

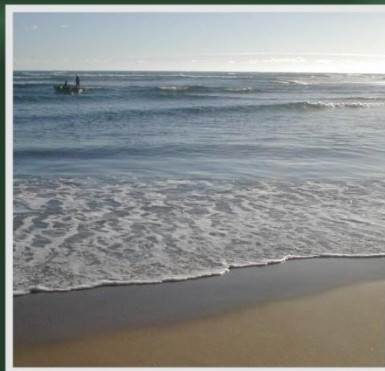
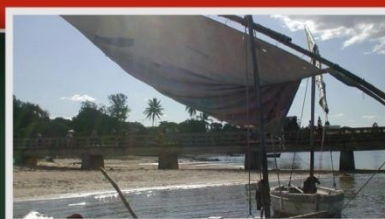
RESPONDENDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM MOÇAMBIQUE



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE
MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL
INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE CALAMIDADES



Instituto Nacional de
Gestão de Calamidades



Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC)
FASE II

TEMA 6 Agricultura

Outubro 2012

TEMA 6

Parte 1: Rui Brito
Parte 2: Edwin Holman

Detalhe de contactos para correspondência:

Rui Brito (Parte 1)
ruimoz@gmail.com
+258 823 093 340
Universidade Eduardo Mondlane
Moçambique

Edwin Holman (Parte 2)
info@cropsadvance.com
www.cropsadvance.com
Tel/Fax: +55 19 3802 1785
Crops Advance
Rua Campo do Pouso 1413
CEP 13825000
Holambra-SP
Brazil

Director do Projecto: Joao Tiago M.M. Ribeiro
Coordenadora do Projecto: Barbara van Logchem
Coordenador Científico: Antonio J. Queface
Tradução: Carlos Vaz

Relatório a ser referenciado como:

Brito, R. (ed.) & Holman, E.H.A. 2012. *Respondendo as mudanças climáticas em Moçambique: Tema 6: Agricultura*. Maputo: INGC.

Report layout:



Contact details: magdelvdm@gmail.com

SUMÁRIO EXECUTIVO

A maioria da agricultura Moçambicana é praticada em regime de sequeiro totalmente dependente das chuvas e humidade do solo (agricultura não irrigada). As mudanças climáticas têm resultado num aumento das temperaturas, mudança nos padrões da chuva e, num aumento das concentrações de dióxido de carbono (CO₂) e de ozono (O₃) na superfície terrestre. Este estudo pretende quantificar os impactos destas mudanças na produtividade agrícola, abrangendo todo o território nacional e seis culturas chaves (algodão, amendoim, mandioca, mapira, milho e soja).

Para o efeito estudaram-se primeiro os impactos das mudanças nos padrões das chuvas e temperaturas no balanço hídrico da cultura e seus efeitos nos rendimentos potenciais para as seis culturas. Estudaram-se também os efeitos individuais da mudança das temperaturas, da concentração de dióxido de carbono (CO₂) e do ozono (O₃) nos rendimentos potenciais das culturas.

Para simular as mudanças climáticas usaram-se sete modelos gerais de circulação da atmosfera (GCMs) que resultam em dados diários de temperaturas (máximas e mínimas) e precipitação para os anos de 1961 a 2000 (calibração) e de 2046 a 2065 (projeção) para 47 estações dentro e à volta de Moçambique. É com base nesses dados que se fez o estudo dos impactos das mudanças climáticas (passado de 1961 a 2000 versus futuro de

2046 a 2065) para as seis culturas em questão.

CliCrop, que calcula os rendimentos com base num balanço diário da humidade do solo, foi o modelo utilizado para estudar os impactos das mudanças dos padrões de chuva e temperatura nos rendimentos na agricultura em sequeiro para as seis culturas (algodão, amendoim, mandioca, mapira, milho e soja). Os efeitos das mudanças climáticas nos rendimentos diferem de cultura para cultura, sendo o milho a cultura mais afetada com uma diminuição média projetada no país de 11.1%, seguida da soja com uma diminuição projetada de 6.4%, depois o amendoim com uma diminuição de 4.6%, a mandioca com 4.2%, a mapira com 3.5% e o algodão como a cultura menos afetada com uma diminuição média projetada na ordem dos 2.9% dos rendimentos atuais. A diminuição dos rendimentos encontram-se distribuídas diferentemente pelas diferentes zonas geográficas com a diminuição dos rendimentos a iniciar como uma bolsa no sector oeste da província de Tete na cultura do algodão, crescendo em direção ao litoral e ao sul, com as culturas da mapira, amendoim, mandioca e soja, seguindo-se por último o milho como a cultura mais afetada que cobre uma área mais ampla em Moçambique. Os rendimentos das culturas podem diminuir até a 30% da produção atual nas áreas mais afetadas como é o caso do milho em algumas áreas da província de Tete.

O aumento nas temperaturas diárias resulta num impacto positivo para a cultura da mandioca, projetando-se um aumento na ordem dos 6.0%, e efeitos negativos para as restantes culturas, algodão, amendoim, mapira, milho e soja, com um decréscimo de 11.0%.

O aumento nas concentrações de CO₂ resulta num impacto positivo para todas as culturas, projetando-se um aumento de 27.0% para o algodão, de 20% para a soja, de 10% para o amendoim e mandioca e, de 7% para as culturas do milho e mapira.

O aumento nas concentrações de O₃ resulta num impacto negativo para todas as culturas,

projetando-se uma diminuição de 37.0% para o algodão, de 28% para a soja, de 14% para o amendoim e mandioca e, de 9% para as culturas do milho e mapira.

A tabela 1 resume os impactos esperados para o período de 2046 a 2065 resultante das mudanças climáticas para as diferentes culturas e diferentes fatores. O aumento da concentração de ozono (O₃) é o fator com maior impacto negativo, seguido do aumento das temperaturas, da mudanças das chuvas e temperaturas. O aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) resulta num impacto positivo, não conseguindo no entanto contrabalançar o efeito negativos dos outros.

Tabela 1: Efeito das mudanças climáticas (mudanças nas chuvas, temperaturas, CO₂ e O₃) nos rendimentos das culturas para o período de 2046 a 2065.

Cultura	Chuvas e temperatura	Temperatura	CO ₂	O ₃	Total
Algodão	- 2.9 %	- 11.0 %	+ 27.0 %	- 37.0 %	- 23.9 %
Amendoim	- 4.6 %	- 11.0 %	+ 10.0 %	- 14.0 %	- 19.6 %
Mandioca	- 4.2 %	+ 6.0 %	+ 10.0 %	- 14.0 %	- 2.2 %
Mapira	- 3.5%	- 11.0 %	+ 7.0 %	- 9.0 %	- 16.5 %
Milho	- 11.1 %	- 11.0 %	+ 7.0 %	- 9.0 %	- 24.1 %
Soja	- 6.4%	- 11.0 %	+ 20.0 %	- 28.0 %	- 25.4 %
Médio	- 5.5%	- 8.2 %	+ 13.5 %	- 18.5 %	- 18.6 %



Os efeitos apresentados são resultados médios estimados para todo o país, havendo no entanto variações de região para região. Como anteriormente dito, os efeitos variam de região para região e, no caso do milho na região à volta de Tete, eles podem atingir um decréscimo total na ordem dos 45.0 %. Estes efeitos podem ser exacerbados pelo aumento da frequência e intensidade das calamidades (secas, inundações, ciclones e incêndios descontrolados) cuja ocorrência resulta em perdas totais da produção nas zonas afetadas.

