



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação

Francislene Angelotti¹, Paulo Ivan Fernandes Júnior¹; Iêdo Bezerra de Sá¹

¹Pesquisador (a) da Embrapa Semiárido. E-mail: fran.angelotti@cpatsa.embrapa.br; paulo.ivan@cpatsa.embrapa.br; iedo@cpatsa.embrapa.br

Artigo recebido em 09/12/2011 e aceito em 27/12/2011

RESUMO

O objetivo deste artigo é discutir os impactos das mudanças climáticas e medidas de mitigação e adaptação que já estão sendo executadas no Semiárido brasileiro. Os potenciais impactos negativos sobre os recursos hídricos e a agricultura de sequeiro poderão comprometer a população da região. Medidas de mitigação como o manejo correto do solo, a redução de emissão de metano em ruminantes, o manejo florestal da Caatinga, a integração lavoura-pecuária-floresta e a produção e uso de biocombustíveis podem reduzir a emissão dos gases do efeito estufa. Medidas de adaptação como uso do melhoramento genético, a captação da água de chuva, adoção de novos sistemas produtivos, aproveitamento do potencial produtivo das plantas da Caatinga poderão contribuir para minimizar os efeitos das mudanças climáticas. A demanda por pesquisas nesse contexto continuará crescente, necessitando de esforços multidisciplinares, com a interação entre as instituições de pesquisa, a fim de definir métodos e estratégias para serem aplicados no Semiárido. A formulação de políticas públicas que incentivem a adoção destas práticas será imprescindível para que as mesmas sejam colocadas em prática.

Palavras - chave: impactos, aumento da temperatura, agricultura.

Climate Change in the Brazilian Semi-arid: Mitigation and Adaptation Practices

ABSTRACT

The aim of this paper is to present the impacts of climate change at Brazilian semi-arid as well as discuss practices of mitigation and adaptation that are already been carried out in Brazilian semi-arid. The potentially negative impacts on water resources and rain-fed agriculture will affect the population at the region. Mitigation practices such as proper soil management, the reduction of methane emission by ruminants, forest management, integrated crop-livestock-forestry and the production and use of biofuels can reduce or prevent the emission of greenhouse gases. Adaptation practices such as use of genetic breeding, the hold of rainwater, adoption of new production systems, use of the productive potential of native plants may help minimize the problem of climate change. The demand for research in this context will continue growing, requiring multidisciplinary efforts, with the interaction between research institutions, to define methods and strategies to be applied in the Semi-Arid. The formulation of public policies that encourage the adoption of these practices is essential that they be put into practice.

Key words: impacts, temperature increase, agriculture.

1. Introdução

O Semiárido brasileiro ocupa uma área de 982.563 km², abrangendo mais de 1.100 municípios nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Bahia, Alagoas e Sergipe.

Os critérios utilizados para a delimitação do Semiárido, pelo Ministério da Integração Nacional, foram a precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros, o índice de aridez de até 0,5 calculado pela razão da precipitação e da evapotranspiração

* E-mail para correspondência: fran.angelotti@cpatsa.embrapa.br (Angelotti, F.).

potencial (no período entre 1961 e 1990) além do risco de seca maior que 60% (Brasil, 2005). Por essas características, a região é altamente vulnerável aos fatores climáticos e segundo o Quarto Relatório de Avaliação do International Panel on Climate Change (IPCC) (IPCC, 2007), o Semiárido brasileiro será uma das regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas, uma vez que, além dos cenários de aumentos de temperatura, o Semiárido tenderá a tornar-se mais árido, podendo ocorrer um aumento na frequência e na intensidade das secas e consequentes reduções na disponibilidade de recursos hídricos. Essas alterações no clima da região resultarão no impacto sobre a vegetação, a biodiversidade e sobre as atividades que dependem dos recursos naturais (Marengo, 2008).

O IPCC, com a finalidade de realizar análises sistemáticas sobre o conhecimento científico existente sobre as mudanças climáticas globais e seus impactos divulgou um conjunto de cenários que constituem referências com relação às emissões futuras de gases de efeito estufa. O cenário A2 é um cenário de elevadas emissões de gases de efeito estufa, isto é, assume a manutenção dos padrões atuais de emissões. O cenário B2 é um cenário de menores emissões, com características mais otimistas em relação ao cenário A2. Descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental (IPCC, 2007). De acordo com

Marengo (2006), a temperatura da região semiárida poderá aumentar de 1,5-2,5 °C para o cenário B2 e em 3,0-5,5 °C para o cenário A2, até o final do século XXI. Com o aquecimento, haverá aumento na evaporação, diminuição da disponibilidade hídrica e intensificação da aridez da região até final do Século XXI, influenciando diretamente nas características e distribuição da vegetação (Marengo, 2006; Salazar *et al.*, 2007).

