema comum tanto para nações desenvolvidas quanto para países em desenvolvimento (Estes e Mooneyhan, 1994). No Brasil, os índices atuais de mapeamento nas diferentes escalas evidenciam que a carência de cartas topográficas é mais grave para as escalas maiores, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000 (SIERRA E HUARAJÓ., 2001).

Segundo Fontana et al. (1998), os índices de vegetação representam uma técnica amplamente usada na área do sensoriamento remoto, por indicarem a presença e condições da vegetação monitorada, e o sucesso de sua aplicação se fundamenta no fato de que a produção primária de uma comunidade vegetal tem estreita relação com a energia solar absorvida, o que define o desenvolvimento dessa comunidade. O SAVI (Índice de vegetação ajustado ao solo) é um importante passo para o estabelecimento de um modelo global simples que pode descrever o sistema dinâmico solo-vegetação nos dados de sensoriamento remoto (OLIVEIRA, 2008).

Valério Filho et al. (1997), ao utilizarem dados digitais do TM/Landsat e geoprocessamento para o monitoramento da dinâmica do uso agrícola e vegetação natural em microbacias, concluíram que, mesmo não sendo possível um maior detalhamento das classes de uso e cobertura vegetal das terras, face às limitações dos produtos de sensoriamento remoto ao nível orbital, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas úteis para o monitoramento da dinâmica de uso e cobertura vegetal e a adequação de uso das terras ao nível de microbacias hidrográficas, pelo fato de propiciar maior frequência na atualização de dados, agilidade no processamento e ser economicamente viável.

Fontana et al (2000) afirmaram que a obtenção de dados confiáveis implica sempre em um alto grau de subjetividade, sendo mais lenta e onerosa. Assim, a previsão das safras agrícolas torna-se cada vez mais importante e necessitam de técnicas que possibilitem uma maior precisão. Um dos pilares da previsão de safras agrícolas é a estimativa correta das áreas agricultáveis, em um determinado período dos respectivos ciclos produtivos. O Brasil, por ser um país de grandes

extensões agrícolas e estas sofrerem mudanças constantes em seu perfil produtivo; influenciadas dentre outros fatores pelo mercado e pelas condições agroclimáticas, torna-se um dos principais gargalos da confiabilidade da previsão.

2.4.2 Aplicações em meio ambiente

As técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas têm sido utilizados de forma conjugada em estudos dos recursos terrestres, com especial atenção para o monitoramento das atividades antrópicas e seus impactos ambientais.

A análise de multicritérios tem sido empregada em diversos estudos relacionados ao planejamento ambiental como: definição de áreas mais adequadas para instalação de empreendimentos, análise de risco ambiental, análise de sensibilidade ambiental e planejamento de uso das terras (MALCZEWSKI, 2004; EASTMAN, 2003; COLLINS et al., 2001; Jang e Eastman, 2000).

Eastman et al. (1995) afirmaram que decisões sobre a locação de terra tipicamente envolvem a avaliação de múltiplos critérios, de acordo com diversos, e em geral conflitantes objetivos. Para os autores, o advento do SIG proporcionou a oportunidade de execução de processos de tomada de decisão, na área ambiental, de forma mais explicitamente racional. Ao mesmo tempo, o ordenamento do território tornou-se cada vez mais complexo. Os princípios do desenvolvimento sustentável, os planejadores do uso terra enfrentam um paradoxo de dois aparentemente contraditórios: a conservação da natureza e desenvolvimento econômico.

A utilização de SIG aplicados ao planejamento e ordenamento da região costeira e das atividades socioeconômicas existentes na região apresenta diversas vantagens, que incluem a integração das técnicas de processamento digital de imagens de sensores remotos e a classificação temática automatizada com a análise espacial. Esta tecnologia permite uma melhor organização espacial das informações ambientais, otimizando a implantação de novas atividades socioeconômicas conflitantes, gerando menores impactos ambientais, resguardando áreas de proteção ambiental e beneficiando os investidores com uma melhor produtividade e segurança em áreas bem escolhidas para exploração de suas atividades, (SOUTO & AMARO, 2005).

Segundo Novo, 1992 apud Piroli (2002) os dados de sensoriamento remoto têm ampla aplicação na descrição quantitativa de bacias hidrográficas e redes de drenagem. Assim, uma

série de estudos morfométricos, antes realizados a partir de dados extraídos de cartas topográficas, passou a ser feitos com base em dados de sensoriamento remoto, ou seja, nas imagens coletadas por sensores remotos. A extensão do território brasileiro e o pouco conhecimento dos recursos naturais, aliados ao custo de se obter informações por métodos convencionais, foram os fatores decisivos para o país entrar no programa de sensoriamento por satélite (ROSA, 1995).

Segundo Vasconcelos (2004), para o estudo da dinâmica do desmatamento na Amazônia é imprescindível o uso das técnicas de sensoriamento remoto, principalmente devido a dimensão desta região associada à dificuldade de acesso. Uma das maiores dificuldades encontradas pelos usuários de dados de Sensoriamento Remoto reside, entretanto, na disponibilidade de método rápido e preciso para obter mapas de uso e cobertura da terra. A interpretação visual de imagens de satélites é um método muito utilizado para o mapeamento do uso e cobertura de imagens do sensor Thematic Mapper dos satélites da série Landsat. Apesar de ser uma técnica precisa ela se torna praticamente inviável, pela grande demanda de tempo, quando aplicada a áreas muito extensas. A alternativa aos métodos manuais é o uso de métodos de classificação digital. Até recentemente, os algoritmos disponíveis permitiam a classificação automática pixel a pixel. Os resultados desses métodos, entretanto, não geravam mapas de boa qualidade, demandando um grande tempo de edição posterior às classificações obtidas.

2.4.3 Aplicações na gestão de negócios

Segundo Rosa (2005) conceitos de business intelligence (Figura 4) não podem prescindir das ferramentas de geoprocessamento. Elas são capazes de mapear, literalmente, vários fatores fundamentais para o sucesso de um negócio, respondendo a questões como: onde estão os clientes, onde estão os fornecedores, onde estão os concorrentes, entre outros, de forma a permitir às empresas agir e decidir com informações muito mais precisas sobre seus negócios.

As geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informação com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em hardware, software que juntas constituem poderosas ferramentas para tomada de decisão. Dentre as geotecnologias pode-se destacar: sistemas de informação geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e a topografia georreferenciada.

A extensão do território brasileiro e o pouco conhecimento dos recursos naturais, aliados ao custo de se obter informações por métodos convencionais, foram os fatores decisivos para o país entrar no programa de sensoriamento remoto por satélite.

É estimado que cerca de 80% das atividades da administração pública municipal, sejam necessárias de informações geográficas, assim como, os serviços de saneamento, energia elétrica e telecomunicações podem valer-se das geotecnologias para relacionar suas redes de distribuição às demais informações de seus bancos de dados (ROSA, 2005).

A Figura 4 demonstra as diversas etapas necessárias do planejamento para a tomada de decisões, incluindo as fases de inteligência (análise), projeto e decisão dos modelos de avaliação.