O Plano Estratégico de Desenvolvimento do Sector Agrário (PEDSA 2011-2020) estabelece para 2020 a meta de duplicar os rendimentos com um crescimento anual de 7%. Para se atingir essas metas, tomando em conta os impactos das mudanças climáticas, é necessário apontar para um aumento dos rendimentos na ordem das 2,5 vezes. Embora hajam já algumas medidas de adaptação que possam ser aplicadas, há ainda uma necessidade de se desenvolver uma agenda

específica da agricultura para lidar com as mudanças climáticas.

Medidas possíveis de adaptação às mudanças climáticas incluem entre outras:

- Técnicas de irrigação e de captação e conservação das águas das chuvas;
- Mudança das épocas de sementeira para se evitar a concentração elevada de O₃;
- Inoculação de bacilos e, gestão da fertilidade do solo para aumentar a tolerância ao O₃ elevado;
- Evitar queimadas (NO₂) mudando para queimadas frias para evitar emissões elevadas de NO₂ a a consequente produção de ozono (O₃);
- Melhoramento genético para produção de material tolerante às concentrações elevadas de ozono.

CONTEÚDOS

PART 1. AGRICULTURA. IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA EM MOÇAMBIQUE. MAPUTO INGC. _____	10
INTRODUÇÃO	10
TRABALHO REALIZADO NA FASE I DO ESTUDO DO INGC	10
MODELANDO OS RENDIMENTOS DAS CULTURAS	13
DADOS PARA O MODELO	14
RESULTADOS DO MODELO	19
MODELANDO OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	21
IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO MILHO	24
IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM OUTRAS CULTURAS	31
ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	34
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	38
BIBLIOGRAFIA	40
PARTE 2. MODELANDO O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DE MEADOS DO SÉCULO NOS RENDIMENTOS DAS CULTURAS EM MOÇAMBIQUE: EFEITOS DA SUBIDA DA TEMPERATURA, DO OZONO TERRESTRE E DO CO₂ ATMOSFÉRICO: UMA ABORDAGEM POR CAMADAS. _____	44

Anexo I: Valores médios do modelo CliCrop para Moçambique (baseados na mediana) para sete modelos gerais de circulação da atmosfera, 47 estações meteorológicas e seis culturas diferentes (mandioca, algodão, amendoim, milho, mapira e soja).

41

Figuras & Tabelas

Figura 1:	Mudanças na aptidão da terra para o milho perante mudanças climáticas, para o modelo IPSL (INGC, 2009)	12
Figura 2:	Mudanças na aptidão da terra para o milho perante mudanças climáticas, para o modelo ECHAM (MPI) (INGC, 2009)	12
Figura 3:	Mudanças na aptidão da terra para o milho perante mudanças climáticas, para o modelo GFDL (INGC, 2009)	12
Figura 4:	Mudanças médias na aptidão da terra para o milho perante mudanças climáticas, para os três modelos (INGC, 2009)	12
Figura 5:	Fluxograma dos procedimentos seguidos pelo CliCrop	14
Figura 6:	Esquema do processo de humidade do solo utilizado pelo CliCrop.	14
Figura 7:	Localização das 47 estações meteorológicas utilizadas neste estudo.	16
Figura 8:	Rendimentos relativos médios do milho resultantes do CliCrop, no período de 1961 a 2000.	20
Figura 9:	Aptidão agro-climática para o milho para uma agricultura de baixos insumos (adaptado do FAO/UNDP, 1982 b).	20
Figura 10:	Alterações esperadas no futuro (2046-2065) na média de todos os 7 MGC para as temperaturas médias diárias durante o período de crescimento, expressas em °C.	26
Figura 11:	Mudanças na distribuição das temperaturas globais no país (passado em azul e futuro em verde) com base em todos os MGC, e para os dois extremos (aumento menor e maior em verde com pontos).	26
Figura 12:	Mudanças prevista no futuro (2046-2065) na precipitação média de todos os 7 MGC, durante o período de crescimento, expressa em mm.	27
Figura 13:	Mudanças na distribuição da precipitação média geral no país (o passado a azul, e o futuro a verde) com base em todos os MGC, e para os dois extremos (maior e menor aumento em verde com pontos).	27
Figura 14:	Mudanças esperadas no futuro (2046-2065) para o Milho (média de todos os 7 MGCs), expressas em % dos rendimentos actuais.	28
Figura 15:	Mudanças na distribuição dos rendimentos gerais das culturas de milho no país (o passado a azul, e o futuro a verde) com base em todos os MGC, e para os dois extremos (maior e menor aumento em verde com pontos).	28
Figura 16:	Rácio dos rendimentos médios de cada Modelo Geral de Circulação (MGC).	29
Figura 17:	Mudanças esperadas no futuro (2046-2065) para o milho (expressas em kg/ ha) numa agricultura em sequeiro. Valores baseados na média de todos os 7 MGC.	30
Figura 18:	Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para o algodão (média de todos os 7 MGC), expressas em % dos rendimentos actuais.	32
Figura 19:	Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para o algodão (média de todos os 7 MGC), expressas em kg/ ha.	32
Figura 20:	Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a mapira (média de todos os 7 MGC), expressas em % dos rendimentos actuais.	32

Figura 21:	Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a mapira (média de todos os 7 MGC), expressas em kg/ ha.	32
Figura 22:	Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para o amendoim (média de todos os 7 MGC), expressas em % dos rendimentos actuais.	33
Figura 23:	Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para o amendoim em in kg/ha).	33
Figura 24:	Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a mandioca (média de todos os 7 MGC), expressas em % dos rendimentos actuais.	33
Figura 25:	Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a mandioca em in kg/ha).	33
Figura 26:	Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a soja (média de todos os 7 MGC), expressas em % dos rendimentos actuais.	34
Figura 27:	Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a soja em in kg/ha).	34
Figura 1.	A distribuição de calor ao longo do ciclo da cultura define fortemente a duração do ciclo e o rendimento - resultado.	49
Figura 2.	Alteração no rendimento de Girassol devido a um aumento de 1°C na temperatura média.	50
Figura 3.	Mudança média da temperatura, em meados do século, em época de plantio (de por exemplo milho), variando de 1.7 a 2.4°C.	52
Tabela 1:	Efeito das mudanças climáticas (mudanças nas chuvas, temperaturas, CO ₂ e O ₃) nos rendimentos das culturas para o período de 2046 a 2065.	3
Tabela 1:	Dados requeridos para o modelo CliCrop.	15
Tabela 2:	Duração das fases de desenvolvimento de culturas (dias) para seis culturas (Allen <i>et al</i> , 1998).	18
Tabela 3:	Coeficientes de cultura individual (Kc), alturas médias e máximas da planta para seis culturas (Allen <i>et al</i> , 1998).	18
Tabela 4:	Coeficientes basais da Cultura (Kcb) para seis culturas (Allen <i>et al</i> , 1998).	18
Tabela 5:	Profundidade máxima efectiva da raiz e factor de depleção da água do solo para seis culturas (Allen <i>et al</i> , 1998).	18
Tabela 6:	Coeficientes de rendimento para seis culturas. (CropWat 4.3)	18
Tabela 7:	Lista de Resultados do modelo CliCrop.	19
Tabela 8:	Modelos Gerais de Circulação (GCMs) utilizados para produzir dados climáticos (INGC, 2009).	21
Tabela 9:	Rendimentos potenciais para Mandioca em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).	21
Tabela 10:	Rendimentos potenciais para Algodão em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).	22
Tabela 11:	Rendimentos potenciais para Amendoim em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).	22
Tabela 12:	Rendimentos potenciais para Milho em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).	22
Tabela 13:	Rendimentos potenciais para a Mapira em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).	23
Tabela 14:	Rendimentos potenciais para Soja em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).	23
Tabela 15:	Resultados médios do CliCrop para a cultura do milho em Moçambique resultante de sete MCGs e de 47 estações meteorológicas.	24

