

CENÁRIOS CLIMÁTICOS E O REQUERIMENTO DE ÁGUA DO FEIJÃO NO RIO GRANDE DO SUL¹

Rosandro Boligon Minuzzi², Danielle Oliveira da Silva³, Antônio Augusto Alves Pereira⁴

RESUMO – O presente trabalho teve por objetivo determinar o requerimento de água para irrigação (RAI) do feijão no Rio Grande do Sul (RS), baseado na climatologia atual e em cenários climáticos futuros. As projeções futuras para os anos de 2030 e 2060 foram realizadas para os seguintes cenários: C1- considerando aumento mensal da temperatura do ar de 1°C (2030) e 2°C (2060), e C2 - considerando aumento mensal da temperatura do ar de 1°C e 2°C e na precipitação de 10 mm e 20 mm, respectivamente, para 2030 e 2060. Para o cálculo do RAI durante o ciclo (diferença entre evapotranspiração máxima da cultura (ETc) e precipitação efetiva (P_{ef})) e o total de irrigação líquida foi utilizado o software Cropwat 8.0. Foram consideradas três datas de semeadura para a 1ª safra (20/setembro, 20/outubro e 20/novembro) e uma data para a 2ª safra (10/janeiro) do feijão. Nas atuais condições climáticas, o RAI ($ETc-P_{ef}$) aumenta gradativamente do nordeste ao centro-sul do RS, sendo as menores lâminas para semeaduras feitas no início de janeiro e as maiores para semeaduras no final de outubro e/ou novembro. Para a irrigação líquida, quanto mais tardia a semeadura da 1ª safra, maior o requerimento de água. A cada 1°C de aumento da temperatura do ar (C1), o RAI ($ETc-P_{ef}$) tende a aumentar de 4 a 10 mm para semeaduras da safra. O aumento simultâneo da temperatura do ar e da precipitação (C2) resulta em menor RAI ($ETc-P_{ef}$), apesar das diferenças em relação ao observado no clima atual serem pequenas.

Palavras-chave: Cropwat, irrigação, manejo ambiental, mudança climática.

CLIMATIC SCENARIOS AND THE WATER REQUIREMENT FOR BEAN IN RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT – This study aimed to analyze the irrigation water requirement (IWR) of bean in Rio Grande do Sul (RS), Brazil, based on current climate and future climate scenarios. The future projections for the years 2030 and 2060 were performed for the following scenarios: C1- considering monthly increase of air temperature of 1°C (2030) and 2°C (2060), and C2 - considering monthly increase of temperature air 1°C and 2°C and rainfall of 10 mm and 20 mm, respectively, for 2030 and 2060. To calculate the IWR during the cycle (difference between crop evapotranspiration (ETc) and effective rainfall (R_{eff})) and total net irrigation of bean, Cropwat 8.0 software was used. We considered three sowing dates for the 1st season (20 September, 20 October and 20 November) and a date for the 2nd season (January 10) of bean. In the current climate, the IWR ($ETc-R_{eff}$) increases gradually from northeast to south-central of RS, being lower depths, for sowing in early January and the highest, for sowing in late October and/or November. For net irrigation, for the later sowing of the 1st season, higher is the water requirement. For each 1°C increase in temperature (C1) IWR ($ETc-R_{eff}$) tends to increase 4-10 mm for sowing of the 1st season. The simultaneous increase of air temperature and rainfall (C2) results in lower IWR ($ETc-R_{eff}$), despite differences in relation to that observed in the current climate are small.

Keywords: climatic change, Cropwat, environmental management, irrigation.

¹ Parte do projeto financiado pela UFSC; Funpesquisa. Recebido para publicação em 30/04/2013 e aprovado em 05/07/2013.

² Professor do Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina, Avenida Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, 88034-001, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. rminuzzi@cca.ufsc.br

³ Graduanda em Agronomia, Bolsita UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. daniagro@live.com

⁴ Professor do Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina. aaap@cca.ufsc.br



1. INTRODUÇÃO

O feijão é uma cultura difundida em praticamente todo o território do Brasil. Na Região Sul do país o seu cultivo pode ser feito em duas épocas. A primeira, conhecida como safra das “águas”, ou primeira safra, com semeadura entre agosto e dezembro, e a segunda, conhecida como safra da “seca” ou popularmente como “safrinha”, com semeadura concentrada entre janeiro e fevereiro.

A literatura atesta diversos estudos que mostram as diferentes formas com que a deficiência hídrica afeta o rendimento do feijoeiro (Matzenauer et al., 2004; Heinemann et al., 2009), principalmente se culminar com a sua fase mais crítica, a de florescimento e formação das vagens (Doorenbos & Pruitt, 1997). Como exemplo, Calvache et al. (1997), citado por Heinemann et al. (2009), verificaram abortamento de flores e produção de vagens chochas nas pontas em situações de deficiência hídrica durante o período crítico do feijoeiro.

A irrigação é uma técnica que visa evitar que culturas agrícolas passem por deficiência hídrica durante seus ciclos. No Brasil, a irrigação cresceu 23% nos últimos oito anos, passando de 3 milhões para 3,7 milhões de hectares. Esse aumento na área irrigada corresponde a apenas 6% da área plantada. Em contrapartida, a produção advinda da irrigação é responsável por mais de 16% da produção e por 35% do valor econômico gerado pelo setor agrícola (Mezomo, 2009). Porém, a sua adoção tem custo, e para ser lucrativa, deve ser utilizada de forma precisa, a começar pelo seu planejamento.

As pesquisas sobre o tema ‘mudanças climáticas’ são relativamente recentes, de forma que, no que concerne a sua relação com a irrigação, a bibliografia atesta poucos estudos (Elgaali et al., 2007; Silva et al., 2007; Yano et al., 2007; Todisco & Vergi, 2008; Minuzzi & Caramori, 2010; Finger et al., 2011), principalmente no Brasil. Yano et al. (2007) estudaram os efeitos das mudanças climáticas no crescimento e na demanda de água para irrigação do cultivo trigo-milho no ambiente Mediterrâneo da Turquia. Os autores apontam que o aumento encontrado no requerimento de irrigação para o trigo deve-se à diminuição da precipitação. Mesma tendência foi observada por Silva et al. (2007) para o arroz cultivado no Sri Lanka, havendo aumento na irrigação de 13 a 23%, que varia de acordo com o cenário climático. Todisco & Vergni (2008) mostram que em alguns locais da Itália

o aumento na tendência do requerimento de água pelo milho é esperado somente quando ocorre simultaneamente com tendência positiva da evapotranspiração e tendência negativa da chuva.