Esses prognósticos são obtidos por meio do uso de modelos matemáticos e um avanço importante nos últimos anos é o uso destes para simular o clima e fornecer estimativas quantitativas da mudança do clima no futuro (Randall *et al.*, 2007). A confiabilidade desses modelos tem aumentado nas últimas décadas em função da análise de numerosos conjuntos de dados, do estudo da cobertura geográfica mais ampla, do melhor entendimento das incertezas e da maior variedade de medições (Pachauri e Resinger, 2007). Além disso, o uso destas ferramentas tem permitido a obtenção de cenários sobre os impactos sociais, ecológicos e econômicos das mudanças climáticas (Walther *et al.*, 2002).

O Semiárido apresenta os maiores índices de vulnerabilidade sócio-econômica com grande parte da população desenvolvendo atividades agrícolas, como a agricultura de sequeiro, por exemplo, com baixo grau de tecnificação e elevada dependência da disponibilidade de recursos naturais. Dessa forma, os potenciais impactos negativos sobre os recursos hídricos e suas

consequências na agricultura de sequeiro, poderão comprometer a população da região.

Com esses prognósticos, há forte demanda de pesquisa relativa à avaliação dos efeitos das mudanças climáticas no Semiárido. Essas avaliações estão subsidiando pesquisas sobre a mitigação dos efeitos e adaptação das atividades humanas (principalmente agrícolas) a futuras alterações no clima. Nestas ações, a Embrapa Semiárido tem papel fundamental, pois vem desenvolvendo pesquisas em parcerias com diversas instituições do Brasil e do exterior, visando desenvolver tecnologias para a agricultura sustentável no Semiárido nos cenários futuros de mudanças no clima. O conhecimento das possíveis mudanças no clima, suas consequências no Semiárido e o desenvolvimento de práticas para a mitigação ou adaptação dos sistemas produtivos são importantes para a formulação de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável do Semiárido em um cenário de mudanças climáticas.

O objetivo desta revisão foi discutir as principais medidas de avaliação de impactos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas no Semiárido brasileiro, com ênfase nas ações desenvolvidas pela Embrapa Semiárido em parceria com outras instituições.

2. Desenvolvimento

2.1 Impactos das Mudanças Climáticas no Semiárido

Os impactos decorrentes das mudanças

climáticas estão diretamente ligados à vulnerabilidade nos quais os sistemas naturais e antrópicos estão expostos. Diante disso, o IPCC (IPCC, 2007) apontou como potenciais impactos: a vulnerabilidade das zonas costeiras devido ao aumento do nível do mar, a ocorrência de secas e precipitações intensas provocando enchentes, ondas de calor, a agricultura, a saúde e as atividades econômicas.

A Caatinga, bioma típico da região semiárida brasileira, é potencialmente vulnerável às mudanças climáticas, principalmente por apresentar 80% de sua área com alterações realizadas pelo homem, por meio de exploração predatória (Castro e Cavalcante, 2011). Estudos de modelagem da vegetação associados aos cenários de alta emissão de gases do efeito estufa apontam que a Caatinga pode ter uma alteração na sua vegetação, tornando uma região árida com predominância de cactáceas (Oyama e Nobre, 2003; Salazar *et al.*, 2007.).

Outro impacto potencial é a redução na vazão do Rio São Francisco (Marengo, 2006). Milly *et al.* (2005), projetaram uma redução na vazão do Rio São Francisco entre 15 a 20% para o período 2080-2099 em relação ao presente, utilizando 12 modelos do IPCC AR4.

A produtividade agrícola é outro ponto importante e os impactos podem ter consequência direta na segurança alimentar e na economia do país. Diante dos cenários futuros estima-se uma queda na produção

agrícola, influenciando o PIB que depende do agronegócio (Cerri e Cerri, 2007). Segundo estudo realizado por Deconto (2008), se não forem adotadas medidas de mitigação e adaptação, haverá alterações na geografia da produção agrícola no Brasil, com consequente perda de R\$ 7,4 bilhões em 2020 e R\$ 14 bilhões em 2070 na safra de grãos.

Destaca-se também o deslocamento de plantações para áreas nas quais, atualmente, não se verifica sua ocorrência, como forma de aproveitar as condições climáticas mais adequadas. Para a mandioca, cultura de grande importância sócio-econômica para o Semiárido, o aumento de temperatura causará uma redução na área apta para o cultivo, provocando perdas de 2,5 a 3,1% nos cenários B2 e A2, respectivamente. Por outro lado, a região Sul, terá aumento da área apta devido à redução do risco de geadas (Deconto, 2008). Dentro deste contexto, ao mesmo tempo que as alterações climáticas fornecem uma série de riscos à economia, também podem surgir oportunidades por meio da introdução de novos cultivos e aumento da área cultivável (Iglesias *et al.*, 2011).

Os micro-organismos fitopatogênicos são um dos principais fatores responsáveis por reduções de produção e podem colocar em risco a sustentabilidade do agroecossistema. Sendo assim, os impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários também representam uma séria ameaça à segurança alimentar (Gregory *et al.*, 2009; Angelotti *et al.*, 2010; Chakraborty e

Newton, 2011). Estes organismos estão entre os primeiros a demonstrar os efeitos das mudanças climáticas devido às numerosas populações, facilidade de multiplicação e dispersão e o curto tempo entre gerações (Ghini, 2005).