Tabela 16:	Mudanças projectadas de 2046 a 2065 nas temperaturas médias (°C) durante o período de crescimento da cultura, rendimentos da cultura (%) sob condições de sequeiro, e precipitação (mm) durante a época de crescimento da mandioca, algodão, amendoim, milho, mapira e soja.	31
Tabela 1.	O calculo da mudança relativa de rendimento por cada unidade de mudança de temperatura.	52
Tabela 2.	Mudança relativa do rendimento, por cada unidade de mudança de temperatura, para as culturas seleccionadas.	53
Tabela 3.	Resumo: Impacto das mudanças climáticas de meados do século nos rendimentos das culturas em Moçambique: Efeitos da subida da temperatura, do ozono terrestre e do CO2 atmosférico: uma abordagem por camadas.	60



PARTE 1

Agricultura

Impactos das Mudanças Climáticas na
Produtividade Agrícola em Moçambique

Parte 1: Rui Brito

Part 1. Agricultura. Impactos das Mudanças Climáticas na Produtividade Agrícola em Moçambique. Maputo INGC.

INTRODUÇÃO

O estudo do Instituto Nacional de Gestão das Calamidades (INGC) sobre o impacto das mudanças climáticas no risco de calamidades em Moçambique, é um estudo muito ponderado e metuculoso que avalia e quantifica a vulnerabilidade actual perante ocorrências climáticas extremas (inundações, ciclones, e subida do nível do mar). A vulnerabilidade é avaliada através de sete potenciais cenários climáticos futuros, numa tentativa de capturar a variabilidade total dos impactos e riscos potenciais associados às mudanças climáticas.

A maior parte da agricultura de produção de alimentos em Moçambique ocorre em sequeiro o que significa que depende completamente da precipitação e da humidade do solo para satisfazer as necessidades de água da cultura. Em períodos secos, a precipitação é pouco frequente e a humidade do solo é baixa deste modo aumentando a pressão por falta de água durante o crescimento da cultura e reduzindo seriamente o rendimento da cultura. Temperaturas muito elevadas podem também reduzir efectivamente o rendimento das culturas, independentemente da disponibilidade de água, o que significa que, se as condições de seca coincidirem com temperaturas anormalmente altas, é muito provável que haja perda das colheitas. Entre 1981 e 1985 ocorreu uma grande seca em Moçambique que afectou mais de 16 milhões de pessoas, e que resultou em mais de 100 000 mortes devido ao elevado stress de água sobre às fontes de água potável e na agricultura de subsistência. As tendências actuais do clima global sugerem que a frequência das secas, a duração das secas e as temperaturas médias, estão todas a subir.

TRABALHO REALIZADO NA FASE I DO ESTUDO DO INGC

A Fase I do Estudo do INGC examina a vulnerabilidade das culturas em Moçambique modelando o rendimento das culturas e a sua sensibilidade à variabilidade do clima. Os cenários actuais e futuros, sobre a adequabilidade dos tipos de utilização da terra, foram avaliados através de um sistema de avaliação da terra dinâmico e automatizado (ALES) que opera na base de um modelo de árvore de tomada de decisão para cada tipo de utilização da terra, fazendo a correspondência os requisitos eco-fisiológicos e socioeconómicos com os atributos relevantes da terra e do ambiente, isto é, solo, terreno e características e qualidades do clima.

Tal sistema resulta na simulação do rendimento e do desempenho das culturas sob diferentes níveis de gestão, no qual os rendimentos observados são relacionados com os sistemas agrícolas tradicionais de pequena dimensão e poucos insumos agrícolas, e os rendimentos potenciais correspondem aos sistemas de produção comercial de culturas altamente geridos e sem limitações.

As culturas seleccionadas para este estudo incluem mandioca, milho, soja, mapira, algodão e amendoim, fornecendo uma combinação de diferentes culturas, cultivadas na maioria em condições de sequeiro, e representando diferentes tipos de culturas que reagem de forma diferente às mudanças na temperatura e nos padrões de pluviosidade. Estas culturas seleccionadas foram utilizadas para produzir os mapas de aptidão nas condições actuais e, os mapas de aptidão sob mudanças climáticas, para três modelos gerais de circulação diferentes (IPSL, ECHAM e GFDL) e, sob o cenário de emissões A2 do SRES. Cada um dos mapas resultantes das mudanças climáticas (ECHAM, IPSL e GFDL) foi então comparado com as condições actuais e classificado em cinco classes diferentes:

- *Redução Significativa no Risco*, equivalente a uma mudança para uma classe melhor de adequação em dois níveis;
- *Ligeira Redução no Risco*, equivalente a uma mudança para uma classe melhor de adequação em um nível;
- *Sem Mudança Significativa*, equivalente a nenhuma mudança na classe de adequação;
- *Ligeiro Aumento no Risco*, equivalente a uma mudança para uma classe pior de adequação em um nível; e
- *Aumento Significativo no Risco*, equivalente a uma mudança para uma classe pior de adequação em dois níveis;

As Figuras 1 a 4 mostram o resultado para os três modelos diferentes (ECHAM, IPSL e GFDL), e a mudança média resultante dos três modelos.

Figura 1: Mudanças na aptidão da terra para o milho perante mudanças climáticas, para o modelo IPSL (INGC, 2009)/.....