Diante das atuais evidências que apontam para um aumento populacional e, conseqüentemente, no consumo e produção de alimentos e conflitos pelo uso da água doce, este estudo tem como objetivo determinar o requerimento de água para irrigação do feijão cultivado no Rio Grande do Sul, baseado na climatologia atual e em cenários climáticos futuros.

2. MATERIALE MÉTODOS

Foram utilizadas séries de dados mensais superiores a 35 anos de chuva, temperatura média do ar, umidade relativa média do ar e insolação de 15 estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dados de chuva obtidos de 15 estações hidrológicas pertencentes à Agência Nacional de Águas (ANA), localizadas no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). As ‘normais climatológicas’ mensais da velocidade do vento das estações meteorológicas utilizadas no estudo foram obtidas de Ramos et al. (2009).

Para o cálculo do requerimento de água para irrigação (evapotranspiração máxima da cultura (ET_c) – precipitação efetiva (P_{ef})) e a irrigação líquida para todo o ciclo foi

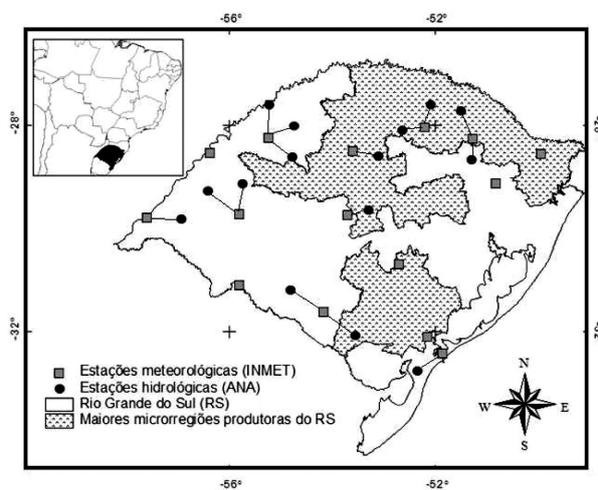


Figura 1 - Localização geográfica das estações meteorológicas e hidrológicas utilizadas no estudo, e as microrregiões que contabilizaram de 2003 a 2009 em média, 80% da produção de feijão no Rio Grande do Sul (IBGE, 2011).

utilizado o software Cropwat 8.0 nas seguintes condições: baseado no clima atual e em projeções climáticas futuras.

As projeções futuras para os anos de 2030 e 2060 foram realizadas para dois cenários, baseados nas tendências climáticas observadas em anos passados e nas projeções futuras de aumento da temperatura do ar e da precipitação para o sul do Brasil (Haylock et al., 2006; Obregón & Marengo, 2007; Dias et al., 2009; Minuzzi, 2010; Minuzzi et al., 2011):

Cenário 1 (C1) - Considerando aumento mensal da temperatura do ar de 1°C e 2°C, para 2030 e 2060, respectivamente;

Cenário 2 (C2) - Considerando aumento mensal da temperatura do ar de 1°C e 2°C e na chuva de 10 mm e 20 mm, respectivamente, para 2030 e 2060.

Para a determinação da necessidade de irrigação líquida do feijão, adotou-se os seguintes critérios quanto ao planejamento da irrigação: 1) irrigar quando a água facilmente disponível (AFD) estiver próxima a zero; e 2) durante cada irrigação aplicar uma lâmina de água variável o suficiente para atingir a capacidade de campo do solo.

A seguir, constam as principais informações exigidas no Cropwat 8.0 e estabelecidas para este estudo no que tange aos parâmetros meteorológicos, fenológicos e edafológicos.

- A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Monteith (Padrão FAO-1998), sendo a radiação solar estimada com os dados de insolação. Para os locais com disponibilidade de dados somente de chuva (estações hidrológicas), os dados das demais variáveis meteorológicas necessárias para o cálculo do requerimento de água para irrigação foram obtidos de estações meteorológicas próximas, desde que, ambas estivessem localizadas na mesma região climática de acordo com a classificação de Köppen. A Figura 1 ilustra as estações hidrológicas e respectivas estações meteorológicas utilizadas como referência para os cálculos previamente destacados.

- Para o cálculo da precipitação efetiva considerou-se o método proposto pelo USDA Soil Conservation Service (USDA-SCS). Este método foi desenvolvido por meio de balanços hídricos relacionando a entrada de precipitação com as saídas por escoamento superficial e percolação, bem como a água retida na zona radicular, para várias culturas.

- Foram consideradas três datas de semeadura para a safra (20/setembro, 20/outubro e 20/novembro) e uma data para a safrinha (10/janeiro) do feijão. Os dados fenológicos da cultura exigidos no Cropwat, constam na Tabela 1.

- Para os dados edafológicos, foram consideradas as características do solo (Embrapa, 2006) predominante em cada local onde estão localizadas as estações meteorológicas e hidrológicas, classificando-os em três grupos de acordo com a textura: Tipo 1 - solos de textura arenosa (CAD= 60 mm/m); Tipo 2 - solos de textura média (CAD = 140 mm/m); e Tipo 3 - solos de textura argilosa (CAD = 200 mm/m). Para todos os tipos de solo considerou-se a profundidade máxima radicular para o feijão 60 cm e a deficiência de umidade do solo disponível no início do ciclo como sendo 20% em relação à capacidade máxima de água disponível no solo (CAD).

O software ArcView GIS 3.2a foi utilizado para a geoespacialização dos resultados referentes ao requerimento de água para irrigação. Utilizou-se o interpolador linear IDW do software, em que o peso da célula a ser interpolada é dado por uma média ponderada que utiliza o peso dos 12 pontos (considerados nesse estudo) de controle mais próximos, ponderados pelo inverso da distância elevado a quarta potência (valor definido para este estudo).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A climatologia do requerimento de água para irrigação (RAI), baseado na diferença entre a evapotranspiração máxima do feijão (ETc) e a precipitação efetiva (P_{ef}) para todo o ciclo da cultura (Figuras 2a a 2d), mostram que as menores demandas (<30 mm) para as datas de semeadura que envolvem o cultivo da 1ª safra (Figuras 2a, 2b e 2c) localizam-se no nordeste do Rio Grande do Sul, aumentando gradativamente em direção ao centro-sul do Estado.