Ações de pesquisa no Semiárido (Tabela 1) contemplam o monitoramento dos indicadores das mudanças climáticas globais (Marengo, 2006; 2008), atividades de modelagem matemática dos sistemas produtivos e simulação de cenários (Silva *et al.*, 2010), e impactos na ocorrência de problemas fitossanitários (Angelotti *et al.*, 2011). Estas ações poderão propiciar a análise de medidas de mitigação ou adaptação, dando suporte na tomada de decisões.

2.2 Medidas de mitigação

As ações de mitigação abrangem as medidas que visam à redução da emissão dos gases do efeito estufa, o sequestro de carbono nos ecossistemas terrestres e medidas para evitar a emissão de GEE (Smith *et al.*, 2008).

Como medidas de redução destacam-se: o manejo adequado do solo, a redução da emissão de metano em ruminantes, o manejo florestal, dentre outros. No Brasil, a adoção de práticas de manejo, como o sistema plantio direto contribuem para a mitigação de 9 Mt C ano⁻¹ (Cerri e Cerri, 2007) em regiões como no Cerrado. Este sistema poderá ser implantado no Semiárido com a adoção e de práticas de manejo adequado que estão sendo desenvolvidas.

Tabela 1. Principais ações de mitigação, adaptação e avaliação dos impactos das mudanças climáticas conduzidas pela Embrapa Semiárido e instituições parceiras.

| Medidas de Mitigação | | | | |
|--|---|----------------------------------|--|--|
| Sistema | Descrição | Status | Instituições* | Referências |
| Coquetéis vegetais | Utilização de coquetéis vegetais em cultivos de mangueira no Submédio do Vale do São Francisco colaborando para o sistema de manejo reduzindo o revolvimento do solo e a emissão de GEE. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido | Petrere <i>et al.</i> , (2008) |
| Manejo animal | Desenvolvimento e avaliação de volumosos para a alimentação de ruminantes com o objetivo de redução da emissão de metano e outros GEE. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Caprinos e Ovinos, Univasf | Voltolini <i>et al.</i> , 2009, Santos <i>et al.</i> , 2010 |
| Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) | Desenvolvimento de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta para a redução da emissão de GEE. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Caprinos e Ovinos | Araújo Filho; Silva, (2008) |
| Manejo florestal | Manejo de florestas plantadas com espécies exóticas e nativas com fim de reduzir a exploração da Caatinga nativa. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Florestas, IPA. | Sá <i>et al.</i> , (2011); Oliveira <i>et al.</i> , (2010) |
| Manejo de solo | Utilização de sistemas de cultivo mínimo e plantio direto para reduzir as emissões de GEE provenientes do solo. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Solos, UFPE e UFRPE | Petrere <i>et al.</i> , (2008) |
| Sistemas de produção orgânica | Desenvolvimento de sistemas de produção orgânica na fruticultura com o objetivo de reduzir a emissão de GEE, principalmente o óxido nitroso | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Mandioca e Fruticultura, UNEB e EBDA. | Silva <i>et al.</i> , (2010); Conceição <i>et al.</i> , (2011) |
| Medidas de Adaptação | | | | |
| Melhoramento genético vegetal | Melhoramento genético de culturas de sequeiro para a região semiárida, utilizados em sistemas de produção familiar, visando à obtenção de materiais vegetais tolerantes à seca e a elevadas temperaturas. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, IPA | Araújo <i>et al.</i> , (2001); Costa <i>et al.</i> , (2005); Santos <i>et al.</i> , (2008) |
| Seleção de estirpes de rizóbio para leguminosas | Seleção e recomendação de estirpes de rizóbios autóctones do Semiárido para a inoculação de feijão-caupi cultivadas no Semiárido. | Tecnologia disponível no mercado | Embrapa Semiárido, Embrapa Agrobiologia e UNEB | Martins <i>et al.</i> , (2003) |
| Sistemas de captação de água <i>in situ</i>. | Tecnologias de captação de água da chuva: barragens subterrâneas, cisternas, barreiros de salvação. | Tecnologias transferidas | Embrapa Semiárido, IRPAA | Lopes e Brito (1998); Brito <i>et al.</i> , (2008) |