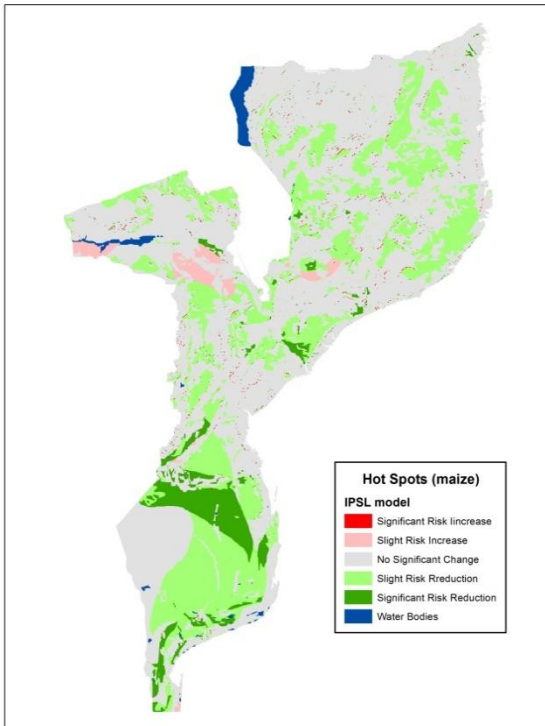


Figura 1: Mudanças na aptidão da terra para o milho perante mudanças climáticas, para o modelo IPSL (INGC, 2009)

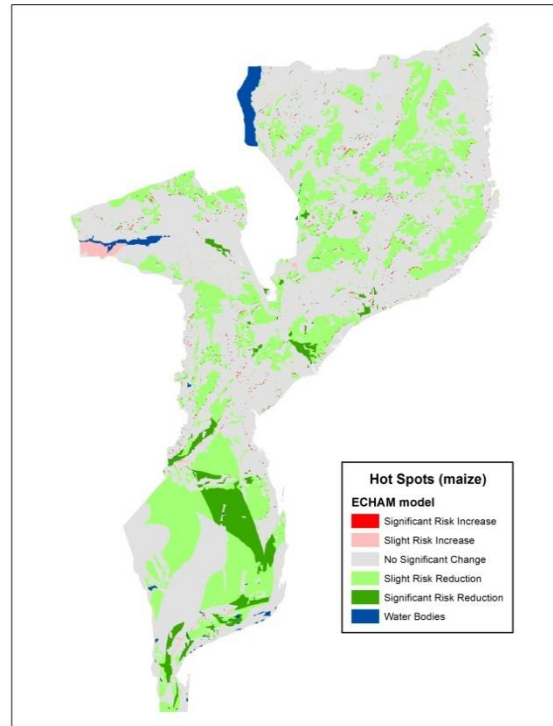


Figura 2: Mudanças na aptidão da terra para o milho perante mudanças climáticas, para o modelo ECHAM (MPI) (INGC, 2009)

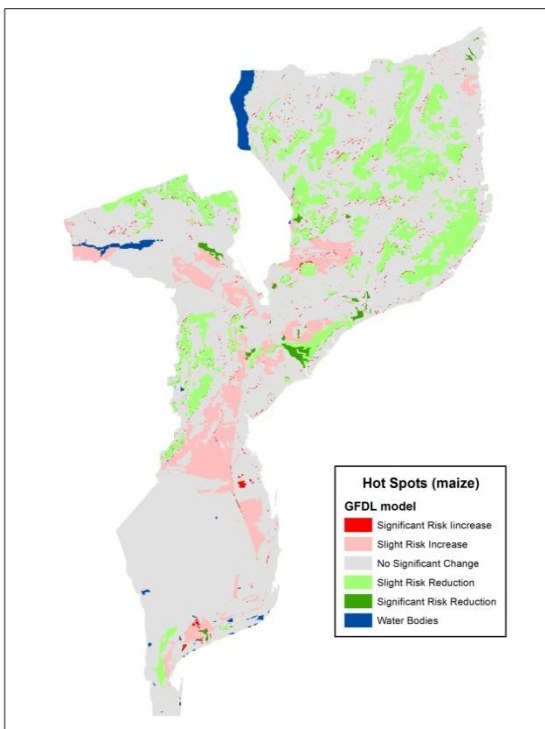


Figura 3: Mudanças na aptidão da terra para o milho perante mudanças climáticas, para o modelo GFDL (INGC, 2009)

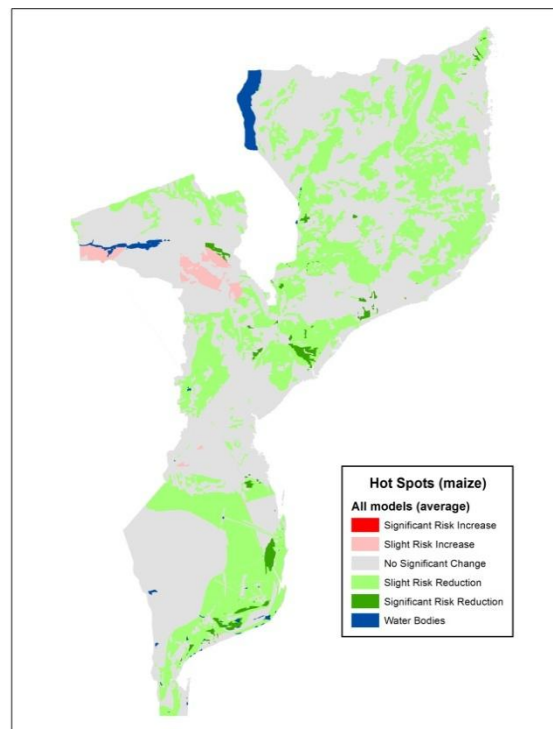


Figura 4: Mudanças médias na aptidão da terra para o milho perante mudanças climáticas, para os três modelos (INGC, 2009)

Os impactos das mudanças climáticas foram discutidos e analisados durante a primeira fase do estudo tendo como base estes mapas e as mudanças associadas.

As conclusões retiradas a partir da sua análise são bastante elucidativas e mostram em detalhe as áreas de Moçambique que estão em risco significativo de terem uma redução nas terras adequadas para culturas. No entanto, a análise pode estar a subestimar dramaticamente o risco. O modelo utiliza um balanço de água simples, baseado nas médias mensais da chuva e da temperatura, negligenciando os efeitos dos excedentes e défices diários de água na planta durante períodos mais curtos que um mês. O excesso de água em forma de alagamento e saturação do solo, bem como o défice de água durante períodos curtos de seca, podem reduzir os rendimentos das culturas e dificultar o seu crescimento. Para tomar em consideração os valores diários da chuva e os efeitos negativos resultantes do excesso e défice de água durante períodos curtos, deve ser utilizado modelo de crescimento da cultura que possa fazer o balanço de água no solo numa base diária.

MODELANDO OS RENDIMENTOS DAS CULTURAS

Em Setembro de 2009 chegou a Maputo uma equipa de consultores do Banco Mundial para começar o estudo sobre os “A Economia da Adaptação às Mudanças Climáticas” (Economics of the Adaptation to Climate Change - EACC) para Moçambique. O enfoque do estudo foi a atribuição dum valor económico de custo/benefício às mudanças climáticas em Moçambique até 2050. Uma vez que a economia de Moçambique é fortemente baseada na produção agrícola e a qualidade desta está fortemente correlacionada com as condições climáticas no momento da produção agrícola, uma parte significativa deste estudo é a sua componente agrícola. Um dos factores mais importantes do EACC é a de prever adequadamente as mudanças na produção agrícola derivadas das mudanças climáticas, sendo um aspecto sobre o qual o Instituto Nacional de Gestão das Calamidades (INGC) já tinha realizado um trabalho significativo como parte integrante do seu relatório intitulado “Estudo Sobre o Impacto das Mudanças Climáticas no Risco de Calamidades em Moçambique: Relatório Principal”.