As condições climáticas durante o ciclo do feijão para semeaduras feitas no final de setembro possibilitam uma menor demanda de água pela cultura em relação às demais datas analisadas da safra. Na metade norte, onde concentra a maior região produtora do Estado, o RAI não ultrapassa os 50 mm (Figura 2a). Já para as demais datas, os valores de irrigação requeridos pelo feijão safra são muito semelhantes em todas as regiões (Figuras 2b e 2c). No entanto, é na semeadura



Tabela 1- Características da cultura do feijão para as fases fenológicas inicial (I), de desenvolvimento vegetativo (DV), intermediária (IM) e de maturação (M)

	Fases fenológicas				
	I	DV	IM	M	Ciclo
Coefficiente de cultura (Kc)	0,35	-	1,1	0,3	0,7
Duração das fases fenológicas (dias)	10	25	45	20	100
Profundidade radicular efetiva (metros)	0,20	-	0,30	-	-
Esgotamento crítico de água no solo	0,45	-	0,45	0,60	-

Fontes: Doorenbos & Kassan (2000), Marouelli et al. (2008), Pires et al. (1991).

representativa da safrinha que o RAI é menor, sendo inferior a 30 mm em quase todo o Estado (Figura 2d).

Aos resultados do requerimento de irrigação líquida (RIL) nas atuais condições climáticas (Figuras 2e a 2h), observa-se que quanto mais tardio for a semeadura do feijão safra, maior será o RIL. Isto fica mais evidente no nordeste e sul (fronteira com o Uruguai) do Estado, onde a irrigação líquida aumenta cerca de 20 mm a cada mês em que a semeadura tarda em iniciar. Como exemplo, no nordeste, a irrigação líquida para todo o ciclo é predominantemente inferior a 30 mm, entre 31 a 50 mm e atingindo 51 a 70 mm, para semeaduras feitas em 20 de setembro (Figura 2e), 20 de outubro (Figura 2f) e 20 de novembro (Figura 2g), respectivamente. Assim como observado no RAI por $ET_c - P_{ef}$ e no estudo de Silva et al. (2011), na safrinha também observam-se os menores RIL, sendo inferior a 30 mm na metade norte do Rio Grande do Sul (Figura 2h). Além desse benefício, Cruz & Pereira Filho (2010) destacam que o cultivo da safrinha, independentemente da cultura, apresenta como vantagens: possibilidade do uso mais racional dos fatores de produção (terras, máquinas, equipamentos e mão de obra) em período ocioso do ano (entre janeiro a abril); maior preço na safrinha do que na safra normal; menor custo de produção; e falta de alternativas mais seguras e rentáveis para a época.

As diferenças no RIL entre a metade norte (menor RIL) e a metade sul (maior RIL) do Estado podem ser explicadas pelo tipo de solo predominante na maioria das estações utilizadas ao norte de ter uma maior capacidade de armazenamento de água em relação aos observados na metade sul, além dos parâmetros meteorológicos influentes para este cenário, conforme os resultados previamente destacados de $ET_c - P_{ef}$. Esta hipótese é reforçada pelo estudo de Silva et al. (2011) realizado na região central do Rio Grande do Sul. Os autores não encontraram diferenças estatisticamente significativas entre as lâminas de irrigação aplicadas

para o feijoeiro entre dois grupos de solo com texturas semelhantes.

Ressalta-se que os valores de RIL devem ser considerados a aqueles que adotam os mesmos critérios para o planejamento de irrigação, utilizados neste estudo. Bergamaschi et al. (2006) indicam que lâminas de irrigação de aproximadamente 60% daquela necessária para elevar o conteúdo de umidade do solo a sua capacidade de campo permite aumentar a eficiência do uso de água, ou seja, os valores destacados nas Figuras 2e a 2h podem ser menores se o produtor optar em alterar o critério de lâmina de irrigação.

No contexto geral, comparando os resultados entre as diferentes formas de obtenção de RAI, percebe-se que os valores de irrigação líquida são mais distintos entre regiões próximas entre si. Isto se deve à consideração das características do solo no cálculo do RIL. Ressalta-se que o uso total de água para irrigação (bruta) é maior que aos valores apresentados nas Figuras 2e a 2h. Isto é devido à irrigação bruta estar diretamente relacionada com a eficiência de aplicação da água de irrigação.

Por exemplo, na região central do Estado para semeaduras feitas em 20 de outubro (Figura 2f) e 20 de novembro (Figura 2g), onde o RIL é de 111 a 130 mm e considerando que a eficiência da irrigação seja de 60%, a lâmina de irrigação bruta será de 185 a 217 mm. Em termos médios, na maioria dos planejamentos de irrigação, a eficiência de aplicação não ultrapassa 60%. Variações ao longo do ciclo vegetativo devem ser observadas, ocorrendo altas eficiências durante períodos de demandas máximas e baixas no princípio e final desses períodos (Doorenbos & Pruitt, 1997).

Num cenário de aumento da temperatura do ar, o poder evaporante do ar segue o mesmo comportamento, resultando em aumento no RAI para o feijão independente da data de semeadura (Figura 3). Com o cenário C1-