| | | | | |
|---|---|----------------------------|--|---|
| Manejo animal | Disponibilização de diferentes níveis de água salobra para a alimentação de pequenos ruminantes. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Caprinos e Univasf | Araújo <i>et al.</i> , (2010) |
| Biocombustíveis | Desenvolvimento de tecnologias para produção de cana-de-açúcar e oleaginosas no Semiárido | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Algodão | Lopes <i>et al.</i> , (2005); Drumond <i>et al.</i> , (2010) |
| Caracterização/ Avaliação de impacto | | | | |
| Biodiversidade de plantas | Avaliação da variabilidade fenotípica e genética de espécies nativas, principalmente aquelas exploradas economicamente pela população Sertaneja, como o umbuzeiro. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido e UEFS | Lima Filho <i>et al.</i> , (2009); Santos <i>et al.</i> , (2011) |
| Biodiversidade de micro-organismos | Avaliação da diversidade micro-organismos em solos do Semiárido com o objetivo de selecionar microrganismos autóctones com tolerância a estresses bióticos para a prospecção de genes e aplicações biotecnológicas. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Agrobiologia, Embrapa Meio Ambiente, UNEB, UFRPE, UFC. | Leite <i>et al.</i> , (2009); Santos <i>et al.</i> , (2010); Fernandes Júnior <i>et al.</i> , (2011). |
| Avaliações agronômicas | Avaliação de cenários futuros de mudanças do clima (efeitos de temperatura e CO ₂) na interação planta-patógenos em culturas de sistemas irrigado e de sequeiro no Semiárido brasileiro. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Meio Ambiente, Embrapa Informática Agropecuária, Embrapa Mandioca e Fruticultura. | Angelotti <i>et al.</i> , (2010); (2011) |
| Cenários futuros | Aplicação de modelos matemáticos para prever com maior precisão as condições futuras do clima da região semiárida com base nas tendências e nas alterações climáticas registradas nas últimas décadas. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Meio Ambiente, Embrapa Informática Agropecuária, | Angelotti <i>et al.</i> , (2010) Silva <i>et al.</i> , (2010) |
| Monitoramento climático | A implantação de uma rede de sete estações agrometeorológicas para realizar o acompanhamento de alterações no clima da região ao longo dos anos. | Pesquisa e desenvolvimento | Embrapa Semiárido, Embrapa Informática Agropecuária, INPE, UFPE, UFRPE, LAMEPE | Angelotti <i>et al.</i> , (2010) |

*Univasf: Universidade Federal do Vale do São Francisco; IPA: Instituto Agrônomo de Pernambuco; UFPE: Universidade Federal de Pernambuco; UFRPE: Universidade Federal Rural de Pernambuco; UNEB: Universidade do Estado da Bahia; EBDA: Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola; IPA: Instituto Agrônomo de Pernambuco; IRPAA: Instituto Regional de Pequena Agropecuária Apropriada; UEFS: Universidade Estadual de Feira de Santana; UFC: Universidade Federal do Ceará; INPE: Instituto de Pesquisas Espaciais; LAMEPE: Laboratório de Meteorologia de Pernambuco.

A redução na produção de metano por ruminantes pode ser efetuada com a alteração na dieta alimentar do animal, por meio da troca do tipo e da quantidade de carboidrato suplementado, adição de lipídeos e manipulação da microbiota do rúmen. A presença de aditivos alimentares ou componentes naturalmente presentes no alimento, podem modificar a fermentação ruminal, reduzindo a emissão do metano (Voltolini *et al.*, 2009; Pedreira e Primavesi, 2011).

O uso e o manejo adequado do solo, por meio de métodos com o mínimo revolvimento e os sistemas de rotação de culturas, podem contribuir com a alta produção de resíduos vegetais e com o acúmulo de nutrientes, resultando em aumento nos estoques de C no solo, na vegetação, reduzindo assim, a emissão de GEE para a atmosfera (Lal *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2010). Além disso, a preservação da vegetação nativa e o reflorestamento contribuem para o sequestro de C no sistema solo-planta (Silva *et al.*, 2009). No Submédio do Vale do São Francisco a utilização de coquetéis vegetais nas entrelinhas dos plantios de mangueira e a adoção de práticas agrícolas que preconizam o manejo orgânico têm aumentado o teor de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo no solo, contribuindo assim para o sequestro de C (Petreire *et al.*, 2008).

O manejo florestal da Caatinga é a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais,

respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema. Corresponde à utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços ambientais. O manejo da floresta garante a cobertura florestal da área, retém a maior parte da diversidade vegetal original e pode ter impactos pequenos sobre a fauna, se comparado à exploração não manejada. As florestas manejadas prestam serviços para o equilíbrio do clima regional e global, especialmente pela manutenção do ciclo hidrológico e retenção de carbono (Pereira *et al.*, 2001; Sá *et al.*, 2011). A adoção do manejo garante a produção sustentável de madeira na área, e requer menor tempo para recuperação em relação à exploração não manejada (Oliveira *et al.*, 2010).

Outro componente importante é a integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), que além de contribuir para a recuperação de pastagens degradadas, preserva os recursos naturais, promove a sustentabilidade e a viabilidade econômica e permite a intensificação e o aumento da eficiência do uso da terra, diminuindo inclusive as taxas de emissão de gases do efeito estufa por unidade de alimento produzido (Macedo, 2009). Na Caatinga, pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de avaliar práticas adequadas do manejo iLPF associando culturas de sequeiro, caprinos e ovinos, além do manejo da Caatinga nativa (Araújo Filho e Silva, 2008).