No momento em que a equipa do Banco Mundial chegou, o estudo do INGC estava a iniciar a sua segunda fase. Anteriormente, o relatório do INGC apenas tinha analisado a vulnerabilidade das terras agrícolas de Moçambique às mudanças climáticas através da análise da aptidão das terras agrícolas sob as condições de mudanças climáticas actuais e potenciais para o futuro. A segunda fase do estudo propôs-se quantificar os resultados (isto é, rendimentos das culturas) às mudanças na aptidão da terra, o que era também um dos objectivos do estudo EACC, levando assim a uma colaboração entre o INGC e o Banco Mundial.

O estudo EACC propôs a utilização de um modelo denominado *CliCrop*, sendo este um modelo genérico de culturas utilizado para calcular o efeito da mudança diária dos padrões de precipitação nos rendimentos das culturas e nas necessidades de água para irrigação. Este modelo foi desenvolvido em resposta aos modelos de culturas disponíveis, que apenas utilizavam a temperatura e a pluviosidade médias mensais para produzir os resultados das culturas. Estes modelos mensais não captam os efeitos das mudanças diárias nos padrões de precipitação, o que pode ter um impacto enorme na produção das culturas. Por exemplo, a maior parte dos Modelos Gerais de Circulação (MGC) aceites pelo Painel Internacional para as Mudanças Climáticas (IPCC) prevêem que a precipitação anual total vai diminuir em África, mas vai a aumentar a frequência de ocorrências extremas de precipitação. O modelo *CliCrop* é concebido para considerar especificamente estas ocorrências extremas, uma vez que modela em intervalos de tempo diários. As ocorrências extremas de precipitação podem ser muito prejudiciais para a produção das culturas uma vez que água em excesso de uma só vez pode efectivamente “sufocar” uma cultura e inibir o seu crescimento. O modelo *CliCrop* considera o fenómeno de “acumulação de

“água” que caracteriza o período de tempo em que o terreno numa dada área de produção de culturas está totalmente saturado de água. Nesta situação, o crescimento das culturas é atrofiado ou até mesmo interrompido, podendo reduzir os rendimentos globais caso o fenómeno persista.

O modelo *CliCrop* é utilizado para examinar os rendimentos agrícolas no futuro em comparação com a produção passada, para uma gama de potenciais futuros climáticos, e uma gama de culturas e tipos de solos. Para isto, o modelo *CliCrop* é corrido utilizando dados climáticos provenientes dos mesmos sete Modelos Gerais de Circulação (GCMs) utilizados na primeira fase do estudo do INGC, com dados diários passados (1961 a 2000) e futuros (2046 a 2065), para 30 perfis de solos característicos de Moçambique, 47 locais dentro e à volta de Moçambique e seis culturas (mandioca, algodão, amendoim, milho, mapira e soja). Isto resulta em quase 20 000 simulações de 20 anos, por cultura, em regiões espaciais diferentes, dando uma perspectiva robusta sobre as possíveis mudanças futuras dos rendimentos das culturas.

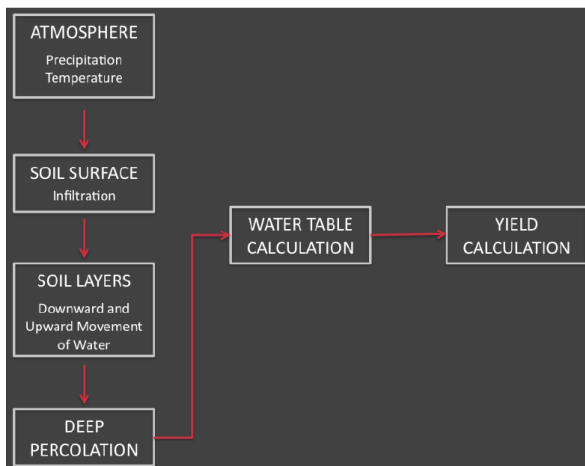


Figura 5: Fluxograma dos procedimentos seguidos pelo *CliCrop*

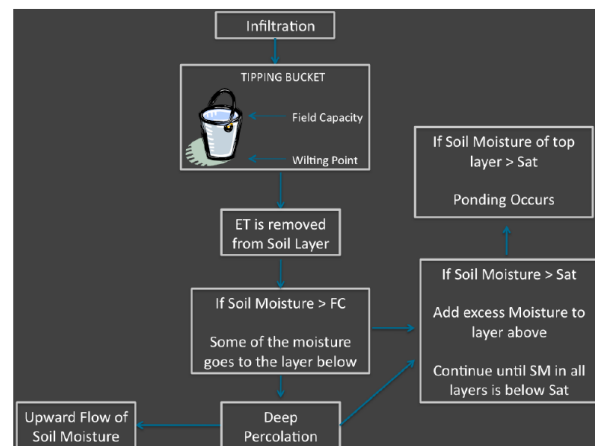


Figura 6: Esquema do processo de humidade do solo utilizado pelo *CliCrop*.

Basicamente o *CliCrop* modela os efeitos da atmosfera indirectamente na camada do solo através da extracção de evapotranspiração (ET) e da infiltração nas camadas do solo (Figura 5). Posteriormente o modelo utiliza as propriedades do solo e a quantidade de precipitação para calcular a infiltração utilizando o método *USDA Curve Number*, e calcula a humidade do solo em cada uma das suas camadas. Seguidamente calcula a quantidade de humidade que é infiltrada para as camadas mais profundas do solo juntando-se ao lençol freático. O nível do lençol freático é então calculado assim como os rendimentos para a cultura baseado nas condições diárias de água no solo na zona das raízes (Figura 6). Para informações mais detalhadas sobre o modelo *CliCrop*, por favor consulte a tese de M.Sc (Fant, 2008).

DADOS PARA O MODELO

O modelo *CliCrop* é mais exigente em dados do que os necessários para a fase anterior do estudo. Os dados meteorológicos (precipitação, temperaturas mínimas e máximas) são fornecidos numa base diária em vez de mensal de forma a considerar o balanço de água diário. A Tabela 1 mostra a lista de dados necessários para o modelo *CliCrop*.

Tabela 1: Dados requeridos para o modelo CliCrop.

Dados	Unidade
Precipitação Diária	mm/dia
Temperatura Máxima Diária	°C/dia
Temperatura Mínima Diária	°C/dia
Fracções de Argila/Areia	%
Camadas/Estratificação do Solo	mm
Coefficientes de Cultura (K_c)	Factor ⁽¹⁾
Duração das Fases da Cultura	Dias ⁽²⁾
Coefficientes de Rendimento	Factor ⁽³⁾

Utilizamos as precipitações diárias e temperaturas mínimas e máximas diárias para 47 estações meteorológicas (Figura 7). Este estudo utiliza as 27 estações dentro do país que foram usadas no primeiro relatório do INGC, mais 20 estações em países vizinhos, de forma a obter melhores estimativas para as áreas vizinhas longe da costa onde não existem estações.