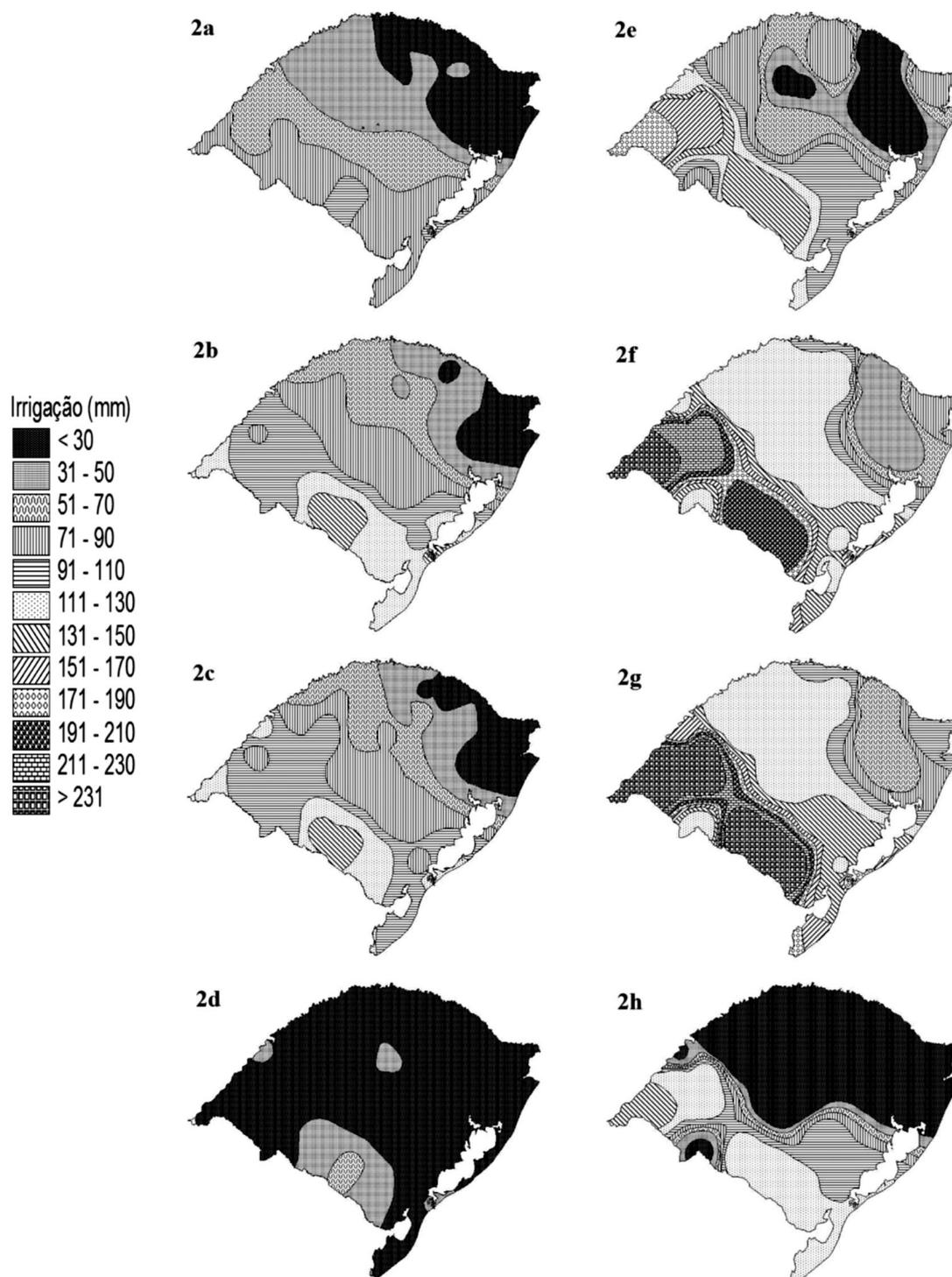


Figura 2 - Requerimento de água para irrigação ($E_{Tc} - P_{ef}$) do feijão baseado na climatologia atual, durante todo o ciclo para semeaduras feitas em 20/setembro (2a), 20/outubro (2b), 20/novembro (2c) e 10/janeiro (2d); e irrigação líquida para semeaduras feitas em 20/setembro (2e), 20/outubro (2f), 20/novembro (2g) e 10/janeiro (2h).

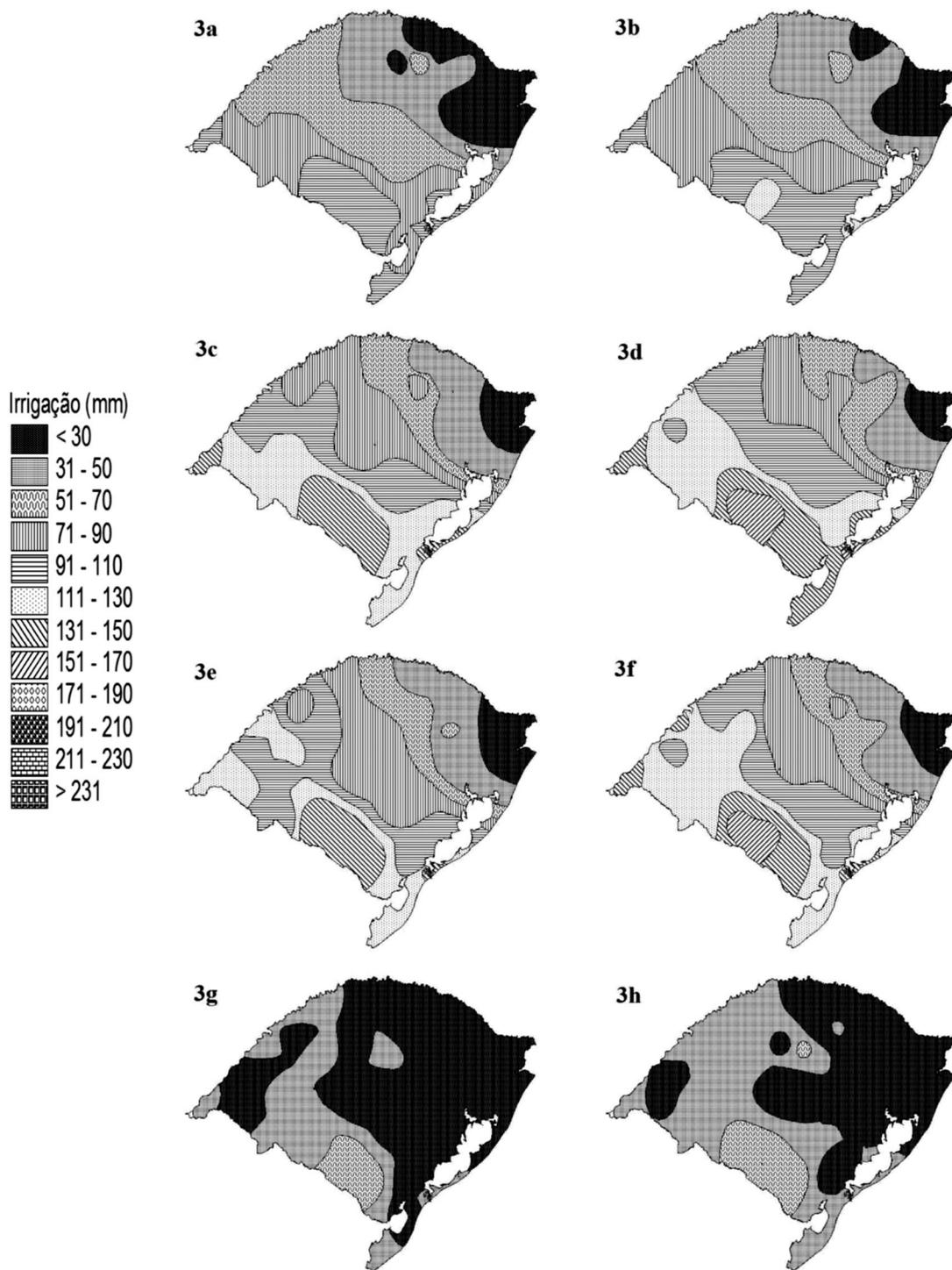


Figura 3 - Requerimento de água para irrigação ($ETc - P_{cp}$) durante todo o ciclo do feijão no cenário climático C1 para semeaduras feitas em 20/setembro de 2030 (3a) e 2060 (3b), em 20/outubro de 2030 (3c) e 2060 (3d), em 20/novembro de 2030 (3e) e 2060 (3f) e 10/janeiro de 2030 (3g) e 2060 (3h).

