

PROJETO PROCAD/CAPES 2007

1 Identificação do Projeto

Título: **Seguro Agrícola: Modelagem Estatística e Precificação – USP / UFMG / UFLA / UFPR**

IES Coordenação Geral:

- Universidade de São Paulo (USP)
- Instituto de Matemática e Estatística (IME)
Programa: Pós-graduação em Estatística (Mestrado e Doutorado)
 - Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ)
Programas: – Pós-graduação em Economia Aplicada (Mestrado e Doutorado)
– Pós-graduação em Estatística e Experimentação Agronômica (Mestrado e Doutorado)

IES Associadas:

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Instituto de Ciências Exatas (Icex)
Programa: Pós-graduação em Estatística (Mestrado e Doutorado)

Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Departamento de Ciências Exatas (DEX)
Programa: Pós-graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária (Mestrado e Doutorado)

Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Departamento de Estatística (DEST)

2 Identificação das Equipes

Equipe USP (coordenação geral):

- Pablo Augusto Ferrari (docente IME, doutor)
- Vladimir Belitsky (docente IME, PhD)
- Viviana Giampaoli (docente IME, doutora)
- Vitor Augusto Ozaki (docente ESALQ, doutor)
- Clarice Garcia Borges Demétrio (docente ESALQ, doutora)
- Ricardo Shirota (docente ESALQ, PhD)
- Roberto Arruda de Souza Lima (docente ESALQ, doutor)

Coordenador: Pablo Augusto Ferrari
Departamento de Estatística
Instituto de Matemática e Estatística
Universidade de São Paulo

São Paulo - SP
Caixa Postal 66281 - CEP 05311-970
Telefone: (11) 30916103 – Fax: (11) 30916130
e-mail: pablo@ime.usp.br

Equipe UFMG (equipe associada 1):

- Renato Martins Assunção (docente, PhD)
 - Edna Afonso Reis (docente, doutoranda)
 - Fredy Walther Castellares Cáceres (docente, doutor)
 - Marcelo Azevedo Costa (docente, doutor)
 - Ramiro Ruiz Cárdenas (PRODOC/CAPES*, doutor)
- * projeto submetido à CAPES em 21/12/2007

Coordenador: Renato Martins Assunção
Departamento de Estatística
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal de Minas Gerais
CEP 31270-901 - Belo Horizonte - MG - Brasil
Telefone: (31) 34995923 – Fax: (31) 34995924
e-mail: assuncao@est.ufmg.br

Equipe UFLA (equipe associada 2):

- Lucas Monteiro Chaves (docente, doutor)
- João Domingos Scalon (docente, doutor)
- Júlio Sílvio de Sousa Bueno Filho (docente, doutor)
- Marcelo Silva de Oliveira (docente, doutor)
- Devanil Jaques de Sousa (aluno, mestre)

Coordenador: João Domingos Scalon
Universidade Federal de Lavras
Departamento de Ciências Exatas (DEX)
Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária
Caixa Postal 3037
37200- 000 - Lavras - MG - Brasil
Telefone: (35) 38291653 – Fax: (35) 38291371
e-mail: scalon@ufla.br

Equipe UFPR (equipe associada 3):

- Paulo Justiniano Ribeiro Junior (docente, PhD)
- Silvia Emiko Shimakura (docente, PhD)
- Ricardo Sandes Ehlers (docente, PhD)
- Joel Maurício Corrêa da Rosa (docente, doutor)

Coordenador: Paulo Justiniano Ribeiro Junior
Universidade Federal do Paraná
Departamento de Estatística (DEST)
Setor de Ciências Exatas

CEP 81531 - 990
Curitiba, PR - Brasil
Telefone: (41) 33613573 – Fax: (41) 3361-3141
e-mail: paulojus@ufpr.br

3 Detalhamento do Projeto

3.1 Justificativa

3.1.1 Importância setorial e nacional

O agro-negócio é reconhecidamente uma das principais atividades econômicas em nosso país. Ele foi responsável em 2006 por 26,7% do Produto Interno Bruto (PIB) e 36,9% das exportações totais brasileiras. Entre os anos 2000 e 2006, a taxa de crescimento do PIB agropecuário foi de 3,58%. O Brasil é atualmente o primeiro produtor e exportador de café, açúcar e sucos de frutas. Além disso, lidera o ranking das vendas externas de carne bovina, carne de frango, álcool, tabaco e couro. As projeções indicam que o país também será, em pouco tempo, o principal pólo mundial de produção de algodão e biocombustíveis, feitos a partir de cana de açúcar, soja e óleos vegetais.

Uma característica da atividade agrícola é sua susceptibilidade aos fenômenos climáticos adversos, tornando-a, por esse motivo, uma atividade de alto risco. Mudanças nas condições de mercado e nos ambientes político e econômico, entre outras, são variáveis exógenas à atividade de produzir que também aumentam o risco desta atividade.

A gestão eficiente dos riscos é crucial para a obtenção do retorno desejado e para se proteger de grandes efeitos negativos na rentabilidade do agro-negócio. Além disso, ajuda a eliminar a brusca alternância de resultados negativos e positivos, como também aumentar o valor da empresa para seus acionistas ao melhorar a gestão dos possíveis impactos negativos no seu fluxo de caixa esperado e na redução do seu custo de capital (Abbusamra, 2006).