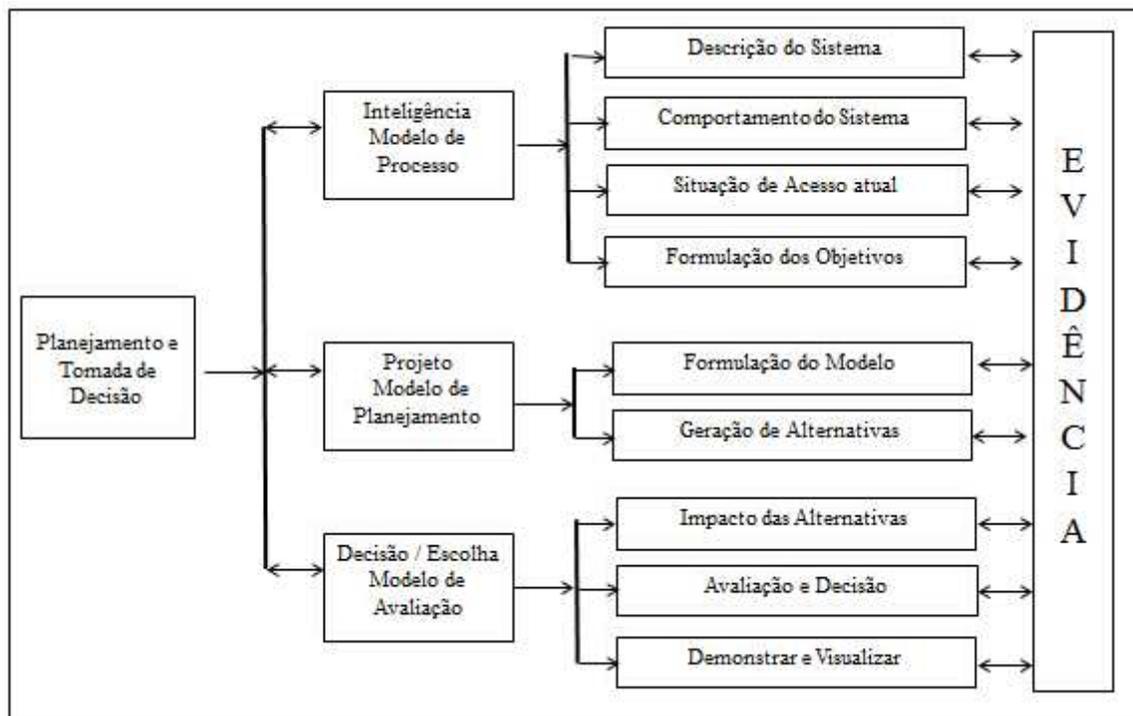


Figura 4 – Quadro demonstrativo para processos de Planejamento e Decisão. (Sharif et al., 2002 apud Laskar, 2003).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O presente trabalho foi realizado, com uma pesquisa de opinião com especialistas das diversas áreas de interesse do projeto, junto às principais empresas do segmento sucroenergético, nas áreas de produção das regiões Centro-sul. O levantamento de dados da pesquisa considerou a produção da safra 2012/2013 com representatividade de aproximadamente 35% da produção total, que tem como previsão de produção de 448 milhões de toneladas, indicada na Tabela 2 (Conab, 2012).

Tabela 2 – Demonstrativo de representatividade/pesquisa (produção, empresas e cargos).

Sequência - Expert choice	Empresas	Classificação do Empreendimento Agrícola	Cargo	Representatividade (%) Total	Produção Agrícola Potencial (Mi Ton) 2011/2012	Levantamento (%) Conab Safra 2012/2013
P1	Empresa A	Corporação	Qualidade Agrícola	9,4	14,50	3,2
P2	Empresa B	Corporação	Analista Geotecnologia	9,7	15,00	3,3
P3	Empresa C	Corporação	Espec. Agrícola	2,6	4,00	0,9
P4	Empresa D	Usina Individual	Supervisor Agrícola	1,9	3,00	0,7
P5	Empresa E	Usina individual	Diretor Projetos	2,6	4,00	0,9
P6	Empresa F	Corporação	Supervisor Geotecnologias	40,3	62,00	13,8
P7	Empresa G	Corporação	Gerente Tecnologia	26,0	40,00	8,9
P8	Empresa H	Corporação	Supervisor Agrícola	2,6	4,00	0,9
P9	Empresa I	Corporação	Supervisor Agrícola	4,9	7,50	1,7
P10	Empresa J	não considerado	Gerente M. Ambiente	0,0	-	0,0
P11	Empresa K	não considerado	Espec. Setor S. Energético	0,0	-	0,0
P12	Empresa L	não considerado	Especialista em Sistemas de Infor.	0,0	-	0,0
			Total	100	154,00	448,00

O estudo foi realizado com base na utilização da tecnologia do sensoriamento remoto no segmento sucroenergético, nas unidades de produção industrial, denominadas Usinas. No universo de usinas que fizeram parte deste estudo, é importante elucidar que 4,5% representam usinas de pequeno porte, com características próprias e conservadoras na gestão dos negócios da produção. Por outro lado as demais usinas pertencentes a grandes corporações nacionais e internacionais, tem abordagens específicas na gestão competitiva destes empreendimentos.

Para o presente trabalho, foram determinados três grupos específicos de usuários da tecnologia de sensoriamento remoto e departamentos administrativos distintos nas empresas, e

para tal, foi necessário definir quais são as atribuições de cada um destes Usuários/Departamentos, como segue:

- Usuários / Departamento Agrícola: todas as atividades correlacionadas à produção agrícola, onde as geotecnologias subsidiam a tomada de decisões para o manejo das lavouras, cuja finalidade precípua é incrementar as produtividades agrícolas.
- Usuários / Departamento Meio Ambiente: todas as atividades que permeiam o gerenciamento dos riscos ambientais, de forma preventiva e corretiva, além da gestão dos passivos e ativos ambientais.
- Usuários / Departamento Gestão Negócios: todas as atividades da empresa que administram; os bens oriundos das atividades produtivas (agrícolas), as informações estratégicas comerciais provenientes das produções agrícolas como, previsão de áreas plantadas e de safras e monitoramento de colheitas.

Estas restrições citadas abaixo podem ser entendidas como categorias restritivas das alternativas (fatores), excluindo áreas e limitando espacialmente a distribuição das possibilidades de escolha (EASTMAN et al., 1993). Desta forma, foi necessário a caracterização dos fatores de restrições utilizadas neste estudo como pode ser observado abaixo:

- Conhecimento da Tecnologia de Sensoriamento Remoto: conhecimento acumulado de potencial de uso das tecnologias espaciais num dado grupo de usuários/empresas com a finalidade de aplicação comercial e científica.
- Disponibilidade de Recursos Humanos: avaliação da oferta de recursos humanos, especialistas em sensoriamento remoto, para a aplicação das tecnologias geoespaciais.
- Custos da Tecnologia do Sensoriamento Remoto: influência direta e indireta dos custos na utilização e aplicação da tecnologia de sensoriamento remoto.

De acordo com o método AHP (Analytic Hierarchy Process) foi necessária a definição detalhada de cada um dos critérios para que fossem objetivas as interpretações dos respectivos

questionários, que foram utilizados para a elaboração das matrizes de comparação. Desta forma, foi definida e caracterizada cada uma das aplicações do sensoriamento remoto, no segmento sucroenergético, como segue:

- Aplicações Agrícolas: as aplicações do sensoriamento remoto neste quesito serão concentradas em duas finalidades:
 - a. Cartografia: cartografia básica, mapeamento de talhões, topografia, georreferenciamento e sistematização de talhões e sistematização.
 - b. Monitoramento: acompanhamento da evolução de biomassa, detecção de heterogeneidade em função de pragas e doenças, variabilidade agronômica dos talhões.

- Aplicações em Meio Ambiente: as aplicações do sensoriamento remoto neste quesito serão concentradas em duas finalidades:
 - a. Cartografia: cartografia básica, mapeamento de uso e ocupação, topografia e georreferenciamento.
 - b. Monitoramento: Acompanhamento e cadastramento de áreas de preservação permanente e áreas de reserva legal.

- Aplicações em Gestão de Negócios: as aplicações do sensoriamento remoto neste quesito serão concentradas em duas finalidades:
 - a. Cartografia: cartografia básica e análise de garantias (penhor agrícola), apoio a novos projetos agrícolas, levantamento de áreas cultivadas.
 - b. Monitoramento: Acompanhamento da evolução de colheitas /penhor mercantil e prospecção de novas áreas agrícolas.

3.2 Sistemática da pesquisa e coleta de dados

3.2.1 Levantamento de dados e a pesquisa de opinião

A pesquisa foi estruturada com base em um estudo exploratório, com a estratégia de utilizar a pesquisa de opinião através de questionários de múltipla escolha, com a finalidade de qualificar e quantificar (informações tangíveis e intangíveis) as utilizações do sensoriamento remoto nos diversos grupos de usuários das geotecnologias no setor sucroenergético.

Foram estudadas empresas que atuam especificamente no setor sucroenergético para hierarquizar, as aplicações que atualmente são utilizadas com a tecnologia do sensoriamento remoto, através do método AHP (Analytic Hierarchy Process).

Neste processo de coleta de dados, pela heterogeneidade dos grupos de usuários e as representativas diferença destes, foram realizadas pesquisas aleatórias com profissionais em níveis distintos de utilização da tecnologia, como:

- Profissionais Gestores de Negócio (Tomadores de Decisão Estratégica).
- Profissionais Técnicos em Sensoriamento Remoto (Tomadores de Decisão Técnica).

A técnica exploratória que foi utilizada foram os questionários objetivos com respostas de múltiplas (Escala Fundamental de Saaty) escolhas que alimentaram o método – AHP (Analytic Hierarchy Process), para que fossem possíveis os levantamentos estatísticos.