O uso de biocombustíveis é uma das medidas mais preconizadas na redução da emissão dos GEE, uma vez que a sua utilização reduz a queima de combustível fóssil, beneficiando a economia rural (Solomon *et al.*, 2007).

O estudo realizado por Monteiro (2007) identificou que no Nordeste a redução de emissões de CO₂ pelo uso de biodiesel poderá atingir 10% a 29% em 2015. E ainda, o Semiárido apresenta uma área estimada de 3,7 milhões de hectares para a expansão do cultivo de oleaginosas por agricultores familiares, considerando as áreas com potencial para desenvolvimento agrícola que estão improdutivas.

A produção de cana-de-açúcar, além de substituir parcialmente a gasolina pelo etanol, evitando a emissão média anual de 6,9 Tg de C, permite a utilização do bagaço da planta como combustível nas caldeiras, gerando energia elétrica (Cerri *et al.*, 2007). Segundo os autores, cerca de 8 Mt de C deixam de ser emitidos devido à substituição parcial de combustível fóssil pelo biocombustível. A colheita mecanizada da cana-de-açúcar também contribui para o sequestro de 0,48 Mt de C por ano (Cerri e Cerri, 2007). Isto acontece porque os resíduos vegetais depositados na superfície do solo são decompostos e incorporados à matéria orgânica aumentando o estoque de C e reduzindo a emissão de GEE. Assim, nas áreas sob cultivo de cana-de-açúcar deve-se realizar a colheita mecanizada, evitando os o

uso de queimadas e permitindo a reciclagem da palhada (incorporação ao solo ou produção de energia nas usinas).

A seleção de espécies vegetais para a produção de biocombustíveis deve considerar além da produtividade da cultura, o ganho energético (razão entre a quantidade de energia em uma unidade de biocombustível e a energia investida para a sua obtenção) deve ser positivo. Urquiaga *et al.* (2005) ressaltaram que a cana-de-açúcar e o pinhão-manso para a produção de etanol e biodiesel, respectivamente, são duas das espécies mais promissoras. O desenvolvimento de tecnologias para o cultivo da cana-de-açúcar no Semiárido está sendo conduzido a fim de obter práticas agrícolas adequadas para a sua adaptação na região (Simões *et al.*, 2010). Para o pinhão-manso, estudos sobre o desempenho agrônomico de genótipos poderão contribuir para futuras pesquisas sobre o sistema de cultivo (Drumond *et al.*, 2010).

2.3 Adaptação

A adaptação se refere ao ajuste dos sistemas naturais ou humanos em resposta a estímulos climáticos observados ou previstos, com objetivo de aumentar a resiliência desses sistemas (IPCC, 2007). Existem inúmeros fatores que determinam a escala de tempo ou a urgência na qual uma ação de adaptação de ser adotada. Medidas de adaptação, como por exemplo, a alteração na data de plantio pode ser realizada com rapidez pelos agricultores.

No entanto, algumas medidas de adaptação, tais como pesquisas sobre cultivares resistentes a alta temperatura, mudanças no contexto político e de investimentos na infraestrutura podem exigir anos para a sua adoção (Iglesias *et al.*, 2011).

Em relação aos impactos ocasionados devido a disponibilidade de água e o risco de seca, a adaptação inclui medidas para aumentar a capacidade de retenção de água no solo, medidas para melhorar a eficiência do uso da irrigação e medidas de captação da água de chuva, além de outras. No Semiárido muitos estudos vem sendo realizados com a adoção de tecnologias de captação de água da chuva. A barragem subterrânea é uma dessas tecnologias e permite o armazenamento da água da chuva no perfil do solo, viabilizando a exploração agrícola no Semiárido. Essa tecnologia diminui os riscos da agricultura dependente de chuva, proporcionando aumentos significativos na produtividade das culturas (Brito *et al.*, 1999). Outra tecnologia de captação de água amplamente utilizada no Semiárido é a utilização de cisternas para a captação de água da chuva para o consumo humano. Esta tecnologia permite o acúmulo de água no curto período das chuvas que possibilitarão o consumo pelas famílias por grande parte do ano (Brito *et al.*, 2010). Esta tecnologia tem sido adotada em programas governamentais de combate à seca e convivência com o Semiárido.

Ainda como medida de adaptação, o desenvolvimento de cultivares resistentes à

seca e às altas temperaturas será extrema importância nos cenários climáticos futuros (Angelotti *et al.*, 2010). Segundo Butterworth *et al.* (2010), a escolha dos locais onde serão instalados os ensaios para o melhoramento de cultivares resistentes deverá incluir os países de clima quente. Assim, o Semiárido brasileiro além de abrigar espécies vegetais adaptadas aos estresses hídrico, salino e as altas temperaturas, formam um banco genético potencial para uso no melhoramento de plantas agrícolas, por apresentar temperatura média acima de 25 °C.

Pesquisas desenvolvidas pela Embrapa Semiárido têm resultado na obtenção de cultivares de feijão-guandu, cebola, feijão-caupi, etc. com resistência à seca e à alta temperatura respectivamente (Costa *et al.*, 2005; Araújo *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2008).