São utilizados dados diários das condições meteorológicas para melhor representar a interação entre culturas-solo-clima. O modelo utilizado durante a primeira fase do estudo assentou em valores mensais para representar a época característica de crescimento de culturas, falhando no reconhecimento da importância de ocorrências de precipitação individuais. Não é raro que uma ocorrência de precipitação intensa possa representar a maior parte da precipitação média mensal, deixando o resto do mês relativamente seco e não óptimo ao crescimento das culturas. Uma média mensal não toma em conta estes aspectos e poderá caracterizar um mês como invulgarmente bom para o crescimento das culturas quando, na realidade, poderá muito bem ter sido o oposto.

⁽¹⁾ Estas são constantes utilizadas para derivar a evapotranspiração potencial duma determinada cultura. Cada cultura tem três coeficientes específicos para cada fase de crescimento. Estes são derivados pela FAO e utilizados directamente no modelo.

⁽²⁾ Esta é a duração em dias das quatro fases de crescimento de culturas. Tal como os coeficientes de culturas, estes também são derivados da FAO e utilizados directamente no modelo.

⁽³⁾ Este é utilizado para calcular as perdas nos rendimentos devido aos efeitos de stress de água em cada uma das quatro fases do crescimento. Tal como os coeficientes de culturas e duração das fases de culturas, estes são derivados da FAO.

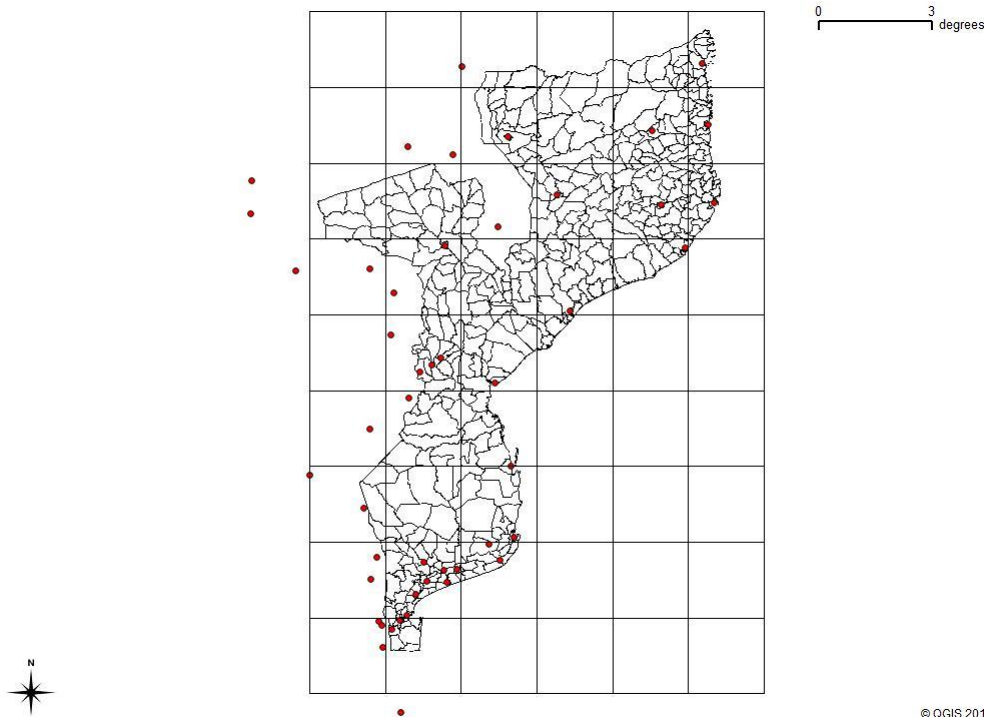


Figura 7: Localização das 47 estações meteorológicas utilizadas neste estudo.

O modelo *CliCrop* foi executado para 30 tipos diferentes de solo que foram utilizados para capturar as condições heterogêneas de solo em Moçambique. A permeabilidade do solo é uma parte importante do balanço de água do *CliCrop*, uma vez que esta ditará quando e durante quanto tempo o solo permanecerá encharcado. As camadas/estratificação do solo descrevem a heterogeneidade vertical do perfil do solo, delimitando secções do solo com diferentes frações de argila/areia.

Os 30 tipos de solo utilizados neste relatório podem ser agrupados em quatro Sistemas Principais de Terra, distinguidos no primeiro nível de classificação do Mapa de Solo Nacional do INIA/DTA (1995) numa escala de 1:1 000 000, nomeadamente:

- i. Zonas aluviais e fluviais-marinhas: Refere-se a todas as zonas com depósitos à superfície resultantes da acção dos rios ou da acção combinada dos rios e do mar (estuários), incluindo deste modo aqueles depositados nos canais dos rios, vales de inundação, estuários, depressões locais temporariamente inundadas e zonas aluviais na base das encostas das montanhas. Os tipos de solo mais representativos são os solos aluviais argilosos (código FG) e os solos aluviais estratificados de textura grossa ou média (código FS).
As principais limitações para a utilização agrícola são a drenagem, por vezes a salinidade e a sodicidade, e o risco de inundações (unidades de solo FG e FS).
- ii. Bacia sedimentar: Refere-se às bacias de rochas sedimentares, rochas sedimentares metamórficas, e outras zonas com depósitos eólicos, tais como as dunas costeiras e interiores. Nestas zonas, e tendo por base os materiais de origem, são distinguidos em seis sub-grupos:
 - Dunas interiores e depósitos eólicos de areia, representados pelos solos de areia esbranquiçados (código AB); os solos de areia amarelados (código AA) e os solos de areia alaranjados (código AJ);
 - "Grés" vermelhas e areias vermelhas de origem Terciária (código G);
 - Mananga (até 100 cm; frequentemente coberta por depósitos eólicos de areia), mananga *in situ* (código MA, MM); coluviões de mananga (código MC);

- Solos derivados dos depósitos pós-mananga ocupando as encostas coluviais ao longo de vales (códigos PA e PM);
- Plataformas de areia rolada (até 100 cm de profundidade) da base da mananga – solos originados (código SC);
- Tipos de solo resultantes da meteorização das rochas sedimentares do Karroo, Cretáceo ou Terciário, (códigos WV, WP, WM e WK).