Para a coleta de dados dos entrevistados pré-selecionados para esta pesquisa, foi utilizado um questionário desenvolvido em linguagem de programação, Plataforma Java, disponível em rede Web ([http:// www.geo-decision.com](http://www.geo-decision.com)), conforme Figura 5 para que o interlocutor / entrevistados tivessem a liberdade, flexibilidade e independência das respostas.



Figura 5 – Questionário de Suporte à Dissertação - Website AHP/Java

Este modelo de questionário disponibilizou informações explicativas aos quais os entrevistados tinham condições de entender o método AHP (Analytic Hierarchy Process), assim como, as diretrizes da pesquisa caracterizando os Objetivos, Critérios e Restrições conforme Figura 6 e responder de forma objetiva as perguntas elaboradas para as análises da pesquisa.

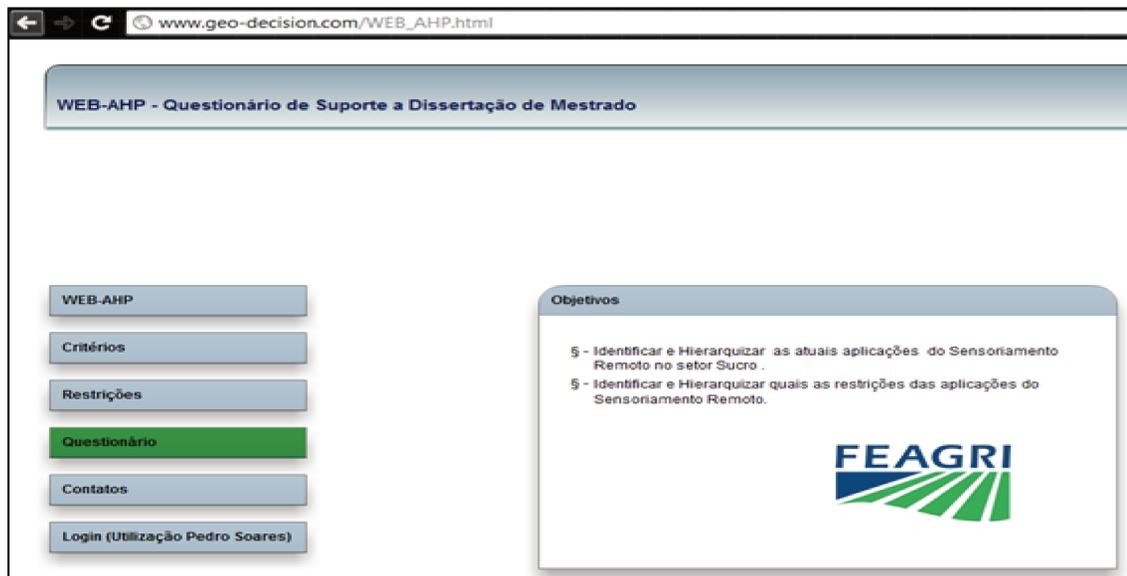


Figura 6 – Demonstrativo do Questionário – Objetivos, Critérios e Restrições

Na definição dos critérios (fatores e restrições) e, posteriormente, dos pesos de compensação dos fatores, utilizou-se a Técnica Participatória (EASTMAN *et al.*, 2001), por meio da consulta a especialistas das áreas de sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas, Geoprocessamento e profissionais do setor sucroenergético. Os fatores considerados de acordo com os objetivos do trabalho foram:

Os **objetivos** analisados foram:

- Hierarquizar quais as atuais aplicações do Sensoriamento Remoto no setor sucroenergético.
- Hierarquizar quais as restrições das aplicações do Sensoriamento Remoto.

Os **critérios**:

- Aplicações em Agricultura
- Aplicações em Meio ambiente
- Aplicações na Gestão de Negócios

As **Alternativas/Restrições**:

- Conhecimento da Tecnologia de Sensoriamento Remoto.
- Disponibilidade de Recursos Humanos.
- Custo da Tecnologia do Sensoriamento Remoto.

No presente estudo, o objetivo foi avaliar através das Matrizes de comparação paritária, (Tabelas 3 e 4), os resultados oriundos das pesquisas quantitativas que foram realizadas com os especialistas e usuários da tecnologia de sensoriamento remoto, nos mercados do setor sucroenergético.

Tabela 3 – Matriz de comparação paritária – Critérios

Critérios	Agrícola	Meio Ambiente	Gestão Negócios
Agrícola	1		
Meio Ambiente		1	
Gestão Negócios			1

Tabela 4 – Matriz de comparação paritária – Alternativa / Restrições

Alternativas / Restrições	Conhecimento TSR	Disponibilidade RH	Custos da TSR
Conhecimento TSR	1		
Disponibilidade RH		1	
Custos da TSR			1

Após a formação destas matrizes iniciais, base para as análises subsequentes, foram elaboradas os próximos passos da matriz de comparação, e análise dos respectivos índices, para avaliar a consistência (ou inconsistência) dos resultados.

Para a elaboração das respostas neste questionário de suporte a Dissertação foi realizado um modelo similar ao método AHP (Analytic Hierachy Process), para que o entrevistado tivesse condições de responder de acordo com a Escala de Saaty como pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 – Demonstrativo do Questionário – Respostas Escala de Saaty

Durante a realização da pesquisa houve dois momentos distintos na obtenção dos resultados, perante o grupo de entrevistados do setor sucroenergético. Como já comentado anteriormente na metodologia utilizada, o método AHP e a sistemática eletrônica de coleta de

dados via web, proporcionou, durante a primeira fase de coleta inconsistência significativa nos resultados e estes superiores ao limite do método.

Em função destas divergências, houve a necessidade de que fosse realizada nova rodada de entrevistas, cuja finalidade foi explicitar de forma clara e objetiva os critérios do método AHP, para facilitar o entendimento da sistemática comparativa do questionário, que é a essência do método, que é comparar para a par os objetivos e restrições.

Após esta fase de explicar o passo a passo da metodologia, foi realizado pessoalmente, com cada um dos entrevistados, novamente todos os questionários, onde conseguimos reduzir sensivelmente os níveis de inconsistência, permitindo uma análise real e ponderada dos resultados auferidos, que pelo método não pode ultrapassar 10%.

3.2.2. O Software – Expert Choice

Pela complexidade dos cálculos envolvidos nas análises multicriteriais do método AHP e pelo objetivo da pesquisa estar centrado nos resultados das aplicações do Sensoriamento Remoto, foi utilizado o software Expert Choice®, versão 11.5, sob licença autorizada ao autor, conforme pode ser observada na Figura 8.

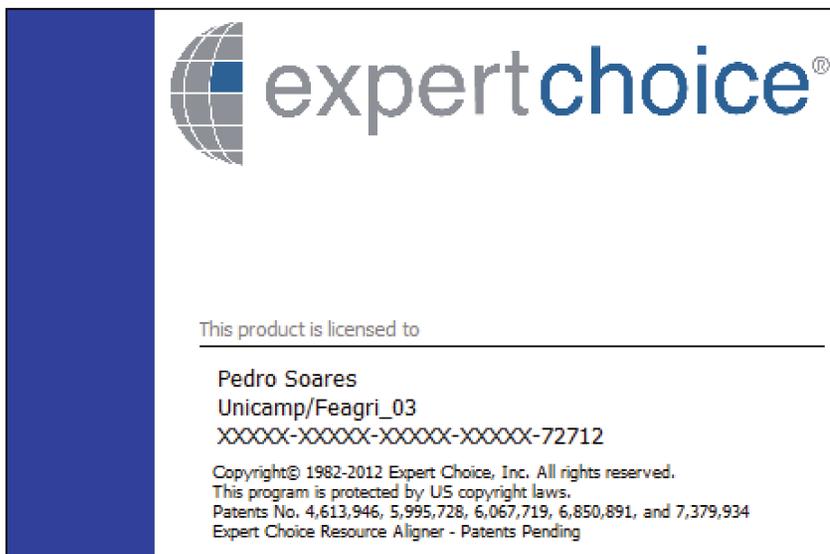


Figura 8 – Software Expert Choice®, licença de usuário comercial.

O uso de uma ferramenta específica para análise AHP foi indispensável para a aplicação do modelo proposto e esta dissertação utilizou da ferramenta Expert Choice®, software reconhecido internacionalmente para análises multicriteriais com a técnica AHP.

Em 1983, Saaty juntou-se com Ernest Forman, professor da George Washington University, para fundar a empresa Expert Choice®. O Expert Choice® auxilia o tomador de decisão em todas as fases do processo: desde a formulação do modelo de decisão, comparação das alternativas, relatórios finais e análises de sensibilidade, como podem ser observados de forma prévia na arquitetura do sistema na Figura 9.