2030, o aumento no RAI em relação ao observado nas atuais condições climáticas para semeaduras no final de setembro, varia de 4 a 9 mm (Figura 3a) e praticamente duplicam em C1-2060 (Figura 3b). Assim, a cada 1°C de aumento somente da temperatura do ar, o RAI do feijão, semeado precocemente (final de setembro), aumentará de 4 a 9 mm no Rio Grande do Sul. Enquanto na metade norte do Estado, o RAI nas atuais condições climáticas não passava de 50 mm, com o aumento da temperatura, em parte dessa região a demanda de irrigação fica entre 51 e 70 mm.

Quanto as semeaduras feitas em outubro e novembro, os resultados do RAI para C1 são semelhantes em ambos anos projetados. Assim, analisando em valores absolutos, a água para irrigação aumenta de 6 a 10 mm em 2030 (Figuras 3c e 3e), duplicando em 2060 (Figuras 3d e 3f). Apesar de serem valores numericamente pequenos, em termos de áreas agrícolas destinada ao cultivo de grãos, esses valores passam a valores expressivos de uso de água para irrigação. Por exemplo, no cenário C1-2030 para uma área de 1 hectare, representaria um aumento de 60.000 a 100.000 litros de água destinado a irrigação durante todo o ciclo do feijão semeado em outubro e/ou novembro no Rio Grande do Sul.

Para a safrinha, os aumentos no RAI também foram observados (Figuras 3g e 3h), porém em valores menores aos destacados nas três datas de semeadura representativas da safra. Os aumentos para a safrinha em C1-2030 foram de 1 a 7 mm, dobrando em C1-2060. Enquanto nas atuais condições climáticas o RAI fica abaixo de 30 mm em quase todo o Rio Grande do Sul, em C1-2060 (Figura 3h) essa área ficou reduzida a praticamente metade do Estado.

Num cenário de aumento conjunto das duas variáveis meteorológicas (temperatura do ar e precipitação) que se contrapõem quanto as suas atribuições na disponibilidade de água no solo, as Figuras 4a a 4h mostram uma leve condição favorável quanto ao RAI, ou seja, há um predomínio maior no ganho (P_{ef}) do que na perda (ETc) de água. Percebe-se que o cenário C2 desenhado para 2030 em todas as datas de semeadura (Figuras 4a, 4c, 4e e 4g) são semelhantes aos obtidos nas atuais condições climáticas. Isto ocorre devido às diferenças entre estes cenários predominantemente serem menores que 5 mm e dobrarem em C2-2060 (Figuras 4b, 4d, 4f e 4h). Apesar dessas diferenças não serem

muito visíveis através da Figura 4, em razão da sua forma de apresentação em intervalos, associada com as referidas pequenas variações, as maiores diferenças da RAI entre o clima atual e C2 são observados nas semeaduras feitas em setembro e outubro.

Algo semelhante à divergência apresentada no comportamento do RAI entre os cenários C1 e C2 foi observado no estudo de Elgaali et al. (2007), mas neste último, a diferença foi entre períodos sazonais. Baseado em cenários futuros gerados por dois modelos de Circulação Geral (CCC e HAD), a evapotranspiração sazonal e o RAI ($ET_0 - P_{ef}$) no estado do Colorado (Estados Unidos) são esperados aumentar de abril a maio e diminuir de julho a agosto, gradualmente até o final do século XXI. Apesar dessas variações nas projeções do RAI, uma tendência de aumento para todo o período analisado (abril a setembro) é predominante.

Quando analisados o RIL no cenário C1 (Figura 5) em relação ao clima atual, os aumentos na demanda quando ocorrem, são bem variados, no que se refere aos valores obtidos entre as estações para uma mesma e/ou diferente data de semeadura e ano projetado (2030 e 2060), onde se notam aumentos de poucas unidades até elevadas dezenas. A explicação plausível para este comportamento refere-se aos fatores influentes no balanço hídrico de água no solo. Considerando que a cultura e suas respectivas características são as mesmas, o diferencial recai no clima e tipo de solo, que ora, apenas um desses dois parâmetros pode favorecer a maior demanda evaporativa, ora ambos estarão favorecendo ou não a este comportamento. Somado a estas situações, a ocorrência de apenas uma irrigação a mais durante o ciclo da cultura resulta nas referidas variabilidades observadas.

Num contexto geral, para o cenário C1-2030 percebe-se que para semeaduras precoces (20 de setembro) há um maior número de estações com aumentos expressivos de irrigação líquida (Figura 5a), enquanto para a semeadura feita no início de janeiro, têm-se várias estações em que sequer houve modificações no RIL (Figura 5g) em relação ao observado nas atuais condições climáticas (Figura 2h).

Já para 2060, nas semeaduras feitas em 20 de setembro (Figura 5b) e 20 de novembro (Figura 5f) notou-se que, em parte das localidades que houve inexpressivo aumento de irrigação líquida em 2030, aumentaram em