As principais limitações para a utilização agrícola são a baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes (unidades de solo AB, AA, AJ, G, MA, MM); dureza e permeabilidade do solo, sodicidade e por vezes a salinidade (unidades de solo MM, MC); salinidade, sodicidade, drenagem e inundações (unidade de solo MC).

iii. Zonas de rochas vulcânicas: Refere-se às áreas em Moçambique onde as rochas vulcânicas (riólitos e basaltos) são encontradas à superfície ou próximo da superfície e formam a rocha mãe. Nesta zona ocorrem seis fases dominantes mas apenas quatro tipos de solo é que são os mais importantes em termos de utilização agrícola, nomeadamente:

- Solos avermelhados derivados de rochas meteorizadas “*in situ*” (código RV);
- Solos avermelhados derivados de rochas basálticas meteorizadas “*in situ*” (código BV);
- Solos pretos derivados de rochas basálticas meteorizadas “*in situ* e depositadas” (código BP);
- Solos coluviais derivados de rochas basálticas meteorizadas (código BC);

As principais limitações para a utilização agrícola são a erosão do solo (declives) a profundidade do solo (< 100 cm) unidade de solo RV unitária; por vezes a profundidade do solo (BV); sodicidade, por vezes a profundidade do solo, a preparação da terra (BP); profundidade do solo, por vezes a salinidade e sodicidade, drenagem (BC).

iv. Zonas “socle” do Pré-Cambrio: refere-se às zonas onde as rochas de origem no pré-cambrio estão à superfície ou próximas da superfície, de onde derivam os principais tipos de solo. O termo “socle” pré-cambriano é por vezes indicado como “socle” cristalino ou superfície Africana. Os principais tipos de solo estão subdivididos em nove unidades, sendo a textura o principal critério de diagnóstico para a sua diferenciação. Estas unidades de solo são:

- Tipo de solo coluvial de textura fina (código CG); tipo de solo coluvial de textura média (código CM); tipo de solo coluvial de textura grossa (código CA);
- Solos avermelhados e de textura fina desenvolvidos localmente – rocha meteorizada (código VG); Solos avermelhados e de textura média desenvolvidos localmente – rocha meteorizada (código VM); e aqueles de textura mais grossa (código VA).
- Solos acastanhados e de textura fina desenvolvidos “*in situ*” – rocha meteorizada (código KG); Solos acastanhados e de textura média desenvolvidos “*in situ*” – rocha meteorizada (código KM); e aqueles de textura mais grossa (código KA).

As principais limitações para utilização agrícola são a drenagem (CG, CM); drenagem e fertilidade (CA); condições de germinação, risco de erosão (VG, VM, KG, KM); capacidade de retenção de água e fertilidade (VA, KA).

Os coeficientes de cultura (Tabela 3 e Tabela 4), duração das fases de cultura (Tabela 2), coeficientes de rendimento (Tabela 6) e profundidade das raízes (Tabela 5) são variáveis empíricas que descrevem os ciclos de crescimento e outras características de cada cultura em relação à evapotranspiração e rendimentos. Estas variáveis são definidas com base nos dados da FAO (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 Crop Evapotranspiration, Allen *et al.*, 1998).

Tabela 2: Duração das fases de desenvolvimento de culturas (dias) para seis culturas (Allen et al, 1998).

Cultura	Inicial	Desenvolvimento	Intermédia	Final	Total
Mandioca	150	40	110	60	360
Algodão	30	50	60	55	195
Amendoim	35	35	35	35	140
Milho	30	50	60	40	180
Mapira	20	35	45	30	140
Soja	20	30	60	25	140

Tabela 3: Coeficientes de cultura individual (Kc), alturas médias e máximas da planta para seis culturas (Allen et al, 1998).

Cultura	Kc Inicial	Kc Intermédio	Kc Final	Altura da cultura (m)
Mandioca	0.30	1.10	0.50	1.5
Algodão	0.35	1.15 a 1.20	0.50 a 0.70	1.2 a 1.5
Amendoim	0.40	1.15	0.60	0.40
Milho	0.30	1.20	0.60	2.0
Mapira	0.30	1.00 a 1.10	0.55	1.0 a 2.0
Soja	0.40	1.15	0.50	0.5 a 1.0

Tabela 4: Coeficientes basais da Cultura (Kcb) para seis culturas (Allen et al, 1998).

Cultura	Kcb Inicial	Kcb Intermédio	Kcb final
Mandioca	0.15	1.00	0.45
Algodão	0.15	1.10 a 1.15	0.40 a 0.50
Amendoim	0.15	1.10	0.50
Milho	0.15	1.15	0.50
Mapira	0.15	0.95 a 1.05	0.35
Soja	0.15	1.10	0.30

Tabela 5: Profundidade máxima efectiva da raiz e factor de depleção da água do solo para seis culturas (Allen et al, 1998).

Cultura	Profundidade Máxima da Raiz	Fracção de esgotamento
Mandioca	0.70 a 1.00	0.40
Algodão	1.00 a 1.70	0.65
Amendoim	0.50 a 1.00	0.50
Milho	1.00 a 1.70	0.55
Mapira	1.00 a 2.00	0.55
Soja	0.60 a 1.30	0.50

Tabela 6: Coeficientes de rendimento para seis culturas. (CropWat 4.3)

Cultura	Ky Inicial	Ky desenv	Kc interm	Ky final	Ky
Mandioca	0.40	0.60	0.80	0.60	0.80
Algodão	0.40	0.40	0.50	0.40	0.85
Amendoim	0.40	0.60	0.80	0.40	0.70
Milho	0.40	0.40	1.30	0.50	1.25
Mapira	0.20	0.40	0.55	0.20	0.90
Soja	0.40	0.80	1.00	0.40	0.85

RESULTADOS DO MODELO

O modelo *CliCrop* é capaz de produzir um conjunto de resultados aplicáveis à produção agrícola e gestão da água na agricultura. A Tabela 7 mostra todos os resultados produzidos pelo modelo *CliCrop* com as respectivas unidades. Deve-se mencionar em particular o potencial que os resultados sobre a drenagem e déficit de água podem acrescentar ao estudo. Com base nestes valores, pode concluir quanto eficientemente a água está a ser, ou será usada na produção agrícola, adicionando deste modo ao estudo uma dimensão sobre os recursos hídricos.

Tabela 7: Lista de Resultados do modelo *CliCrop*.

RESULTADO	Unidade
Rendimento da Cultura	fracção
Drenagem	mm
Défice de Água	mm
Duração da Época de Crescimento	dias
Data de Plantio	dia do ano (1 a 365)
Evapotranspiração Potencial (PET)	mm
Evapotranspiração Actual (ET)	mm
Precipitação	mm

O rendimento da cultura é apresentado como uma fracção da produção máxima possível. Uma fracção de rendimento de 1.00 significa que existiam condições perfeitas de crescimento e que a área plantada produziu no seu potencial máximo (100%). Um valor de 0.0 significa que área plantada nada produziu. A Figura 8 mostra a média dos rendimentos de culturas (fracção) gerada pelo *CliCrop* para milho na agricultura em sequeiro em Moçambique no período de 1961 a 2000 (passado). Segundo o mapa, os rendimentos previstos para milho numa agricultura em sequeiro, variam de um máximo de mais de 0.9 (> 90%) na parte Norte do país, onde a chuva é boa, até um mínimo de menos de 0.1 (< 10%) nas regiões áridas e semi-áridas do país. É também apresentado para comparação o potencial de rendimento agro-climático para milho nas condições de baixos insumos, mapa baseado no relatório *Assessment of Land Resources for Rainfed Crop Production in Mozambique* (FAO/UNDP, 1982a), que foi produzido tendo uma base de informação climáticas mais detalhada (maior número de estações climáticas). Das imagens pode-se ver que ambas mostram o mesmo padrão geral, com apenas algumas diferenças em certas regiões. O mapa IIAM é baseado numa rede mais densa de 108 estações dentro de Moçambique e tem também por base a altura topográfica e outros factores que não estão incluídos no *CliCrop*. O modelo *CliCrop* é baseado em 43 estações das quais apenas 27 estão em Moçambique. Desta forma, ao interpretar-se os mapas deste estudo, deve-se ter um cuidado especial, em particular ao traduzir os resultados dos mapas para localidades específicas. Os resultados são comparáveis nas partes Norte e Sul do país, com certas diferenças no centro do país, onde o relevo é mais heterogénea em curtas distâncias.