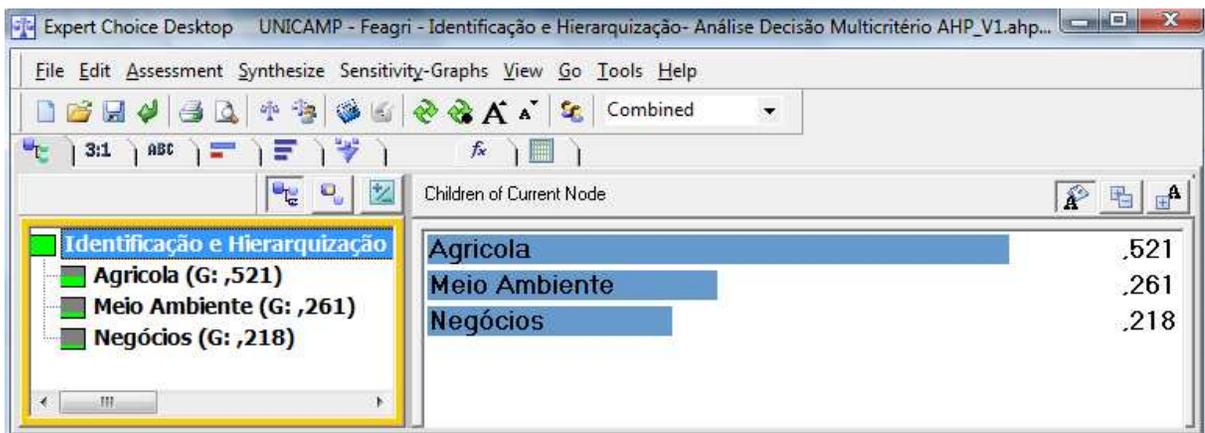


Figura 9 – Software Expert Choice®, Arquitetura do Sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a obtenção efetiva dos resultados da pesquisa, foi necessária a análise dos resultados das entrevistas, através do software Expert Choice, especializado no método AHP, ao qual em sua metodologia, interpretou e analisou o nível de inconsistências dos resultados, onde pode verificado, respectivamente, nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Software Expert Choice®, Resultado de Inconsistência – inicial.

Sequência - Expert choice	Overall	Hierarquização das aplicações do Sensoriamento Remoto no Setor Sucro Energético	Agrícola	Meio Ambiente	Negócios	Cargo
P1	0,27	0,16	0,48	0,21	0,21	Qualidade Agrícola
P2	1,72	2,99	0,42	0,48	0,48	Analista Geotecnologia
P3	0,52	0,69	0,69	0,21	0,24	Espec. Agrícola
P4	1,79	3,34	0,28	0,23	0,21	Supervisor Agrícola
P5	1,40	0,48	2,29	2,44	2,44	Diretor Projetos
P6	0,32	0,28	0,42	0,28	0,00	Supervisor Geotecnologias
P7	0,11	0,00	0,53	0,00	0,02	Gerente Tecnologia
P8	0,06	0,00	0,05	0,21	0,00	Supervisor Agrícola
P9	0,40	0,48	0,21	0,42	0,42	Supervisor Agrícola
P10	0,43	0,72	0,16	0,10	0,10	Gerente M. Ambiente
P11	1,23	2,34	0,21	0,05	0,13	Espec. Setor S. Energético
P12	0,30	0,41	0,19	0,19	0,19	Especialista em Sistemas de Infor.

Interessante ressaltar que os resultados foram obtidos em dois momentos distintos durante a pesquisa, onde os valores de inconsistência iniciais foram muito significativos. Estes níveis de inconsistência foram diagnósticos após a interpretação e consolidação automática dos resultados pelo software. A razão pelo qual estes valores ficaram superiores ao limite permitido do método, que é de 10%, foi que as interpretações dos questionários, pelos entrevistados, não foram avaliados de forma sistêmica, onde a intenção primordial do método é a comparação par a par, e a interdependência dos resultados sequências.

Ainda nessa análise, foi perceptível que os resultados foram significativamente alterados em função dos cargos ocupados pelos entrevistados, onde houveram picos de inconsistência, pelo direcionamento das respostas em função da atividades exercidas, como pode ser observado exemplos de altos níveis de inconsistência (Sequência Expert Choice – P2, P4, P5 e P11), conforme Tabela 5.

Desta forma, foram obtidos resultados de expressivos de inconsistências, onde por esta razão foi motivada a necessidade de nova rodada de entrevistas, com uma abordagem diferenciada, para demonstrar a necessidade de integração das respostas e a efetiva necessidade de combinação lógica dos resultados.

Tabela 6 – Software Expert Choice®, Resultado de Inconsistência - final

Sequência - Expert choice	Overall	Hierarquização das aplicações do Sensoriamento Remoto no Setor Sucro Energético	Agrícola	Meio Ambiente	Negócios	Cargo
P1	0,03	0,00	0,05	0,09	0,03	Qualidade Agrícola
P2	0,07	0,09	0,10	0,07	0,05	Analista Geotecnologia
P3	0,09	0,09	0,09	0,02	0,10	Espec. Agrícola
P4	0,08	0,06	0,09	0,09	0,09	Supervisor Agrícola
P5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	Diretor Projetos
P6	0,07	0,05	0,09	0,07	0,08	Supervisor Geotecnologias
P7	0,01	0,00	0,03	0,00	0,02	Gerente Tecnologia
P8	0,02	0,00	0,05	0,02	0,00	Supervisor Agrícola
P9	0,08	0,07	0,10	0,09	0,09	Supervisor Agrícola
P10	0,09	0,10	0,07	0,07	0,07	Gerente M. Ambiente
P11	0,08	0,10	0,07	0,05	0,08	Espec. Setor S. Energético
P12	0,08	0,09	0,09	0,05	0,07	Especialista em Sistemas de Infor.

Neste segundo levantamento de entrevistas, foi realizada nova abordagem explicativa sobre o método, detalhando a interdependência dos resultados, assim como, a realização em conjunta destes questionários. Em função desta nova abordagem, os resultados obtidos, estiveram dentro dos parâmetros do método, limite de 10%, motivados pela nova interpretação dos entrevistados do objetivo do método, como pode ser visto na Tabela 6.

Importante no resultado deste trabalho foi avaliar de fato, a necessidade precípua de padronização prévia do conhecimento do método pelos entrevistados, em função da interdependências hierárquica dos resultados, do nível de conhecimento dos entrevistados objeto da pesquisa e do conhecimento sistêmico das atividades em questão, o setor sucroenergético.

4.1 As Aplicações e Restrições do Sensoriamento Remoto

De forma sequencia os resultados são apresentados de forma distinta em duas partes. Na primeira, é discutida a hierarquia dos resultados das aplicações, e na segunda são avaliados os resultados das restrições do sensoriamento remoto no setor sucroenergético.

A partir das análises através do software Expert Choice®, os resultados das entrevistas estão demonstrados na Figura 10, onde podemos verificar que em primeiro lugar com 52,1% das aplicações do sensoriamento são direcionadas às demandas por aplicações agronômicas. Nas entrevistas realizadas com os respectivos interlocutores é perceptível que a maior utilização das geotecnologias no segmento agrícola, direciona-se para os estudos e análise de variabilidade agronômica dos talhões, nas áreas de abrangência das usinas, servindo de subsídio na gestão dos fatores de produção, principalmente para as questões de stand agrícola e assuntos relacionados à fertilidade dos solos.

Na hierarquia de utilização do sensoriamento remoto no setor sucroenergético, encontra-se com 26,1%, as aplicações em Meio Ambiente, como pode ser notado na Figura 10, aos quais foram registrados principalmente com os interlocutores que tem utilizações compulsórias de regularização e licenciamentos ambientais em órgãos de fiscalização. Em alguns casos, e de forma extremamente reduzidas, foram identificadas aplicações em planejamento ambiental, para efeito prático e legal. Importante registrar que eventualmente foram identificadas aplicações do sensoriamento remoto condicionado às regularizações às demandas internacionais de certificação de sustentabilidade.