As associações entre as espécies nativas e cultivadas e os micro-organismos do solo podem colaborar para a resistência das plantas a estresses como a elevada salinidade do solo, baixa disponibilidade hídrica e seca (Suárez *et al.*, 2008; Grover *et al.*, 2011). A prospecção destes micro-organismos nos solos do Semiárido já resultou na inclusão pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento de bactérias fixadoras de nitrogênio autóctones para a inoculação do feijão-caupi (Martins *et al.*, 2003). Entretanto, para um futuro cenário de mudanças no clima, a prospecção de novos micro-organismos cada vez mais adaptados e eficientes deve ser

constante. As pesquisas com este fim estão sendo conduzidas por diversas instituições de pesquisa do Nordeste e de outras regiões do Brasil.

A pesquisa tem tido um papel imprescindível no desenvolvimento de novas tecnologias para mitigar os efeitos das mudanças climáticas ou adaptar os sistemas produtivos às suas consequências. Entretanto, para que a adoção dessas medidas possa avançar, é necessário o comprometimento de setores como a iniciativa privada e do poder público. A formulação de políticas públicas que incentivem a adoção destas práticas será imprescindível para que as mesmas sejam colocadas em prática.

3. Conclusão

A identificação da vulnerabilidade do Semiárido brasileiro frente às mudanças climáticas tem permitido o desenvolvimento de pesquisas visando maior resiliência da sua população na busca e implementação de medidas de mitigação e adaptação. Assim, aprender a lidar com a vulnerabilidade e com a capacidade de adaptação da região, será o caminho para mitigar o problema das mudanças climáticas. A demanda por pesquisas nesse contexto continuará crescente, necessitando de esforços multidisciplinares, com a interação entre as instituições de pesquisa, a fim de modelar e simular os possíveis impactos e definir métodos e estratégias para serem aplicados no Semiárido.

4. Referências

Angelotti, F.; Magalhães, E.; Fernandes, H. A.; Peixoto, A. R. (2011). Severidade do míldio em cultivares de videira em função do aumento da temperatura do ar. In: *III Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação no Semiárido Brasileiro*. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, Documentos, 239.

Angelotti, F.; Petrere, V.G.; Teixeira, A.H.C.; Sá, I.B.; Beserra, M.S. (2010). Cenários de Mudanças Climáticas para o Semiárido brasileiro. In: Sá, I. B.; Silva, P. C. G. da. (Org.). *Semiárido brasileiro: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido, v.1, p.160-197.

Araújo, F.P.; Menezes, E.A.; Santos, C.A.F. (2007). *Guandu Petrolina: uma boa opção para sua alimentação*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 19 p. il. (ABC da Agricultura Familiar, 14).

Araújo, G.G.L; Voltolini, T.V.; Chizzotti, M.L.; Turco, S.H.N.; Carvalho, F.F.R. (2010). Water and small ruminant production. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p.326-336.

Araújo Filho, J. A.; Silva, N.L. (2008) *Sistema de Produção Agrossilvipastoril*. Comunicado técnico, Sobral, Embrapa Caprinos e Ovinos. 3p.

Brasil. (2005). Ministério da Integração

Nacional. Nova delimitação do semi-árido brasileiro. Brasília, DF, 32 p.

Brito, L.T.L.; Silva, D.A.; Cavalcanti, N.B.; Rego, M. M. (1999). Alternativa tecnologia para aumentar a disponibilidade de água no semi-árido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 3, n. 1, p. 111-115.

Brito, L.T.L.; Cavalcanti, N.B.; Silva, A.S.; Pereira, L.A. (2008). Perdas de solo e de água em diferentes sistemas de captação in situ no semi-árido brasileiro. *Engenharia Agrícola*, v. 28, p. 507-515.

Brito, L.T.L.; Melo, R.M.; Giongo V. (2010). *Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro*. Petrolina, Embrapa Semiárido, 136 p.

Butterworth, M.H.; Semenov, M.A.; Barnes, A.; Moran, D.; West, J.S.; Fitt, B.D.L. (2010). North-south divide: contrasting impacts of climate change on crop yields in Scotland and England. *Journal of the Royal Society Interface*, v.7, p.123–30.

Carvalho, J.L.N.; Avanzi, J.C.; Silva, M.L. N.; Mello, C.R.; Cerri, C.E.P. (2010). Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 277-289.

Castro, A. S.; Cavalcante, A. M. B. *Flores da Caatinga*. Campina Grande: Instituto

Nacional do Semiárido - INSA, 2010. 116 p.

Cerri, C.C.; Cerri, C.E.P. (2007). Agricultura e aquecimento global. *Boletim Informativo da SBCS*, v.23, p.40-44.

Cerri, C.E.P.; Sparovek, G.; Bernoux, M.; Easterling, W.E.; Melillo, J.M.; Cerri, C.C. (2007). Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. *Scientia Agrícola*, v.64, p.83-99.