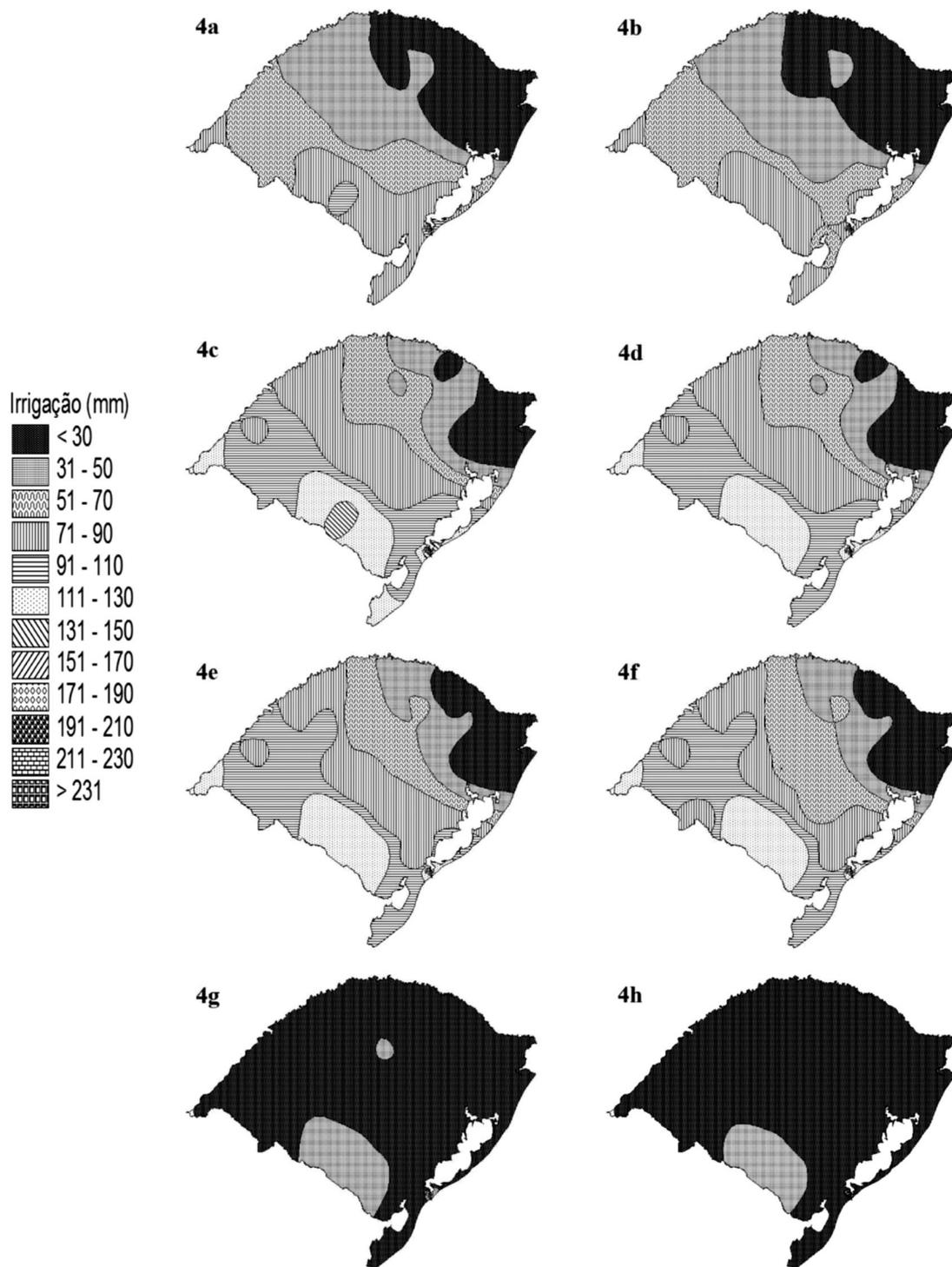


Figura 4 - Requerimento de água para irrigação ($ETc-P_{ep}$) durante todo o ciclo do feijão no cenário climático C2 para semeaduras feitas em 20/setembro de 2030 (4a) e 2060 (4b), em 20/outubro de 2030 (4c) e 2060 (4d), em 20/novembro de 2030 (4e) e 2060 (4f) e 10/janeiro de 2030 (4g) e 2060 (4h).