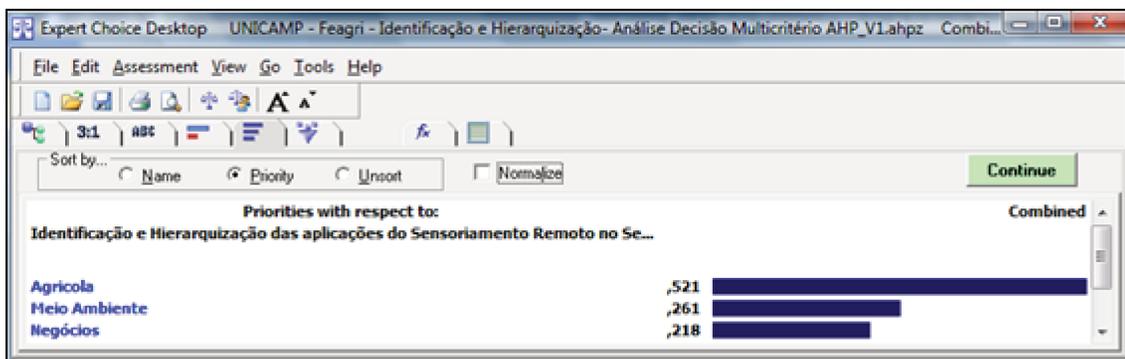


Figura 10 – Gráfico gerado pelo Expert Choice®, resultado final.

Para a gestão de negócios, notamos que 21,8% das aplicações encontram-se nesta classificação de uso, principalmente em empresas com alto nível de utilização tecnológico em gestão de informações avançadas, onde uma das principais aplicações são encontradas na gestão de terras, de produção e produtividade, assim como, planejamento estratégico de continuidade e

expansão de novos negócios agrícolas. Outro segmento de aplicação na gestão de negócios, do sensoriamento remoto, nesta safra 2012/2013, por reduzida oferta de matéria prima, foi o mapeamento de áreas com potencial de produção, ao redor das usinas, para subsidiar as estratégias comerciais e logísticas de suprimento de matéria prima às usinas. Desta forma, observa-se franco crescimento das aplicações em gestão de negócios e informações de valor agregado, para a gestão das áreas agrícolas das usinas.

Assim, foi possível avaliar os resultados das restrições nas aplicações do sensoriamento remoto que nas três aplicações, seja em Agricultura, Meio Ambiente e Gestão de Negócios, que os resultados são de proporções distintas, mas hierarquias semelhantes. Desta forma, foi perceptível que os conhecimentos em tecnologia do sensoriamento foram classificados como a maior restrição para o aumento da utilização destas tecnologias, aos quais podem ser analisadas, nas figuras 11, 12 e 13 respectivamente.

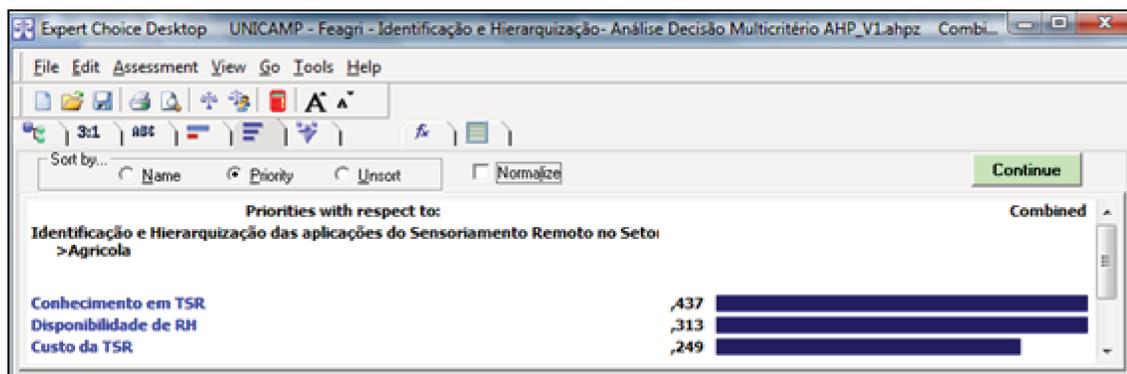


Figura 11 – Gráfico gerado pelo Expert Choice®, Restrições (Agrícola).

Considerando a restrição de conhecimento da tecnologia de sensoriamento remoto, os resultados apresentados para as aplicações Agrícola, Meio Ambiente e Negócios são, respectivamente, 43,7% (Agrícola), 45,7% (Meio Ambiente) e 43,7% (Gestão de Negócios).

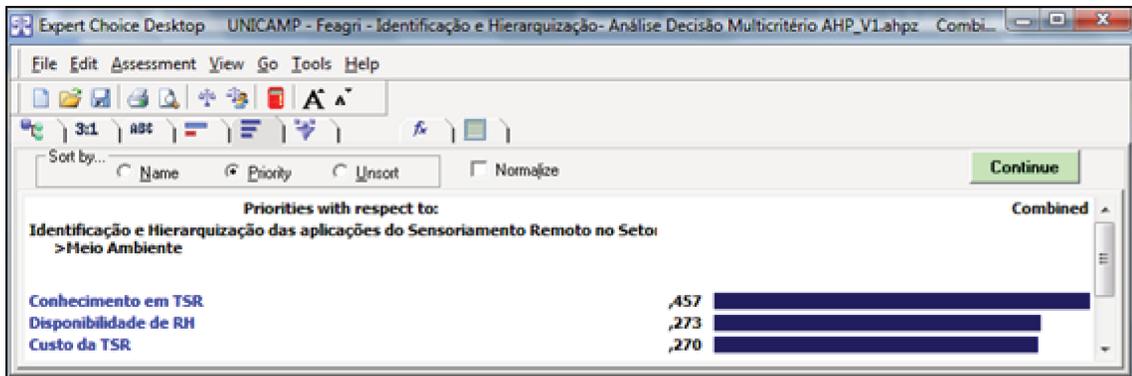


Figura 12 – Gráfico gerado pelo Expert Choice®, Restrições (Meio Ambiente).

A disponibilidade de Recursos humanos coloca-se como a segunda mais importante restrição nas aplicações e utilizações do sensoriamento remoto no setor sucroenergético, conforme resultados nos gráficos das figuras 11, 12 e 13, respectivamente com os valores de 31,3% (Agrícola), 27,3% (Meio Ambiente) e 32,4% (Gestão de Negócios).

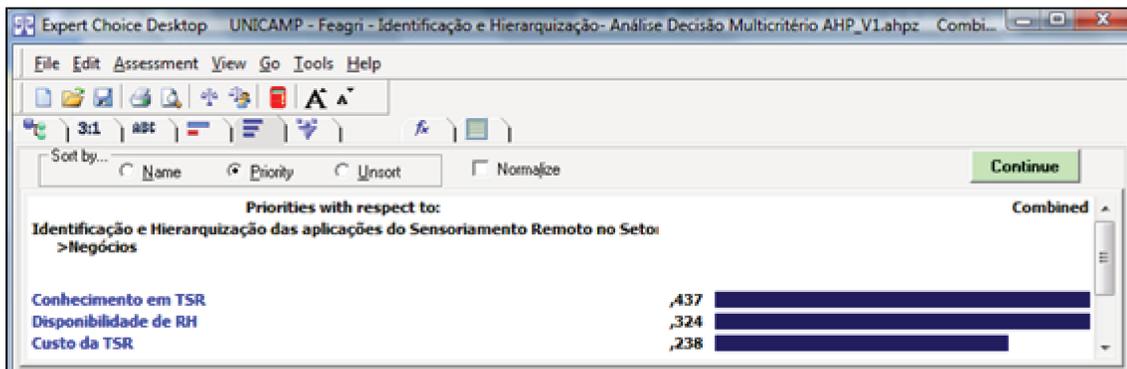


Figura 13 - Gráfico gerado pelo Expert Choice®, Restrições (Gestão de Negócios).

Para os resultados das restrições dos Custos das tecnologias de sensoriamento remoto, os valores resultantes foram 24,9% para as aplicações Agrícola, 27,0% para Meio Ambiente e 23,8% para a Gestão de Negócios. Estes dados são muito relevantes para efeito de análise de oportunidades e crescimento da utilização do sensoriamento remoto, pois como é de conhecimento a gestão de custos, nos empreendimentos do setor sucroenergético, são extremamente significativos.

Nas análises de resultados no quesito custos da tecnologia do sensoriamento remoto foi importante verificar, que nas três análises de pesquisa, agrícola, meio ambiente e gestão de negócios, os valores foram sempre inferiores aos outros dois pontos avaliados, conhecimento da tecnologia e recursos humanos, em função de franca expansão da disponibilidade e acesso às novas tecnologias geoespaciais, com a disponibilidade de novos sensores ópticos e radares, imputando no ambiente de negócios uma nova tendência de redução de custos e acessibilidade à tecnologia.

Como resultado final, verifica-se abaixo (Figura 14) a árvore de hierarquização do método AHP - Analytic Hierachy Process, com a estruturação e demonstração dos resultados onde pode ser observada em detalhes os objetivos, os critérios e as restrições das aplicações do sensoriamento remoto no setor sucroenergético.