Chakraborty, S.; Newton, A.C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, v.60, p.2-14.

Conceição, G.C.; Pereira, C.A.; Reis, J.; Targino, H.M.L.; Fernandes Júnior, P.I.; Gava, C.A.T. (2011). Frações oxidáveis da matéria orgânica em sistemas de manejo da cultura da mangueira no Submédio do Vale do São Francisco. In: *III Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação no Semiárido Brasileiro*. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, Documentos, 239.

Costa, N.D.; Santos, C.A.F.; Queióz, M.A.; Araújo, H.M.; Oliveira, V.R.; Mendonça, J. L.; Candeia, J. A. (2005). Alfa São Francisco: variedade de cebola para cultivo de verão. In: *XLV Congresso Brasileiro de Olericultura*, Fortaleza, Associação Brasileira Horticultura . CD-ROM.

Deconto, J. G. (Ed.). *Aquecimento global e a*

nova geografia da produção agrícola no Brasil. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária: Unicamp, 2008. 82 p.

Drumond, M.A.; Santos, C.A.F.; Oliveira, V. R.; Martins, J.C.; Anjos, J.B.; Evangelista, M.R.V. (2010). Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão manso no Semiárido pernambucano. *Ciência Rural*, v. 40, p. 44-47.

Fernandes Júnior, P.I.; Aidar, S.T.; Morgante, C.V.; Zilli, J.É.; Martins, L.M.V. (2011). Diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas associadas à gramínea tolerante à dessecação *Tripogon spicatus* na Caatinga. In: *III Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação no Semiárido Brasileiro*. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, Documentos, 239.

Ghini, R. (2005). *Mudanças climáticas globais e doenças de plantas*. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 104p.

Gregory, P.J.; Johnson, S.N.; Newton, A.C.; Ingram, J.S.I. (2009). Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*, v.60, p.2827-2838.

Grover, M.; Ali, S.Z.; Sandhya, V.; Rasul, A.; Venkateswarlu, B. (2011). Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 27: 1231-1240.

Iglesias, A.; Quiroga, S.; Moneo, M.; Garrote, L. (2011). From climate change impacts to the development of adaptation strategies: Challenges for agriculture in Europe, *Climate Change*, v.109, p.1-26.

IPCC 2007 *Climate Change 2007: IPCC Fourth Assessment Report, Climate Change 2007: Synthesis Report—Summary for Policymakers*, Contribution of Working Groups I–III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, eds. L. Bernstein et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.

Lal, R.; Follett, R. F.; Stewart, B. A.; Kimble, J.M. (2007). Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change and Advance Food Security. *Soil Science*, v.172, n.12, p.943-956.

Leite, J.; Seido, S.L.; Passos, S.R.; Xavier, G.R.; Rumjanek, N.G.; Martins, L.M.V. (2009). Biodiversity of rhizobia associated with cowpea cultivars in soil of the lower half of the São Francisco River Valley. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p.1215-1226.

Lima Filho, J.M.P.; Santos, C.A.F. (2009) Avaliações fenotípicas e fisiológicas de espécies de *Spondias* tendo como porta enxerto o umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Cam.). *Caatinga*, v. 22, p. 59-63.

Lopes, J.S.; Beltrão, N.E.M.; Primo Júnior, J.F. (2005). Produção de mamona e biodiesel:

uma oportunidade para o semi-árido. *Revista Bahia Agrícola*, v. 7, p.37-41.

Lopes, P.R.C.; Brito, L.T.L. (1998). Exploração Agrícola em barragem subterrânea. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, p. 975-980.

Macedo, M. C. M. (2009). Integração Lavoura e Pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p.133-146.

Marengo J. A. (2008). Water and Climate Change. *Estudos Avançados (USP)*, v. 22, p. 83-96.

Marengo, J.A. (2006). *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. MMA, Brasília, 202p. Ilust. (Série Biodiversidade, v.26).

Martins, L.M.V.; Rangel, F.W.; Xavier, G.R.; Ribeiro, J.R.A.; Morgado, L.B.; Nevers, M.C.P.; Rumjanek, N.G. (2003). Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. *Biology and Fertility of Soils*, v. 38, p. 333-339.

Milly, P.C.D.; Dunne, K.A.; Vecchia, A.V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, n. 438, p.17.

Monteiro, J.M.G. (2007). *Plantio de Oleaginosas por Agricultores Familiares do Semiárido Nordestino para Produção de Biodiesel como uma Estratégia de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas*. Tese Doutorado. Pós-Graduação em Planejamento Energético, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Janeiro. p. 213.

Oliveira, V.R.; Nascimento, C.E.S.; Drumond, M.A.; Ribaski, J.; Santos, P. E. T. (2010). *Eucalyptus crebra*: espécie com potencial energético para a região semiárida brasileira. Instruções Técnicas, Petrolina, Embrapa Semiárido, v. 94, p.1-2.

Pachauri RK, Reisinger A (2007) *Climate change 2007: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC.