Um mecanismo de gestão de risco que permite reduzir o risco de produção no agro-negócio sem grandes oscilações no retorno esperado é o seguro agrícola. De forma geral, o seguro agrícola no Brasil tem sido oferecido pelas seguradoras na forma de um seguro multirisco, cobrindo as explorações agrícolas contra perdas decorrentes de riscos de diversas origens, tais como: incêndio e raio, tromba d'água, ventos fortes, granizo, geada, chuvas excessivas, seca, variação excessiva de temperatura e inundação. No entanto, uma característica marcante do seguro agrícola no Brasil é a baixa adoção por parte dos produtores rurais.

Nos últimos anos, o governo federal tem fomentado o seguro rural com o objetivo de alavancar as operações de seguro agrícola, a fim de torná-lo o principal mecanismo de gestão de risco para o agro-negócio. Uma das principais medidas foi a implementação do Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural, que tem o objetivo de reduzir o custo do seguro para o produtor rural, por meio da subvenção de um percentual do prêmio pago pelo seguro. Porém, apesar do esforço governamental, o seguro agrícola se encontra em um estágio embrionário. Os R\$ 99,5 milhões disponibilizados pelo governo federal este ano para a subvenção ao seguro agrícola em todo o país,

serão suficientes para dar cobertura a 5 milhões de hectares, apenas 8% da área explorada com culturas anuais e permanentes no Brasil. Nos EUA, por exemplo, o seguro agrícola cobre mais de 90% da área plantada.

Um dos principais entraves do mercado de seguro agrícola está relacionado a falta de metodologias que quantifiquem adequadamente o risco associado à atividade. De forma geral, a ciência atuarial está fundamentada em metodologias que assumem determinadas pressuposições tais como independência entre as unidades seguradas, fazendo com que o risco agregado se torne menor do que o risco individual. Este resultado é uma consequência da Lei dos Grandes Números. O seguro agrícola apresenta diversas peculiaridades que violam completamente tais pre-suposições. Por exemplo, um sinistro causado por uma seca pode afetar não somente uma propriedade rural, mas centenas de propriedades em uma vasta extensão territorial. Dada essa natureza sistêmica do risco, a pressuposição de independência das unidades seguradas é violada (Ozaki, 2006b), fazendo com que o risco agregado se torne maior do que o risco individual. Isto faz com que a seguradora eleve sua probabilidade de entrar em ruína. De acordo com Miranda e Glauber (1997), o risco nos portfólios de seguro agrícola é 20 a 25 vezes maior do que seria se as produtividades fossem independentes. As implicações disso para o mercado segurador são perversas.

Questões relacionadas ao desenvolvimento de metodologias para a quantificação e monitoramento desse tipo de risco serão abordados neste projeto, bem como a importância de se considerar a componente espacial em qualquer tentativa de modelagem atuarial envolvendo risco sistêmico, como é o caso da atividade agrícola. Nesse contexto, o estudo abordará o tema do seguro agrícola sob uma perspectiva estatístico-atuarial e econômica, visando o desenvolvimento de novas estratégias de seguro para o setor que contribuam para a gestão eficiente do risco no agro-negócio. Os resultados do projeto poderão beneficiar não apenas as instituições de ensino envolvidas, mas o mercado segurador como um todo.

Seguro Agrícola e Biocombustíveis:

O setor de biocombustíveis merece destaque especial no agro-negócio brasileiro. Atualmente o setor mais dinâmico da agropecuária e o de cana-de-açúcar, estimulado pela valorização do preço do açúcar e, principalmente, pela crescente demanda por biocombustíveis. Da produção mundial de 40 bilhões de litros de etanol, o Brasil é responsável por uma fatia de cerca de 17 bilhões, mas tem reais possibilidades de aumentar a sua participação. Segundo a Datagro, a quantidade de cana moída no país deverá aumentar de 473 milhões de toneladas na próxima safra para 700 milhões em 2014. Isso vai exigir investimentos em 114 novas usinas - hoje o Brasil tem 357 unidades em operação e outras 43 em construção. Com o avanço, a cadeia produtiva sucro-alcooleira deverá cada vez mais exigir proteção dos seus ativos, no mesmo ritmo em que se desenvolve.

A expectativa em relação ao etanol é que o segmento da cana-de-açúcar incorpore a cultura do seguro como instrumento de proteção do seu plantio para que esse mercado possa desenvolver-se com consistência. Surge assim a necessidade de desenvolver ao mesmo tempo estratégias de quantificação, mitigação e gestão dos riscos específicas para atender este importante setor produtivo.

3.1.2 Importância Institucional

O Programa de Pós-Graduação em Estatística do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME-USP) foi criado em 1970 e já formou mais de 250 mestres e 100 doutores.

Na última avaliação da CAPES, o programa recebeu nota máxima (7 em uma escala de 1 a 7). O programa já conta com uma linha de pesquisa consolidada em Estatística em Finanças e Atuária, além de outras linhas de pesquisa correlacionadas a este projeto, tais como: processos estocásticos, modelos de regressão, séries temporais e econometria e inferência Bayesiana.