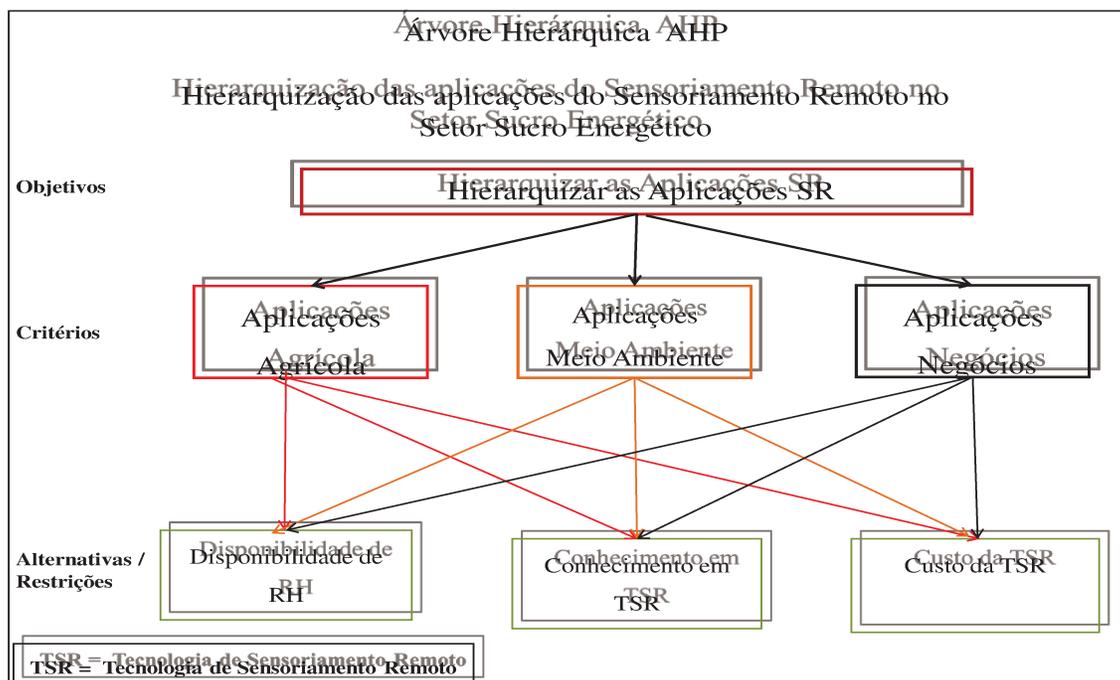


Figura 14 – Demonstrativos dos Resultados e Critérios da pesquisa.

4.2 Análises – Perfil dos entrevistados e relações com hierarquia dos resultados

No universo de usinas que fizeram parte deste estudo 95,5% representam corporações de grande porte e 4,5% empresas de pequeno porte. Analisando a tabela 7, verifica-se que para as usinas de pequeno porte a divisão entre os perfis e área de atuação, caracterizados como usuários especialistas em geotecnologias (Geotec.) representam igualmente 50% com os especialistas da área agrícola (Agro). Já para as grandes corporações, esta divisão fica em 57% para especialistas da área agrícola e 43% para especialistas em geotecnologias. Nestes resultados apresentados nota-se uma semelhança da representatividade entre os especialistas em geotecnologias e agrícola nos perfis das empresas entrevistadas, não havendo assim, consequências diretas na utilização das geotecnologias.

Da mesma forma, o perfil cargo dos entrevistados dos dois grupos de empreendimentos agrícolas, os resultados se assemelham proporcionalmente em 50% para técnicos e 50% para os gestores. Para as corporações de grande porte houve uma pequena alteração nas proporções sendo 43% para técnicos e 57% para os gestores.

Tabela 7 – Demonstrativo resultados (classificação empreendimento e perfil de entrevistados)

Sequência - Expert choice	Empresas	Classificação do Empreendimento Agrícola	Cargo	Perfil Área Atuação	Perfil Cargo	Representatividade (%) Total	Produção Agrícola Potencial (Mi Ton) 2011/2012
P1	Empresa A	Corporação	Qualidade Agrícola	Agro	Técnico	9,4	14,50
P2	Empresa B	Corporação	Analista Geotecnologia	Geotec.	Técnico	9,7	15,00
P3	Empresa C	Corporação	Espec. Agrícola	Agro	Gestor	2,6	4,00
P4	Empresa D	Usina Individual	Supervisor Agrícola	Agro	Técnico	1,9	3,00
P5	Empresa E	Usina individual	Diretor Projetos	Geotec.	Gestor	2,6	4,00
P6	Empresa F	Corporação	Supervisor Geotecnologias	Geotec.	Gestor	40,3	62,00
P7	Empresa G	Corporação	Gerente Tecnologia	Geotec.	Gestor	26,0	40,00
P8	Empresa H	Corporação	Supervisor Agrícola	Agro	Gestor	2,6	4,00
P9	Empresa I	Corporação	Supervisor Agrícola	Agro	Técnico	4,9	7,50
P10	Empresa J	não considerado	Gerente M. Ambiente	Agro	Gestor	0,0	-
P11	Empresa K	não considerado	Espec. Setor S. Energético	Agro	Gestor	0,0	-
P12	Empresa L	não considerado	Especialista em Sistemas de Infor.	Geotec.	Técnico	0,0	-
Total						100	154,00

Analisando os resultados dos pesos das inconsistências na Tabela 6, juntamente com o perfil/cargo dos entrevistados na Tabela 7, podemos avaliar a representatividade dos critérios (agrícola, meio ambiente e gestão de negócios), para cada uma das classificações dos empreendimentos agrícolas.

Para as usinas individuais, o resultado gerado para o perfil/cargo de gestor, foi de 100% para o critério de utilização do sensoriamento remoto, na gestão de negócios. Neste caso, específico, era esperado um resultado para a produção agrícola, em função de porte e gestão, ao invés disto ocorreu esta concentração no critério de gestão de negócios em função do perfil do entrevistado ter uma visão empreendedora e conhecimento sobre as aplicações do sensoriamento remoto. Para o perfil de usuários técnicos os critérios apresentaram valores equilibrados, sendo cada um com 33% respectivamente. Na situação deste entrevistado, por ter uma visão e perfil generalista, em função das limitações de decisão, os resultados foram pulverizados de forma equitativa para os critérios de aplicações do sensoriamento remoto.

Por outro lado, para as corporações de usinas, os resultados na análise perfil/cargo, para os gestores, foi de 75% para o critério agrícola e 25% para a gestão de negócios. Para o perfil/cargo dos usuários técnicos, os resultados foram de 66% para os critérios agrícolas e 34% para o critério de meio ambiente. Verifica-se nos resultados analisados, um antagonismo, pois seria esperado que em corporações de grande porte, os gestores destes empreendimentos, pela natureza do perfil do cargo e não do entrevistado, poderiam ter uma visão de gestão de negócios e não somente agrícola com o foi avaliado. Por outro lado, os resultados dos técnicos, coincidem com as expectativas esperadas.

Assim, conclui-se que os perfis dos entrevistados nas usinas individuais, por terem uma gestão empresarial centralizada, tiveram a utilização do sensoriamento remoto como uma ferramenta sistêmica de tomada de decisões. Em contrapartida, as corporações, que pela gestão especializada, direcionadas à competitividade, o sensoriamento remoto foi priorizado como uma ferramenta de gestão da produção agrícola, em função das necessidades específicas de resultados e do planejamento empresarial, característico dos grandes empreendimentos. Para efeito das análises da tabela 7, as empresa J, K e L não foram consideradas nas análises, em função das mesmas não participarem de produções agrícolas efetivas.

4.3 Considerações Finais

Em breve análise do setor sucroenergético, importantíssimo relatar que na década de 2000 a 2010, houve um intenso movimento de investimento nacional e internacional neste setor agrícola nacional, como consequência da busca por energias renováveis para a matriz energética do país. Notadamente uma ótima competitividade agrícola fez o Brasil um país líder nas

tecnologias agrícolas e industriais de produção de açúcar e etanol, além da produção de bioeletricidade. Contudo, um forte antagonismo cultural pode ser observado, nesta transição de negócios, (familiar-empresarial) em função da necessidade tecnológica dos grandes grupos internacionais e em detrimento das tecnologias conservadora utilizadas até então.