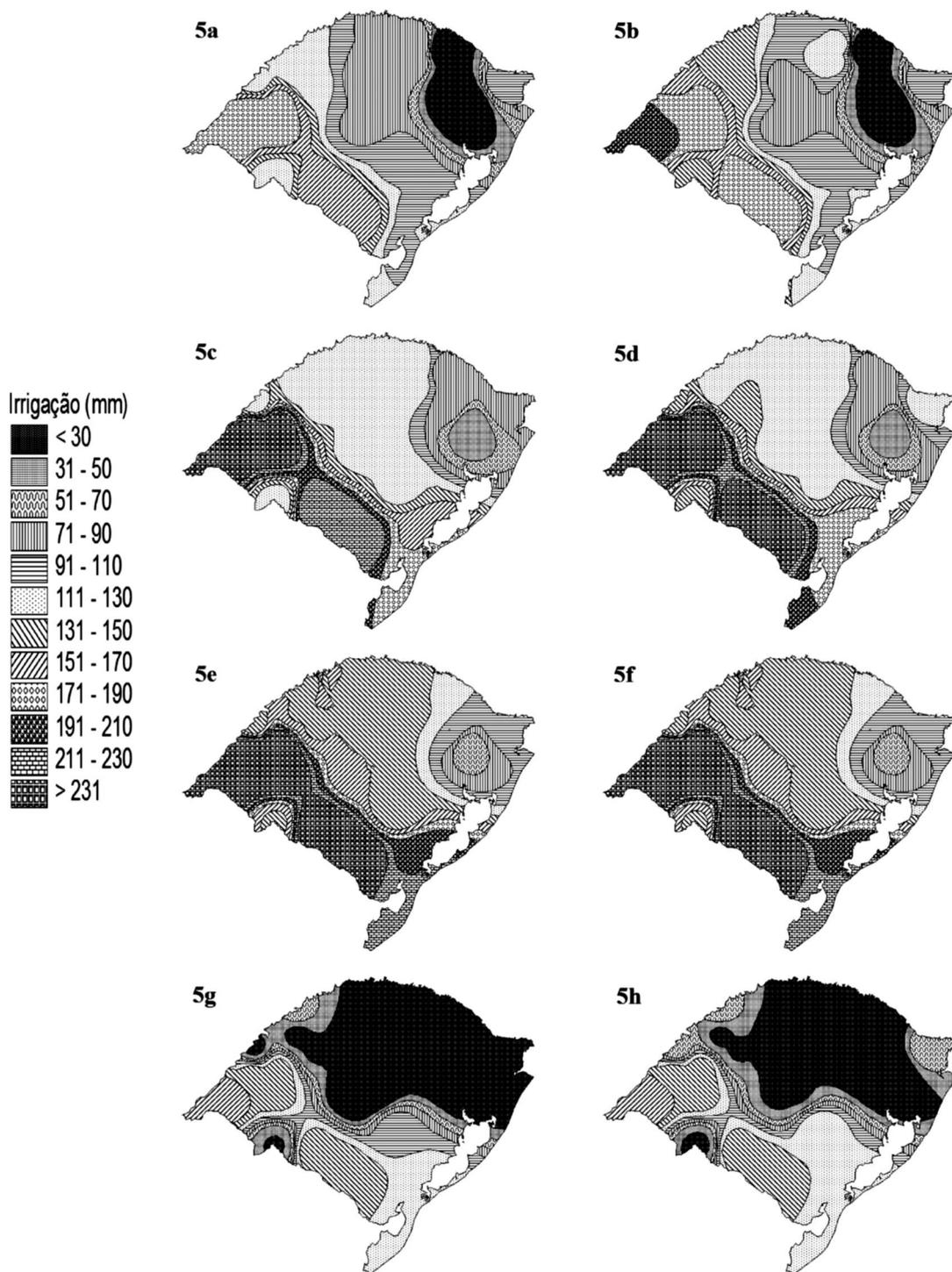


Figura 5 - Requerimento de irrigação líquida durante todo o ciclo do feijão no cenário climático C1 para semeaduras feitas em 20/setembro de 2030 (5a) e 2060 (5b), em 20/outubro de 2030 (5c) e 2060 (5d), em 20/novembro de 2030 (5e) e 2060 (5f) e 10/janeiro de 2030 (5g) e 2060 (5h).

2060. O outro montante de localidades, a demanda de irrigação líquida se houve, foi de poucas unidades e em todas essas situações, não se observou associação com o tipo de solo. Na semeadura da safrinha, foram raras localidades em que houve aumento de RIL entre as projeções de 2030 e 2060 por isso, visualmente há poucas diferenças nas ilustrações das Figuras 5g e 5h.

Em suma, cenários climáticos que envolvem unicamente aumento da temperatura do ar, não há um princípio estabelecido quanto ao RIL para o feijão no Rio Grande do Sul. Isso significa que os aumentos expressivos em relação ao clima atual observados em algumas localidades não sugerem que isto seja proporcional a elevação da temperatura, assim como nas localidades em que não foram observadas mudanças expressivas no RIL para 2030 e 2060, esse comportamento persista com elevações de temperatura acima de 2°C.

Analisando a Figura 6 que apresenta os resultados de C2 para RIL, nota-se que praticamente não há mudanças em relação ao observado no cenário C1, salvo raras exceções em algumas localidades. Assim, pode-se aferir que num aumento conjunto da temperatura do ar e precipitação nos valores estabelecidos em C2, a primeira variável meteorológica prepondera na mudança do RIL.

Estas informações na escala regional e em diferentes datas de semeadura são úteis para agricultores, no desenvolvimento de estratégias a curto e longo prazo diante de eventuais mudanças climáticas, permitindo avaliar diferentes ações que podem ser tomadas para mitigar ou adaptar aos possíveis impactos decorrentes do clima.

Finger et al. (2011) avaliaram a irrigação como estratégia de adaptação diante dos possíveis impactos das mudanças climáticas na produtividade do milho na região do Planalto Sul, levando em conta diferentes cenários climáticos (aumentos na temperatura do ar, na precipitação e na concentração de CO₂ para 2030 e 2050) e de preços de mercado. Mesmo que a adoção de irrigação do milho leve a produtividades maiores e menos variáveis no futuro, os benefícios econômicos da adoção dessa atividade agrícola devem ser pequenas. Assim não se espera mudanças no cultivo irrigado do milho no futuro em relação ao adotado atualmente. Porém, os autores atentam que em situações

de mudanças climáticas extremas, perdas na produtividade do cereal devem ocorrer, sendo a irrigação uma possível medida a ser adotada para minimizar esses danos.

Diante de cenários sociais, econômicos e ambientais pouco otimistas previstos em âmbito global para as próximas décadas, a possibilidade de ocorrência futura da diminuição do RAI (ETc- P_{ef}) pelo cenário C2 é uma informação bem receptiva, no que tange a irrigação agrícola.

A condição de mercado agrícola e do uso da água doce podem ser fatores que irão restringir a utilização da irrigação em maior escala, apesar de que a relação custo e benefício na implantação desta atividade agrícola no Rio Grande do Sul, em diferentes cenários, são cabíveis aos objetivos de outros estudos. Porém, independente da concretização ou não desses cenários, o importante é que se busquem cada vez mais informações e ferramentas para aperfeiçoar as práticas de produção agrícola irrigada.

4. CONCLUSÕES

Nas atuais condições climáticas, o requerimento de irrigação baseada em ETc-P_{ef} aumenta gradativamente do nordeste ao centro-sul do Rio Grande do Sul, sendo as menores lâminas para semeaduras feitas no início de janeiro, final de setembro e, finalmente, com valores semelhantes, no final de outubro e/ou novembro. Para a irrigação líquida, quanto mais tardia a semeadura da 1^o safra, maior o requerimento de água.

A cada 1°C de aumento da temperatura do ar (cenário C1), o RAI (ETc-P_{ef}) tende a aumentar de 4 a 10 mm e entre 1 a 7 mm para semeaduras da safra e da safrinha, respectivamente. Nesse cenário, os aumentos na irrigação líquida quando ocorrem, são bem variados em termos quantitativos e desproporcionais em relação à variação da temperatura.

O aumento simultâneo da temperatura do ar e da precipitação (cenário C2), resulta em menor RAI (ETc-P_{ef}), apesar das diferenças em relação ao observado no clima atual serem pequenas.

Num aumento conjunto da temperatura do ar e da precipitação nos valores estabelecidos em C2, a primeira variável meteorológica prepondera na mudança do requerimento de irrigação líquida para o feijão.