O IME organiza regularmente o evento “Brazilian Conference on Statistical Modelling in Insurance and Finance”, que visa fornecer um fórum para a apresentação de pesquisa sobre o desenvolvimento, implementação e aplicações do mundo real de modelos estatísticos em ciências atuariais e finanças, assim como para a discussão de problemas de interesse nessa área.

O Programa de Pós-Graduação em Estatística de UFMG, criado em 1996 já é um programa consolidado a nível de mestrado. Em 2005 foi criado o programa de doutorado. Na última avaliação da CAPES, o programa recebeu nota 4 (em uma escala de 1 a 7). O programa tem uma linha de pesquisa consolidada em Estatística espacial. Outras linhas de pesquisa ativas do programa de interesse para o projeto incluem: séries temporais, processos estocásticos e inferência Bayesiana.

Com a criação do curso de graduação em Ciências Atuariais em 2001, vem crescendo o interesse em consolidar na UFMG novas linhas de pesquisa na área de Atuária, em sintonia com as necessidades do mercado, o que permitirá dar continuidade ao processo de formação dos bachareles em Ciências Atuariais, para suprir a carência de profissionais altamente qualificados nessa área.

O Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária da UFPA teve início em 1996 com o programa de mestrado. O programa de doutorado começou em 2003. Já foram defendidas quase 100 dissertações de mestrado e 8 teses de doutorado. Na última avaliação da CAPES, o programa recebeu nota 4 (em uma escala de 1 a 7). Entre as atuais linhas de pesquisa do programa que tem relação direta com este projeto destacam-se análise de regressão e séries temporais, Estatística computacional e simulação de dados, análise multivariada e inferência Bayesiana.

O programa de pós-graduação em Estatística e Experimentação Agronômica da ESALQ - USP foi implantado em 1964 para Mestrado e em 1979 para Doutorado. Já foram concluídas 210 dissertações de Mestrado e 85 teses de Doutorado. Entre suas linhas de pesquisa destacam-se Estatística Experimental e modelos de regressão, com ênfase em modelos lineares, lineares generalizados e não lineares, incorporando superdispersão e excesso de zeros.

O programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da DEAS - ESALQ - USP está entre os melhores do Brasil, sendo classificado na última avaliação da CAPES como nível 6, o máximo nível atribuído nessa avaliação da CAPES para programas na área de Economia, sendo igualado apenas por mais três programas de pós-graduação nessa área. A Pós-Graduação do DEAS oferece um Mestrado strictu sensu em Economia Aplicada (iniciado em 1966) e um Doutorado em Economia Aplicada (iniciado em 1991), assim como diversos cursos de especialização e MBA. Entre as linhas de pesquisa do programa destacam-se: Mercados financeiros e crédito, Mercados futuros agropecuários, Agricultura e produção de energia. Seguro Agrícola tem sido um tema de interesse do programa, como mostram as recentes publicações na área (e.g. Ozaki e Shirota, 2005; Ozaki, 2005, 2006,b,c; Ozaki et al., 2008).

O LEG (Laboratório de Estatística e Geoinformação) faz parte do Departamento de Estatística da UFPR e, embora ainda não conte com um programa de pós-graduação em Estatística, possui um corpo docente qualificado que desenvolve pesquisa aplicada em parceria com diferentes instituições.

Membros do LEG participam de programas de pós-graduação tais como o de estatística e experimentação agrônômica (ESALQ/USP), PGMNE (métodos numéricos em engenharia - UFPR) além de inserção recente no programa de pós-graduação em economia da UFPR. Além disto, parcerias de pesquisa do LEG permitem que seus membros participem ativamente em diversos programas de pós-graduação no Brasil (UFPR, UNESP, ESALQ-USP, UFRJ, INPE, FIOCRUZ, PUC-Rio) e no exterior (Lancaster University) como orientadores, colaboradores, co-orientadores e membros de banca. Os pesquisadores do LEG têm desenvolvido atividades de pesquisa em áreas relevantes para este projeto tais como estatística espacial, séries temporais, métodos computacionalmente intensivos, modelagem estatística e desenvolvimento de ferramentas computacionais livres que incluem modelagem estatística e integração com sistemas de informação geográfica. A cooperação acadêmica já existente entre o LEG e as demais instituições viabiliza os objetivos deste projeto.

O LEG/UFPR tem promovido eventos que garantem o contato com pesquisadores externos à UFPR e, desta forma, manter a cooperação científica com programas de pós-graduação já consolidados. Por exemplo, nos anos de 2005 e 2006 foram promovidos dois *workshops* nos temas Estatística Espacial e Finanças, respectivamente, que contaram com docentes/pesquisadores ligados à UFRJ, UNICAMP, PUC-Rio, além de promover intercâmbio com outros departamentos na UFPR.

A cooperação científica entre os membros das equipes participantes no projeto através de pesquisa e produção científica conjunta, contribuirá para o desenvolvimento de novas linhas de pesquisa em Ciências Atuariais na UFMG e na UFLA e permitirá a elevação geral da qualidade dos programas de pós-graduação envolvidos. A Mobilização de docentes, pesquisadores e estudantes de iniciação científica entre os grupos de pesquisa envolvidos no projeto também será benéfica para todas as instituições.