Importante ressaltar que os resultados oriundos desta pesquisa estão diretamente correlacionados à situação econômica financeira do setor sucroenergético, pois os interlocutores entrevistados estão intimamente ligados aos resultados técnicos, operacionais e financeiros pelas empresas que respondem e desta forma, sensíveis nas prioridades e nas tendências tecnológicas utilizadas pelo setor. Notável, que durante o período em que a pesquisa foi desenvolvida (2010 a 2012), o setor sucroenergético atravessou grave crise de suprimento de matéria prima, com problemas meteorológicos (estiagem 2010 e excesso pluviosidade aliado a baixa insolação em 2011), assim como, e conseqüentemente, quebra de produção agrícola, influenciando potencialmente os resultados da pesquisa.

Apesar destas considerações, ora apresentadas, de maneira geral os resultados oferecem mecanismos para diagnosticar as Geotecnologias utilizadas, assim como, suas restrições, no setor sucroenergético. Estes resultados permitem, avaliar necessidades tecnológicas pelas indústrias de suprimento de geotecnologias e da mesma forma, balizar as demandas por estas tecnologias do setor sucroenergético.

Em referência aos resultados da utilização do sensoriamento remoto em meio ambiente, é perceptível, a continuidade destas aplicações, em função da permanente e crescente obrigatoriedade legislativa e fiscalizatória para a regularização ambiental dos empreendimentos, assim como, a abertura de novos mercados, para empresas que estejam com sua gestão ambiental regularizada.

Com os resultados nas questões direcionadas às restrições, é importante determinar as oportunidades crescentes na formação de novos profissionais especializados em geotecnologias em função ainda da dificuldade efetiva na oferta destes profissionais, com conhecimentos específicos das geotecnologias, associadas às praticas de gestão do setor sucroenergético.

De forma conclusiva, é possível afirmar que, para a evolução da utilização do sensoriamento remoto, torna-se fundamental e indispensável a identificação adequada dos profissionais tomadores de decisão, na escolha das aquisições e aplicações das geotecnologias. Complementarmente, é perceptível que para as grandes corporações as oportunidades oriundas do

sensoriamento remoto e das geotecnologias advirão dos resultados nas aplicações em gestão de negócios, pois estas utilizações permitem subsidiar tomadas de decisões estratégicas e apoiar no planejamento de forma sistêmica e não apenas sob o enfoque operacional.

De uma forma geral, existem poucas informações acadêmicas e mercadológicas sobre as principais aplicações e restrições de uso do Sensoriamento remoto no setor sucroenergético. O trabalho teve como objetivo hierarquizar este cenário de aplicações das geotecnologias, pois pode contribuir significativamente com o diagnóstico das tendências atuais do sensoriamento remoto no setor sucroenergético.

Mediante o exposto na pesquisa, torna-se pertinente apontar algumas considerações sobre o tema, sem, contudo, apontar diretrizes absolutas. Tratou-se de mostrar fatos importantes das aplicações tecnológicas no setor sucroenergético, assim como, as razões pelos quais não são mais significativas e difundidas tais tecnologias.

5. CONCLUSÕES

- A utilização do método multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) possibilitou hierarquizar as principais aplicações do sensoriamento remoto no setor sucroenergético para as aplicações agrícola, meio ambiente e gestão de negócios. Da mesma forma, hierarquizar as principais restrições das aplicações como, conhecimento em tecnologias do sensoriamento remoto, disponibilidade de recursos humanos e custos da tecnologia do sensoriamento remoto.
- O processo de hierarquização possibilitou determinar as prioridades de utilização das geotecnologias no setor sucroenergético, sendo a primeira utilização em aplicações agrícolas, seguido de meio ambiente e gestão de negócios.
- A hierarquia das restrições de utilização do sensoriamento remoto no setor sucroenergético foi conhecimento em tecnologia em sensoriamento remoto, disponibilidade em recursos humanos e por último custos da tecnologia em sensoriamento remoto.
- De acordo com a utilização do Software Expert Choice®, especializado no método AHP (Analytic Hierarchy Process), foi possível a realização das estatísticas e análises necessárias pertinentes aos resultados esperados, onde vale ressaltar as facilidades do software utilizado.
- Em relação aos mercados potenciais das aplicações do sensoriamento remoto, no setor sucroenergético, pode-se concluir que a sua aplicação na área agrícola é a que mais demandou o uso de geotecnologias.
- É perceptível que existem oportunidades mercadológicas, para as indústrias de sensoriamento remoto (fornecedoras de dados geoespaciais), empresas de transformação e processamento de dados geoespaciais (sistemas de informação e softwares específicos).

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros nesta temática, seria interessante aprofundar as informações no mesmo modelo multicritério, sobre o detalhamento das aplicações em Agricultura, Meio Ambiente e Gestão de Negócios, para que de fato, seja possível orientar, sugerir, ou propor novos usos e aplicações práticas, para os empreendimentos do setor sucroenergético.

É nítido que a combinação de resultados inferiores em aplicações do sensoriamento remoto para gestão de negócios aliados às restrições de acesso ao conhecimento da tecnologia do sensoriamento remoto, disponibiliza um campo fértil a diagnosticar oportunidades não só para o ambiente acadêmico, mas como oportunidade de novos cenários de negócios.

Estudos desta natureza certamente poderão contribuir para uma agenda de pesquisas que orientem as estratégias de aumento da utilização das Geotecnologias aplicadas, aos diversos ramos da Agricultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Lucijane Monteiro de; GRANEMANN, Sérgio Ronaldo; GARTNER, Ivan; BERNARDES, Ricardo Silveira. Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.2, p. 257-262, 2000.

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R.; SHIMABUKURO, Y. E. Monitoramento da colheita da cana-de-açúcar por meio de imagens modis. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 60, p. 375-383, 2008.

ASAHI, T.; TURO, D.; SHNEIDERMAN, B. (1994). *Visual decision-making: Using tree maps for the Analytic Hierarchy Process*. University of Maryland, Maryland.

BANNA E COSTA, Carlos A. Absolute and Relative Evaluation Problematics. The Concept of Neutral Level and the MCDA Robot Technique. *Proceedings of the International Workshops on Multicriteria Decision Making, Methods - Algorithms - Applications*. Libice (1992).

BARBAROSOGLU, G.; PINHAS, D. (1995). Capital rationing in the public sector using the analytic hierarchy process. Disponível em: <
<http://www.allbusiness.com/accounting/budget/524612-1.html>>. Acesso em: 07 maio de 2011.

BÉGUÉ, A., TODOROFF, P., PATER, J. Multi-time scale analysis of sugarcane within-field variability: Improved crop diagnosis using satellite time series. *Precision Agriculture*, v. 9, p. 161-171. 2008.

BELTON, V.; STEWART, T. J. *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Boston: Kluwer Academic Press, p. 1-5, 2002

BILICH, Marina Rolim. Identificação de área plantada com cana-de-açúcar utilizando imagens MODIS, no estado de Goiás. 2009. 927-933 f. *Anais do Xiv Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (1) - Universidade Federal de Brasília, Natal, 2009*.

BORITZ, J. E. (1992). *Pairwise Comparison - The Analytic Hierarchy Process*. University of Waterloo, Waterloo.

BOUYSSOU, D. Building criteria: A prerequisite for MCDA. In Bana E Costa, Carlos, editor, *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Heidelberg : Springer, 1990. p. 58-80.

BOUYSSOU, D. Décision multicritère ou aide multicritère? *Bulletin du Groupe de Travail Européen "Aide Multicritère à la Décision"*, series 2, n. 2, Printemps, 1993.

COLLINS, M. G., STEINER, F. R., RUSHMAN, M. J. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. *Environment Management*. v. 28, n. 5, p. 611-62, 2001.

DIESEL, L.E. Proposta de um sistema de gestão de riscos viários (sigrav/2009) usando Geointeligência para rodovias do estado de Santa Catarina – sul do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 203p, 2009.

DODGSON, J.; SPACKMAN, M.; PEARMAN, A.; PHILLIPS, L. (2001). DTLR multi-criteria analysis manual. DTLR – Department for Transport, Local Government and the Regions, Reino Unido.

EASTMAN, J. R.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. GIS and decision making. Genebra: UNITAR, 1993. 112 p. (Explorations in Geographic Information Systems Technology).

EASTMAN, J. R. Idrisi for Windows user's guide. Worcester: Clark University, 1995. 109 p.

EASTMAN, J.R. Decision support: decision strategy analysis. Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v.2, 22p.

EASTMAN, J. R. Idrisi Kilimanjaro: guide to GIS and image processing. Worcester: Clark University, 2003. 328p. Manual Version 14.00

ESTES, J.E.; MOONEYHAN, D.W. Of maps and myths. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60 (5): 517-524, 1994.