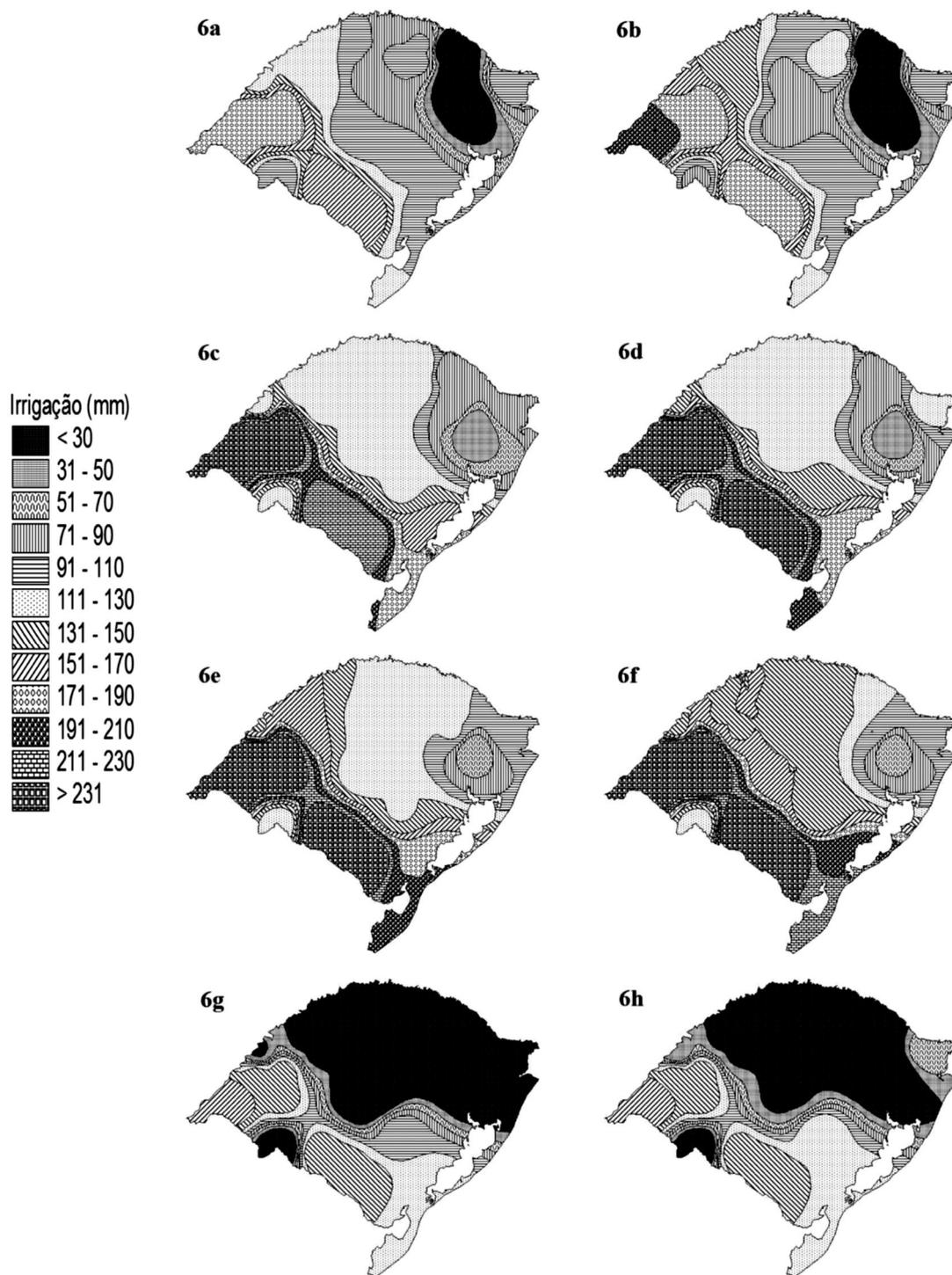


Figura 6 - Requerimento de irrigação líquida durante todo o ciclo do feijão no cenário climático C2 para semeaduras feitas em 20/setembro de 2030 (6a) e 2060 (6b), em 20/outubro de 2030 (6c) e 2060 (6d), em 20/novembro de 2030 (6e) e 2060 (6f) e 10/janeiro de 2030 (6g) e 2060 (6h).

5. LITERATURA CITADA

- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.243-249, 2006.
- CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. As melhores opções para plantio da safrinha. **Revista Campo & Negócio**, v.94, p.30-34, 2010.
- DIAS, M.A.F.S. (Ed.) **As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos**. São José dos Campos: INPE, 2009. 67p.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. 2ºed. Campina Grande: UFPB. 2000. 221p. (Traduzido por GHEYI, H.R. et al.)
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: UFPB. 1997. 204p. (Traduzido por Gheyi, H.R. et al.)
- ELGAALI, E.; GARCIA, L.A.; OJIMA, D.S. High resolution modeling of the regional impacts of climate change on irrigation water demand. **Climatic Change**, v.84, p.441-461, 2007.
- Embrapa - **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2ºed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306p.
- FINGER, R.; HEDIGER, W.; SCHMID, S. Irrigation as adaptation strategy to climate change – a biophysical and economic appraisal for Swiss maize production. **Climatic Change**, v.105, p.509-528, 2011.
- HAYLOCK, M.R.; PETERSON, T.; ABREU DE SOUSA, J.R. et al. Trends in total and extreme South American temperature 1960–2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2006.
- HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; SILVA, S.C. Feijão. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Ed.) **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009. p.183-201.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Banco de dados agregados SIDRA**. 2011. In: <http://www.sidra.ibge.gov.br> (acessado em 30 de Outubro de 2011).
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. 2ºed., Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 150p.
- MATZENAUER, R.; MALU, J.R.T.; BARNI, N.A. et al. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura do feijoeiro na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.34, p.1363-1369, 2004.
- MEZONO, A.M. **Irrigação é a solução: manual técnico de apoio**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2009. 41p.
- MINUZZI, R.B.; CARAMORI, P.H.; BORROZINO, E. Tendências na variabilidade climática sazonal e anual das temperaturas máxima e mínima do ar no Estado do Paraná. **Bragantia**, v.70, p.471-479, 2011.
- MINUZZI, R.B. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1288-1293, 2010.
- MINUZZI, R.B.; CARAMORI, P.H. Mudanças climáticas e a demanda de água a irrigação do milho no Paraná. In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 2010. **Anais...** Viçosa: UFV, 2010. CD-ROM.
- OBREGÓN, G.; MARENGO, J.A. **Caracterização do clima do século XX no Brasil: Tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas. Relatório nº 2. Mudanças climáticas Globais e efeitos sobre a biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 91p.



PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M. et al. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, v.50, p.153-162, 1991.

RAMOS, A.M.; SANTOS, L.A.R. DOS; FORTES, L.T.G. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília: INMET, 2009. 465p.

SILVA, J.C.; HEDWEIN, A.B.; RADONS, S.Z. et al. Necessidade de irrigação para o feijoeiro na região central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1030-1036, 2011.

SILVA, C.S.; WEATHERHEAD, E.K.; KNOX, J.W. et al. Predicting the impacts of climate change – a case study on paddy irrigation water requirements in Sri Lanka. **Agricultural Water Management**, v.93, p.19-29, 2007.

TODISCO, F.; VERGNI, L. Climatic changes in Central Italy and their potential effects on corn water consumption. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, p.1-11, 2008.

YANO, T.; AYDIN, M.; HARAGUCHI, T. Impact of climate change on irrigation demand and crop growth in a Mediterranean environment of Turkey. **Sensors**, v.7, p.2297-2315, 2007.