3.2 Objetivos

Os objetivos do projeto “Seguro Agrícola: Modelagem Estatística e Precificação – USP/UFMG/UFLA/UFPR” atendem as metas esperadas pelo edital PROCAD:

1. cooperar para a consolidação do programa de doutorado em Estatística da UFMG e do programa de doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária da UFLA;
2. estimular através de publicações conjuntas, o desenvolvimento de uma linha de pesquisa em Modelagem Atuarial com ênfase em seguro rural nos programas de pós-graduação da UFMG, UFLA e ESALQ-USP;
3. promover a colaboração científica entre os membros das várias equipes, o que resultaria na elevação geral da qualidade dos programas de pós-graduação das instituições envolvidas;
4. Formar recursos humanos qualificados, isto é, graduar mestres e doutores com ênfase na área de Atuária para suprir as necessidades das IES e do mercado em geral, que atualmente carece de profissionais altamente qualificados nesta área.
5. integrar um importante centro acadêmico da região Sul ao desenvolvimento de pesquisa científica especializada na área de produtividade agrícola;
6. promover a inserção do LEG/UFPR em linhas de pesquisa associadas a modelagem atuarial e produtividade agrícola.

3.3 Fundamentação Teórica

- *Modelagem e precificação de derivativos climáticos:*

Os riscos climáticos são uma das maiores fontes de incerteza na agricultura. Além do impacto direto sobre a produtividade das culturas, os riscos climáticos também afetam grande parte das atividades ligadas ao agro-negócio que dependem do clima, tais como a pecuária, o uso de agro-tóxicos e fertilizantes, a demanda por produtos alimentícios, etc.

Uma recente alternativa para gerenciar o risco associado a eventos climáticos são os chamados derivativos climáticos, instrumentos financeiros que permitem negociar riscos relacionados a eventos climáticos adversos. Os participantes do mercado de derivativos climáticos incluem vários setores importantes da economia diretamente ou indiretamente afetados por variações no clima, tais como os setores de energia, seguros, bancos, turismo e entretenimento, entre outros. Recentemente tem aumentado o interesse por este tipo de derivativos também no setor agrícola (e.g. Vedonov e Barnett, 2000; Mahul, 2001; Turvey, 2001).

O mercado de derivativos climáticos baseado em índices de temperatura tem crescido significativamente nos últimos anos, estimulado pela crescente demanda do setor de energia. Estima-se que atualmente 80% dos contratos de derivativos climáticos ofertados no mundo sejam de derivativos para temperatura. Em contraste, o mercado para derivativos baseados em índices de precipitação, de grande importância para o setor agrícola, apenas começa a se desenvolver (e.g., Martin, 2001).

Uma das principais dificuldades de implementação do mercado de derivativos climáticos é a presença do chamado risco de base, que surge quando variações na produtividade da propriedade rural não estão completamente correlacionadas com a variável climática considerada no derivativo. No caso de um derivativo baseado em um índice de precipitação, por exemplo, a quantidade de chuva medida na estação meteorológica considerada para o cálculo do derivativo pode ser muito diferente da quantidade de chuva que de fato caiu na propriedade rural segurada. Nesse caso podem ocorrer perdas reais na produtividade da propriedade rural sem que ocorra o pagamento da apólice ou, no caso contrário, o produtor rural pode receber o pagamento da apólice mesmo sem ter sofrido perdas de produtividade na sua propriedade.

A pesar de sua importância, os efeitos do risco de base na implementação de derivativos climáticos para o setor agrícola têm sido pouco estudados. Em particular, abordagens espacialmente estruturadas de modelagem e precificação, que considerem explicitamente o aspecto geográfico do risco de base, não têm sido consideradas na literatura de derivativos climáticos.

No mercado de derivativos climáticos, os aspectos geográficos do risco de base evidenciam a necessidade de considerar uma abordagem espacialmente estruturada, tanto na modelagem da variável climática de interesse, quanto nos métodos de precificação dos derivativos.

Três aspectos inter-relacionados estão envolvidos na implementação de um derivativo climático: (i) a modelagem estatística do índice climático subjacente, (ii) a quantificação da relação entre variáveis climáticas e produtividade, e (iii) o desenvolvimento de modelos de precificação adequados.

A modelagem do risco climático pode ser feita estimando diretamente a distribuição do índice climático, usando métodos paramétricos ou não-paramétricos (e.g. Varangis et al., 2002). Alternativamente pode-se optar por modelar a variável climática de interesse (e.g., temperatura ou chuva) e, a partir deste modelo, derivar o índice climático subjacente (e.g. Brix et al ,

2002; Campbell e Diebold, 2005). A segunda abordagem, embora mais complexa, tem como vantagens o uso mais eficiente da informação disponível e o fato de levar em consideração na modelagem aspectos como tendência e sazonalidade dos dados. Este tipo de modelagem já é rotineiramente utilizado para a análise de derivativos climáticos baseados em temperatura (e.g., Cao e Wei, 2004; Campbell e Diebold, 2005). Contudo, apesar das potenciais vantagens deste tipo de modelagem, a literatura disponível sobre derivativos climáticos baseados em precipitação em agricultura recai na estimação direta da distribuição dos índices de precipitação (e.g. Martin, 2001; Stoppa and Hess 2003).