FELIPE, A. P. S, A Política agrícola Brasileira: As negociações na OMC. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 130p, 2006.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, A. Relação entre índice de vegetação global e condições hídricas no Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.33, n.8, p. 1399-1405, 1998. ,

FONTANA, D. C., WEBER, E., DUCATI, J., FIGUEIREDO, D. C., BERLATO, M. A., BERGAMASCHI, H. Monitoramento e previsão de safras no Brasil. Porto Alegre, 2000. Disponível em: <
http://www.ufrgs.br/srm/novo/publicacoes/SLAPR%202000_fontana_artigo2.pdf>. Acesso em: 02/03/2011.

GALVÃO, L.S.; FORMAGGIO, A.R.; TISOT, D.A. Discrimination of sugarcane varieties in southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. Remote Sensing of Environment, New York, v.94, n.4, p.523-34, 2005.

GIANNOTTI, M. A. Geotecnologias na análise de impactos sócio-ambientais: o caso da queima de cana-de-açúcar na região de Piracicaba. 2001. 147 f. 1 (1) - Departamento de Sensoriamento Remoto, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José Dos Campos, 2001.

GILHOTO, J. J. M.; FURTUOSO, M. C. O.; BARROS, G. S. C. O agronegócio na economia brasileira 1994 a 1999 - Confederação Nacional da Agricultura. Relatório Metodológico CNA. Setembro 2000. Disponível em:
http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/other/relatorio_metodologico.pdf. Acesso em 10.abr.2011.

GONÇALVES, R. W. (2001). Métodos multicritérios como apoio à decisão em comitês de bacias hidrográficas. Dissertação (Mestrado). UNIFOR, Fortaleza.

HOLZ, E. Estratégias de equilíbrio entre a busca de benefícios privados e os custos sociais gerados pelas unidades agrícolas familiares. Um método multicritério de avaliação e planejamento de microbacias hidrográficas. Tese – doutorado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

FINNIE, G.R.; WITTIG, G.E. (1999). An Intelligent Web Tool for Collection of Comparative Survey Data. School of Information Technology Bond University, Austrália.

JANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. International Journal of Geographical Information Science. v. 14, n. 2, p.173-184. 2000.

JANSEN, L. K. C.; SHIMIZO, T.; JANSEN, J. U. (2004). Uma análise de investimentos considerando fatores intangíveis. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Florianópolis.

JENSEN, J. R. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. New Jersey: Prentice Hall, 544p. ISBN 0-13-489733-1, 2000.

JIANYUAN, Y. (1992). Using Analytic Hierarchy Process as the auxiliary decision of computer integrated system for library management (CISLM). Nankai University, China.

KATAYAMA, K.; KOSHIISHI, T.; NARIHISA, H. (2005). Reinforcement Learning Agents with Primary Knowledge Designed by Analytic Hierarchy Process. Okayama University of Science, Okayama.

KIM, S. C. (1999). Statistical Issues in Combining Expert Opinions for Analytic Hierarchy Process. Soongsil University, Coréia.

LAININEM, P.; HÄMÄLÄINEN, R. P. Analyzing AHP-matrices by Robust Regression. (1999). Helsinki University of Technology, Helsinki. D.

LASKAR, Arabinda. Integrating GIS and Multicriteria Decision Making Techniques for Land Resource Planning. 2003. 1 v. Thesis On Master Of Science In Geoinformatics (1) - International Institute For Geo-information Science And Earth Observation, Enschede, The Netherlands, 2003.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation. 4th ed. Madison: University of Wisconsin, 2000. 725p.

LUCENA, L. F. L. (1999). A análise multicriterial na avaliação de impactos ambientais. Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. 13, Recife, Brazil.

MALCZEWSKI, J., GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons, 392 pp., New York, NY, 1999.

MALCZEWSKI, J. GIS - based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in Planning. v. 62, n. 1, p. 3-65, Jul. 2004.

NAVES, R. M. Análise hierárquica de sistemas de bilhetagem eletrônica. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ, 2008.

OLIVEIRA, L.M.T. Estudo das Regiões Fitoecológicas brasileiras pela FAPAR/NDVI e relações com séries temporais de dados pluviométricos. 2008. 226 p. Tese (doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

PAMPLONA, Edson de Oliveira. Avaliação qualitativa de cost drivers pelo método AHP. (1999) Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá.

PIROLI, Edson Luís. ANÁLISE DO USO DA TERRA NA MICROBACIA DO ARROIO DO MEIO – SANTA MARIA – RS, POR SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E IMAGEM DE SATÉLITE.. 147 f. Revista Científica - Ciência Rural (1) - Departamento de Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria , Rio Grande do Sul, 2002.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. Uberlândia : Edefu, 1995. 117p.

ROSA, R. GEOTECNOLOGIAS NA GEOGRAFIA APLICADA. Revista do Departamento de Geografia, Rio de Janeiro, n. , p.80-89, 2 out. 2005.

ROY, B. Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Economica XXII, Paris, 423p. 1985.

RUDORFF, B. F. T., Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura. 2002. (9.1 - 9.12) Departamento de Sensoriamento Remoto, Inpe - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José Dos Campos, 2002.

RUDORFF, B.F.T.; SUGAWARA, L.M.; MOREIRA, M.A.; DUARTE, V.; XAVIER, A.C.; ROSA, V.G.C.; SHIMABUKURO, Y.E. Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em são paulo: ano-safra 2003/04. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v. 52, n. 1, p. 21-39, 2005.

RUDORFF, B.F.T.; AGUIAR, D.A.; SILVA, W.F.; SUGAWARA, L.M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M.A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. Journal of Remote Sensing, v.2, p.1057-1076, 2010.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T.L., Decision Making with Dependence and Feedback : The Analytic Network Process, Pittsburgh-PA, 1990.

SCHMIDT, Daniel L. et al. The analytic Hierarchy Process in natural Resource and Environmental Decision Making: Basic Principles of Decision Making in Natural Resources and the Environmental. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001. 1-13 p.

SIERRA F., C.; HUARAJA C., E. Situação atual da cartografia topográfica na América do Sul. (Relatório Final de Iniciação à Pesquisa do curso de graduação em Engenharia Cartográfica). Rio de Janeiro, IME, DE/6. 40 p. 2001.

SHIAU, Y.; TSAI, T.; WANG, W.; HUANG, M. Use questionnaire and AHP techniques to develop subcontractor selection system. China: Chung Hua University, 2002.

SCHMOLDT, D. L.; PETERSON, D. L.; SMITH, R. L. (1995). The Analytic Hierarchy Process and participatory decision-making. USDA Forest Service, Virgínia.

SOUTO, M. V. da S. e AMARO, V. E. Aplicação das técnicas de geoprocessamento para o mapeamento da Vulnerabilidade Natural para a região da Ponta do Tubarão, litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, município de Macau. Anais XII SBSR, 2773-2778, Goiânia, 2005

STEIGUER, J. E.; DUBERSTEIN, J.; LOPES, V. (2005). The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management.

THIRUMALAIVASAN, D.; KARMEGAM, M. Aquifer vulnerability assessment using Analytic Hierarchy Process and GIS for upper palar watershed. 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapura. 2001.

TOMA, T.; ASHARIF, M. R. AHP coefficients optimization technique based on GA. Department of Information Engineering of University of Ryukyus, Japão, 2003.

VALÉRIO FILHO, M.; DONZELI, P.L.; PINTO, S. dos A. F., et al. Monitoramento da dinâmica do uso agrícola e vegetação natural em microbacias hidrográficas através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, RJ. Anais... Rio de Janeiro : SBCS, Publicado em CD ROM. 1997.

VASCONCELOS, Cíntia Honório. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens – fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. 6 f. Revista - Vasconcelos e Novo (1) - Acta Amazonica, Manaus, 2004.

VERGARA, O. R.; CINTRA, J. P.; D'ALGE, J. C. L. Atualização cartográfica integrando técnicas de Sensoriamento Remoto, Processamento de Imagens e Sistemas de Informação Geográfica. In: Simpósio Latino Americano de Percepção Remota, 10., 2002, La Paz, Bolívia. Anais... La Paz: SELPER, 2002.

VILAS BOAS, C. L.. Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da barragem do ribeirão João Leite. 2006. 145 f. Dissertação (Mestrado em Economia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

WALKER, P. A.; MALLAWAARACHCHI, T. Disaggregating agricultural statistics using NOAA-AVHRR NDVI. Remote Sensing of Environment, v. 63, n. 2, p. 112- 125, 1998.