Pedreira, M.S.; Primavesi, O. (2011). Quantificação das emissões e nutrição para redução da produção de metano por bovinos. In: Lima, R.C.C.; Cavalcante, A.M.B.; Marin, A.M.P. (Org.). *Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro*. 146 ed. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, v.1, p.131-144.

Pereira, I.M.; Andrade, L.A.; Costa, J.R.M.; Dias, J.M. (2001). Regeneração natural em um remanescente de Caatinga sob diferentes níveis de perturbação, no agreste Paraibano.

Acta Botânica Brasilica, v.15, p.413-426.

Petrere, V.G.; Cunha, T.J.F.; Silva, M.S.L.; Silva, D.J. (2008). Teores de Matéria Orgânica e Fósforo em Solos Cultivado com Mangueiras em Função do Uso de Coquetéis Vegetais. In: *Fertbio*, Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM.

Randall D.A., Wood R.A., Bony S. et al. (2007) Climate models and their evaluation. In: Salati, E.; Nobre, C. A. Possible Climatic Impacts of Tropical Deforestation. *Climatic Change*, v.19, p.177-96, 1991.

Sá, I.B.; Drumond, M.A.; Cunha, T.J.F.; Taura, T.A. (2011). Manejo florestal na Chapada do Araripe: uma técnica de combate à desertificação. In: *III Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação no Semiárido Brasileiro*. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, Documentos, 239.

Salazar, L.F; Nobre, C.A.; Oyama, M.D. (2007). Climate change consequences on the biome distribution in tropical South América. *Geophysical Research Letters*, v. 34, p.1-6.

Santos, C.A.F.; Oliveira, V.R.; Rodrigues, M.A.; Ribeiro, H.L.C.; Drumond, M.A. (2011) Estimativas de polinização cruzada em população de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) usando marcador AFLP. *Revista Árvore*, v. 35, p. 691-697.

Silva, D.J.; Faria, C.M.B.; Pinto, J.M.; Costa, N.D.; Gava, C. A.T.; Dias, R.C.S.; Gomes,

T.C.A.; Araújo, J.L.P. (2009). Cultivo de melão orgânico: fosfatos naturais como fontes alternativas de fósforo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, p. 559-566.

Silva, J.P.F.; Pareyn, F.; Soares, D.G. (2009). Manejo florestal sustentável da caatinga: Adequação Ambiental e Produção de Energia Agroecológica em Projetos de Assentamento e Propriedades Coletivas do Plano Nacional de Reforma Agrária. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 4, n. 2, p.977-980.

Silva, T.G.F.; Moura, M.S.B.; Sá, I.I.S.; Zolnier, S.; Turco, S.H.N.; SOUZA, L.S.B. de. (2010). Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira em estados nordestinos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.863-870.

Simões, W.L.; Calgaro, M.; Souza, M.A.; Ferreira, P.P.B. Influência do sistema de irrigação na distribuição de raízes da cana-de-açúcar no Submédio São Francisco. In: *XX Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem*. Anais... Uberaba, Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem. CD-ROM..

Smith, P.; Fang, C.; Dawson, J.; Moncrieff, J. 2008. Impact of Global Warming on Soil Organic Carbon. *Advances in Agronomy*, v. 97, p.1-43.

Smith, P.; Janzen, H.; Martino, D.; Zuccong, Z.; Kumar, P.; McCarl, B.A.; Ogle, S.;

- O'Mara, F.; Rice, C.; Scholes, B.; Sirotenko, O.; Howden, M.; Mcallister, T.; Genxing, P.; Romanekov, V.; Schneider, U.A.; Towprayoon, S.; Wattenbach, M.; Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of Royal Society*, v.363, p.789-813.
- Solomon, B. D.; Barnes, J. R.; Halvorsen, K. E. (2007). Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy. *Biomass and Bioenergy*, v.31, p.416-425.
- Suárez, R.; Wong, A.; Ramírez, M.; Barraza, A.; Orozco, M.C.; Cevallos, M.A.; Lara, M.; Hernández, G.; Iturriaga, G. (2008). Improvement of drought tolerance and grain yield in common bean by overexpressing trehalose-6-phosphate synthase in Rhizobia. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, v.21, p.958-966.
- Urquiaga, S.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M. (2005) Produção de biocombustíveis – A questão do balanço energético. *Revista de Política Agrícola*, v. 5, p. 42-46.
- Voltolini, T.V.; Moreira, J.N.; Santos, R.D.; Pereira, L.G.R.; Araújo, G.G.L.; Nogueira, D.M.; Santos, B.R.C. (2009). Alimentos energéticos em rações para caprinos em crescimento. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 10, p. 302-310.
- Walther, G.; Post, E.; Convey, P.; Menzel, A.; Parmesan, C.; Beebee, T. J. C.; Fromentin, J.M.; Hoegh-Guldberg, O.; Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate Change, *Nature*, v.416, p.389-395.
- West, T.O.; Post, W.M. (2002). Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*, v.66, p.1930-1946.