A modelagem estatística de variáveis climáticas pode ser estendida para fazer previsão sazonal, considerando séries temporais multivariadas, o que permitiria derivar os índices climáticos considerando o clima modelado simultaneamente em várias estações meteorológicas. Algumas estratégias de modelagem neste sentido são descritas na seguinte sub-seção.

Já a precificação de derivativos climáticos enfrenta dificuldades do ponto de vista teórico, devido a que o clima não é um ativo negociável, portanto, o mercado climático é dito incompleto. Assim, abordagens tradicionais de precificação de derivativos, tais como o modelo Black-Scholes, não podem ser diretamente aplicados no caso de derivativos climáticos. Abordagens de precificação existentes incluem modelos de equilíbrio e métodos atuariais. No entanto, essas abordagens não levam em consideração o aspecto geográfico do risco de base. Modelos de precificação de derivativos climáticos que considerem explicitamente aspectos espaciais e ou temporais do risco associado são um campo a ser explorado.

- *Previsão sazonal de variáveis climáticas e/ou produtividade agrícola:*

A modelagem estatística de variáveis climáticas para fazer previsão sazonal é fundamental na definição de estratégias de gestão de risco na agricultura. Algumas abordagens recentes que tem se mostrado úteis na modelagem sazonal de séries temporais multivariadas incluem o uso de modelos Markovianos escondidos (e.g. Robertson et al., 2004; Kirhsner, 2005), redes neurais artificiais (Zhang and Qi, 2005), lógica fuzzy e modelos dinâmicos.

Algumas questões em aberto relacionadas a este tipo de modelagem incluem o desenvolvimento de modelos para séries temporais multivariadas não-Gaussianas que assumem valores reais (e.g. precipitação e temperatura) com o uso de cópulas; a estimação de dados faltantes em séries temporais incompletas e a incorporação de um componente espacial na modelagem sazonal. Estes dois últimos itens poderiam ser abordados diretamente sob o contexto Bayesiano.

- *Modelagem espaço-temporal da produtividade agrícola:*

Métodos estatísticos para precificar contratos de seguro agrícola baseados em dados de produtividade devem levar em consideração a correlação espacial e/ou temporal induzida pelo fato que eventos que afetam a produtividade tais como condições climáticas adversas, infestação de pragas e doenças, etc., tendem a afetar grandes áreas ao mesmo tempo. Este tema foi abordado por Ozaki et al. (2008) sob o contexto Bayesiano. Seu modelo espaço-temporal leva em consideração simultaneamente a tendência temporal e a autocorrelação espacial e permite calcular diretamente as taxas de prêmio a partir das simulações geradas por através de um

algoritmo de Monte Carlo via cadeias de Markov (MCMC). A abordagem Bayesiana também permite capturar a incerteza associada aos parâmetros estimados.

Tópicos de pesquisa em aberto relacionados a este tema incluem o uso de modelos espaço-temporais de produtividade mais flexíveis por exemplo sob uma abordagem de modelos dinâmicos West e Harrison (1997) e a incorporação de covariáveis climáticas e/ou tecnológicas na modelagem espaço-temporal da produtividade e na precificação dos contratos de seguro agrícola.

- *Detecção de conglomerados de risco espaciais e/ou temporais:*

Uma possível solução a ser adotada pelas seguradoras para se proteger do risco sistêmico associado à atividade agrícola é a atuação em diversas regiões distintas umas das outras em termos de características de produtividade agrícola e estrutura de risco, a fim de pulverizar espacialmente o risco. Neste sentido, a quantificação do risco ao nível de municípios é fundamental para que as seguradoras possam trabalhar com grupos de risco diversificado e precificar adequadamente os contratos de seguro.

O método de agrupamento “ k -médias” tem sido aplicado para classificar os municípios em grupos que apresentem perfis de produtividade esperada e risco semelhantes (e.g. Rudstrom et al., 2002; Popp et al., 2005; Ozaki et al., 2007b). Contudo, estes métodos não levam em consideração explicitamente a dependência espacial e/ou temporal do risco entre as regiões. Faz-se necessário a implementação de métodos de agrupamento que identifiquem conglomerados de risco considerando essa dependência.

Detecção de conglomerados espaciais e espaço-temporais tem sido uma área de pesquisa ativa no Laboratório de Estatística Espacial da UFMG, como mostram as recentes publicações na área (e.g. Assunção e Reis, 1999; Duczmal e Assunção, 2004; Costa e Assunção, 2005; Assunção et al., 2006).

- *Teoria de valores extremos aplicada à construção de mapas de risco extremo:*

Embora as ferramentas para modelagem estatística de extremos univariados esteja bem desenvolvida, a extensão destas ferramentas para modelar extremos espaciais é uma área de pesquisa muito ativa atualmente (e.g. Casson e Coles, 1999; Schlather e Tawn, 2003; Gilleland et al., 2004).

Estimar a probabilidade de eventos meteorológicos extremos é difícil devido a registros temporais limitados e a necessidade de extrapolar as distribuições para localizações onde não há observações disponíveis. Também é de interesse quantificar a incerteza associada aos mapas de risco extremo gerados, devido à quantidade limitada de dados e a sua representação espacial esparsa.

- *Integração entre geotecnologias e seguro agrícola:*

A avaliação periódica “in loco” de lavouras seguradas, a fim de verificar danos e quantificar perdas decorrentes de fenômenos meteorológicos, doenças e pragas, torna-se impraticável

quando um grande número de propriedades rurais precisa ser vistoriado em um curto período. Nesse contexto, as imagens de satélites de observação da superfície terrestre, aliadas às técnicas de geoprocessamento, podem auxiliar no acompanhamento sistemático e individualizado de lavouras em grandes áreas, além de definir áreas prioritárias a serem visitadas (Macedo e Rudorff, 2003).

Técnicas de regressão são amplamente usadas em sensoriamento remoto para descrever a relação entre a variável ambiental medida através de imagens de satélite (e.g. biomassa) e alguma variável resposta associada (e.g. índice de vegetação). Contudo, essas técnicas geralmente ignoram a informação espacial associada aos sítios de amostragem onde as variáveis foram medidas, assumindo, implicitamente, que a relação entre as variáveis é espacialmente estacionária. Tal suposição pode não ser válida quando são consideradas grandes áreas cobertas pelas técnicas de sensoriamento remoto. Surge assim a necessidade de considerar explicitamente essa não-estacionariedade espacial na modelagem estatística de dados obtidos através de geotecnologias.

O problema foco deste projeto inclui elementos de estatística espacial e grandes bases de dados de múltiplas origens e constantemente atualizadas. Desta forma é necessária também a integração de técnicas de modelagem espacial e espaço-temporal (Diggle e Ribeiro, 2007; Banerjee et al., 2004; Shabenberger e Gotway, 2005) com ferramentas de sistemas de informação geográfica de forma a combinar de forma eficiente recursos dos diferentes ambientes permitindo ainda a disponibilização das metodologias e a geração de relatórios de análise integrada a bancos de dados e sistemas de informação geográfica como apontando em Andrade Neto e Ribeiro (2005) e Andrade Neto et al. (2005b).

- *Modelos para Volatilidade na Precificação de Seguros no Mercado Agrícola:*

Na precificação de ativos no mercado financeiro, a volatilidade é uma componente estocástica que deve ser tratada adequadamente. Além dos tradicionais modelos da família ARCH, outras abordagens têm sido utilizadas para a modelagem da volatilidade em séries financeiras (e.g., Andersen et al., 2006). O mercado agrícola é diretamente afetado por turbulências na economia mundial tais como as causadas pelas oscilações no preço do petróleo. Movimentos especulativos podem impactar a precificação de seguros e modelos para previsão de volatilidade são ferramentas auxiliares no desenvolvimento de estratégias de mercado.

3.4 Infra-Estrutura e Contrapartida

Os programas de pós-graduação envolvidos possuem uma infra-estrutura adequada para a realização das atividades deste projeto. Em especial o Laboratório de Estatística Espacial (LESTE) do Departamento de Estatística da UFMG fornece um ambiente de trabalho adequado para desenvolver pesquisa nessa área. Mas de 15 dissertações de mestrado já foram realizadas ou estão em andamento atualmente no LESTE. A UFMG e a USP também contam com laboratórios de computação de alto desempenho para executar simulações de grande porte se necessário. O Laboratório de Estatística e Geoprocessamento (LEG) da UFPR também realiza importantes projetos de desenvolvimento de software e pesquisa aplicada na área de estatística espacial.

A contrapartida das instituições participantes provem de verbas das próprias instituições além daquelas provenientes de projetos de pesquisa tais como:

- Bolsas de Produtividade Científica CNPq (IME-USP/UFMG/ESALQ-USP)
- Projeto PRODOC/CAPES (UFMG)

Além dos recursos mencionados, as IES e instituições de apoio à pesquisa como a FAPESP e a FAPEMIG têm dado apoio financeiro para participação dos pesquisadores em eventos nacionais.

3.5 Linhas de Atuação após o término do projeto

Uma vez concluído o projeto espera-se ter uma rede de cooperação acadêmica consolidada na área de Modelagem Atuarial direcionada ao agro-negócio assim como a outros ramos de seguro. Espera-se também continuar a capacitação de profissionais qualificados nas IES participantes. A rede de cooperação institucional, permitirá dar continuidade às atividades de ensino e pesquisa que resultarão em uma série de orientações e publicações conjuntas.

Pretende-se também propiciar a integração das IES com as empresas que atuam no setor de seguros no país, o qual é fundamental para a implementação efetiva dos resultados do projeto na gestão de risco do agro-negócio brasileiro.

3.6 Metas e Resultados Esperados

- Formação de recursos humanos no âmbito do projeto:
 - graduar nos próximos quatro anos, 2 mestres pelo IME-USP, 4 mestres pela UFMG, 5 mestres pela ESALQ-USP e 6 mestres pela UFLA;
 - graduar nos próximos quatro anos, 1 doutor pela UFMG, 3 doutores pela ESALQ-USP e 2 doutores pela UFLA;
 - fornecer estágio pós-doutoral para membros das equipes, visando propiciar condições estimulantes para o aprimoramento científico dos docentes que atuam em departamentos ou programas de pós-graduação emergentes.
 - A equipe do LEG/UFPR tem condições de contribuir na formação de alunos de mestrado e/ou doutorado em temas relacionados ao projeto nos próximos quatro anos. Na UFPR a expectativa é de atuação em dois programas de pós-graduação: Economia e Métodos Numéricos em Engenharia, podendo eventualmente contribuir com os programas de Ciência da Computação e Engenharia Florestal. Além disto um dos membros do LEG é membro do programa de PG da ESALQ/USP onde deverá orientar alunos em temas relacionados ao projeto. Assim, a meta do LEG/UFPR é formar 3 mestres e um doutor nos próximos quatro anos.
- Consolidação de programas de pós-graduação:
 - cooperar para a consolidação do programa de doutorado em Estatística da UFMG e do programa de doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária da UFLA;
 - Estimular o desenvolvimento de uma linha de pesquisa em Atuária nos programas de pós-graduação da ESALQ-USP, da UFMG e da UFLA, através de publicações conjuntas e a orientação conjunta de alunos de mestrado e doutorado;

- Intensificação da cooperação acadêmico-científica:
 - Realização de missões de pesquisa e docência de docentes, pesquisadores e alunos de pós-graduação entre os grupos de pesquisa envolvidos no projeto;
 - organização de *Jornadas Anuais de Estatística em Seguros* a serem realizadas alternadamente nas diferentes IES participantes do projeto, para apresentar e discutir os resultados obtidos pelas diferentes equipes.
 - participação dos membros da equipe LEG/UFPR nas atividades e reuniões do projeto, bem como visitas técnicas ao LEG/UFPR e intercâmbio de estudantes de pós-graduação e pesquisadores envolvidos;
 - Consolidação linhas de pesquisa no LEG/UFPR que façam parte de programas de pós-graduação em instituições parceiras.

3.7 Cronograma de Atividades

Por se tratar de um projeto acadêmico-científico com envolvimento de equipes de três IES, serão programadas reuniões anuais para discussão conjunta dos resultados alcançados no âmbito do projeto. Essas reuniões serão realizadas durante o período de verão, afim de não prejudicar os semestres letivos:

- I Jornada de Estatística em Seguros (verão de 2009, IME - USP)
- II Jornada de Estatística em Seguros (verão de 2010, UFMG)
- III Jornada de Estatística em Seguros (verão de 2011, ESALQ - USP)
- IV Jornada de Estatística em Seguros (verão de 2012, UFLA)

Além das reuniões anuais, serão programadas várias missões de pesquisa e docência de membros das equipes entre as IES envolvidas no projeto.

Ao longo dos quatro anos do projeto serão desenvolvidos os seguintes temas de pesquisa:

- modelagem e precificação de derivativos climáticos em agricultura;
- precificação de planos de seguro agrícola;
- modelagem espaço-temporal da produtividade agrícola;
- detecção de conglomerados de risco espaciais e/ou temporais;
- teoria de valores extremos aplicada à construção de mapas de risco extremo;
- previsão sazonal de variáveis climáticas e/ou produtividade agrícola;
- integração entre sistemas de informação geográfica (GIS) e seguro agrícola;
- estratégias de seguro para o setor de biocombustíveis (produção de etanol).

Referências

- Abussamra, L.F. (2006) Gestão de Riscos no Agronegócio. *AgroAnalysis a revista do agronegocio da FGV*, **26**, 1–10.
- Andersen, T.G., Bollerslev, T., Christoffersen, P.F., and Diebold, F.X. (2006) Volatility and Correlation Forecasting. In: G. Elliot, C.W.J. Granger, and Allan Timmermann (eds.), *Handbook of Economic Forecasting Vol. 1*. Amsterdam: North-Holland, 778–878.
- Andrade Neto, P.R. and Ribeiro Jr, P.J. (2005), A Process and Environment for Embedding The R Software into TerraLib, In *Proceedings of the VII GeoInfo, Campos do Jordão, INPE, 2005*.
- Andrade Neto, P.R., Ribeiro Jr, P.J. and Fook, K. (2005) Integration of Statistics and Geographic Information Systems: the R/TerraLib Case, In *Proceedings of the VII GeoInfo, Campos do Jordão, INPE, 2005*.
- Assunção R.M, Neves MC, Camara G, Da Costa Freitas C. (2006) Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees. *International Journal of Geographical Information Science*, **20**, 797–811.
- Assunção R.M., Reis E.A. (1999) A New Proposal to Adjust Moran's I for Population Density. *Statistics in Medicine* **18**, 2147–2162.
- Banerjee, S., Carlin, B. P. and Gelfand, A. E. (2004) *Hierarchical Modelling and Analysis for spatial Data*, Chapman and Hall: Boca Raton.
- Beguiría, S. and Vicente-Serrano, S.M. (2006) Mapping the hazard of extreme rainfall by peaks over threshold extreme value analysis and spatial regression techniques. *Journal of Applied Meteorology*, **45**, 108–124.
- Black, F. and Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, **81**, 637–659.
- Brix, A., Jewson, S. and Ziehmman, C. (2002) Weather Derivative Modelling and Valuation: A Statistical Perspective. In Dischel, R.S., ed. *Climate Risk and the Weather Market*. London, Risk Books, pp. 127–150.
- Campbell, S.D. and Diebold, F.X. (2005). Weather Forecasting for Weather Derivatives. *Journal of the American Statistical Association*, **100**, 6–16.
- Casson, E. and Coles, S. (1999). Spatial regression models for extremes. *Extremes*, **1**, 449–468.
- Costa, M. A. e Assunção, R. M. (2005) A Fair Comparison Between the Spatial Scan and the Besag - Newell disease Clustering Tests. *Environmental and Ecological Statistics*, **12**, 301–319.
- Diggle P.J. and Ribeiro Jr, P.J. (2007) *Model Based Geostatistics*, Springer:New York.
- Duczmal L. H. e Assunção R.M. (2004) A Simulated Annealing Strategy for Detecting Arbitrarily Shaped Spatial Clusters. *Computational Statistics and Data Analysis*, **45**, 269–286.
- Gilleland, E., Nychka, D. and Schneider, U. (2004) Spatial models for the distribution of extremes. In *Uncertainty and Variability in Ecological Inference, Forecasting and Decision Making. An Introduction to Modern Statistical Computation*, Summer Institute at the Center of Global Change, Duke University, Durham.
- Kirhsner, S. (2005) *Modeling of Multivariate Time Series Using Hidden Markov Models*. PhD dissertation, University of California, Irvine, 202p.
- Macedo, M.A. e Rudorff, B.F.T. (2003) Geotecnologias no seguro agrícola do milho safrinha. *Agricultura São Paulo*, **50**, 43–52.
- Mahul, O. (2001) Optimal Insurance Against Climatic Experience. *American Journal of Agricultural Economics*, **83**, 593–604.
- Martin, S.W., Barnett, B.J. and Coble, K.H. (2001) Developing and Pricing Precipitation Insurance. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, **26**, 261–274.

- Miranda, M.J. and Glauber, J.W. (1997) Systemic Risk, Reinsurance, and the Failure of Crop Insurance Markets. *American Journal of Agricultural Economics*, **79**, 206–215.
- Ozaki, V.A. e Shirota, R. (2005) Um estudo da viabilidade de um programa de seguro agrícola baseado em um índice de produtividade regional em Castro (PR). *Revista de Economia e Sociologia Rural*, **43**, 485–503.
- Ozaki, V.A. (2005) Aspectos contratuais e performance atuarial do seguro de custeio agrícola. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, **109**, 27–48.
- Ozaki, V.A. (2006) O Papel do Seguro na Gestão do Risco Agrícola e os Empecilhos para o seu Desenvolvimento. *Agricultura em São Paulo*, **53**, 91–106.
- Ozaki, V.A. (2006b) O seguro rural estadual e as novas iniciativas privadas. *Revista Brasileira de Risco e Seguro*, **2**, 75–92.
- Ozaki, V.A. (2006c) O mutualismo como forma de gestão de risco na agricultura. *Revista de Política Agrícola*, **2**, 49–55.
- Ozaki, V.A. (2007b) Análise e quantificação do risco para a gestão eficiente do portfolio agrícola das seguradoras. Relatório Técnico, Departamento de Economia Aplicada, ESALQ-USP.
- Ozaki, V.A., Goodwin, B.K. and Shirota, R. (2008) Parametric and nonparametric statistical modeling of crop yield: implications for pricing crop insurance contracts. *Applied Economics*, no prelo.
- Popp, M., Rudstrom, M. and Manning, P. (2005) Spatial Yield Risk Across Region, Crop, and Aggregation Method. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, **53**, 103–115.
- Robertson, A.W., Kirhsner, S. and Smyth, P. (2004) Downscaling of daily rainfall occurrence over northeast Brazil using a hidden Markov model. *Journal of climate*, **17**, 4407–4424.
- Rudstrom, M., Popp, M., Manning, P. and Gbur, E. (2002) Data Aggregation Issues for Crop Yield Risk Analysis. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, **50**, 185–200.
- Schlather, M. and Tawn, J. (2003). A dependence measure for multivariate and spatial extreme values: Properties and inference. *Biometrika*, **90**, 139–156.
- Shabenberger, O. and Gotway, C.A. (2005) Statistical methods for spatial data analysis, Chapman & Hall/CRC.
- Stoppa, A., and Hess, U. (2003) Design and Use of Weather Derivatives in Agricultural Policies: the Case of Rainfall Index Insurance in Morocco. Paper presented at the International Conference "Agricultural Policy Reform and the WTO: Where are we heading", Capri (Italy), June 23-26, 2003.
- Turvey, C.G. (2001) Weather Derivatives for Specific Event Risks in Agriculture. *Review of Agricultural Economics*, **23**, 333–351.
- West, M. and Harrison, J. (1997) *Bayesian Forecasting and Dynamic Models*, 2nd ed., New York:Springer, 680p.
- Varangis, P., Skees, J. and Barnett, B. (2002) Weather Indexes for Developing Countries. In R. Dischel, ed. *Climate Risk and the Weather Market*. London: Risk Books.
- Vedonov, D.V. and Barnett, B.J. (2004) Efficiency of Weather Derivatives as Primary Crop Insurance Instruments. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, **29**, 387–403.
- Zhang, G.P. and Qi, M. (2005) Neural network forecasting for seasonal and trend time series. *European Journal of Operational Research*, **160**, 501–514.