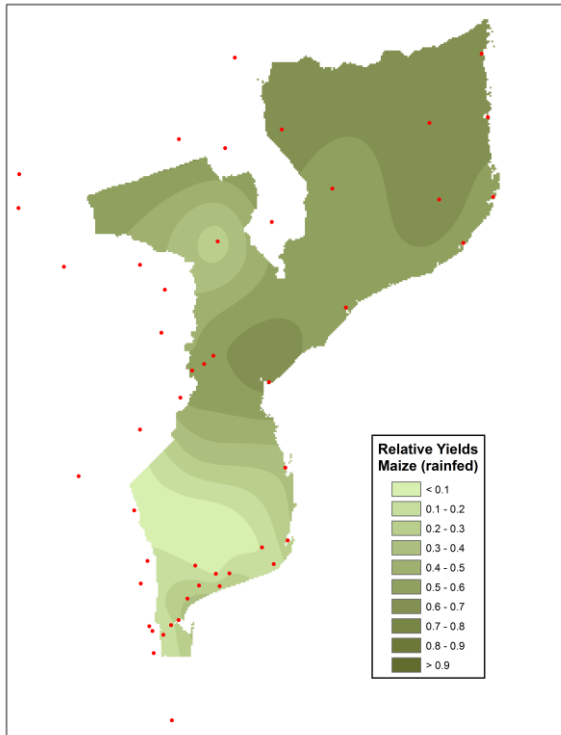


Figura 8: Rendimentos relativos médios do milho resultantes do CliCrop, no período de 1961 a 2000.

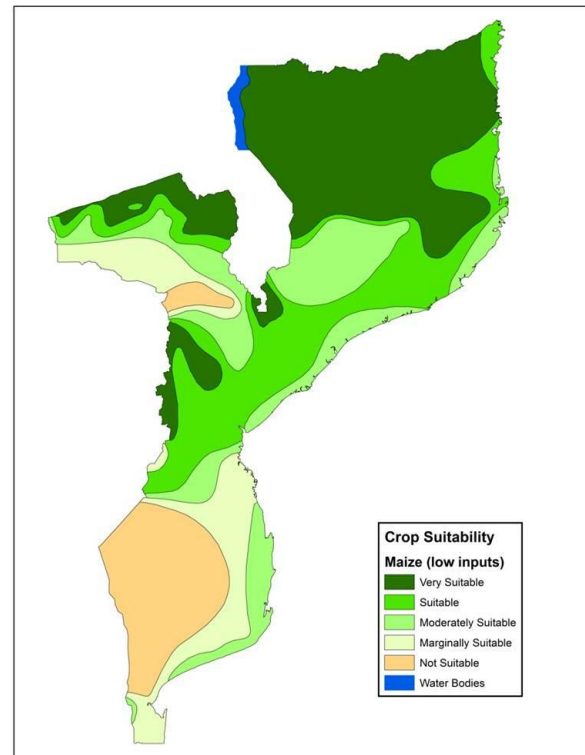


Figura 9: Aptidão agro-climática para o milho para uma agricultura de baixos insumos (adaptado do FAO/UNDP, 1982 b).

A drenagem, expressa em mm por unidade de área, é a quantidade de água que se infiltra passando pela zona radicular e que se vai juntar à água subterrânea. O défice de água é a água que a planta necessita para obter os rendimentos máximos (condições óptimas de crescimento). Esta é também expressa em mm e, olhando simultaneamente para drenagem e défice de água é possível verificar a eficiência com que a água é utilizada na produção agrícola.

A duração da época de crescimento é o número de dias que a planta necessita para completar o seu ciclo de crescimento. A Data de Plantio é o dia em que a planta é semeada, variando de 1 a 365 ou 366 em anos bissextos. Nas simulações do CliCrop, a data de plantio é decidida com base na acumulação de chuva no início da estação das chuvas, que começa no decorrer de Outubro. Se houver uma chuva acumulada de 25 mm ou mais durante dois dias consecutivos, o CliCrop assume que os agricultores semearam as suas culturas. O dia um equivale ao dia 1 de Janeiro e o dia 365/366 equivale ao dia 31 de Dezembro.

A Evapotranspiração Potencial (PET) representa a quantidade máxima de água, em mm, que a planta pode evapo-transpirar para a atmosfera num dado dia. Ela inclui a transpiração da planta e a evaporação do solo. Também este indicador pode ser usado relativamente à eficiência da utilização de água.

MODELANDO OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O *CliCrop* é utilizado para produzir um conjunto de resultados orientados para a análise da qualidade dos rendimentos agrícolas anuais governados por potenciais futuros climáticos, e compará-los com os rendimentos previstos a partir dos dados climáticos passados. O estudo utiliza os sete Modelos Gerais de Circulação (GCMs) listados na Tabela 8 para gerar séries temporais diárias de chuva e temperaturas mínimas e máximas. Os GCMs são usados para gerar vinte anos de dados climáticos no futuro, de 2046 a 2065, tendo por base o clima passado de 1961 a 2000 (INGC, 2009).

Tabela 8: Modelos Gerais de Circulação (GCMs) utilizados para produzir dados climáticos (INGC, 2009).

Grupo(s) de Origem	País	Identificação	Nome utilizado neste relatório
Canadian Centre for Climate Modeling & Analysis	Canadá	CCCMA3.1(T63)	CCCMA
Météo-France/Centre National de Recherches Météorologiques	França	CNRM-CM3	CNRM
CSIRO Atmospheric Research	Austrália	CSIRO-Mk3.0	CSIRO
Max Planck Institute for Meteorology	Alemanha	ECHAM5/MPI-OM	MPI
US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	EUA	GFDL-CM2.1	GFDL
NASA / Goddard Institute for Space Studies	EUA	GISS-ER	GISS
Institute Pierre Simon Laplace	França	IPSL-CM4	IPSL

As Tabelas 9 a 14 mostram os rendimentos potenciais (ton/ha) para mandioca, algodão, amendoim, milho, mapira e soja, esperados em Moçambique, para diferentes níveis de insumos e de condições agro-climáticas. Existem cinco classes de aptidão: Muito apto, apto, moderadamente apto, marginalmente apto e não apto. Os valores apresentados nas tabelas são baseados nos métodos de aptidão agro-climática recomendados pela FAO. A agricultura em sequeiro praticada pela maioria dos agricultores em Moçambique, referida como classe “Baixa” na tabela, mostra os rendimentos mais baixos, resultando de insumos agrícolas mínimos (sem fertilizantes) e baseada exclusivamente nas chuvas. Estes rendimentos são os rendimentos potenciais para uma determinada cultura, em condições climáticas locais (principalmente temperaturas na sua relação com evapotranspiração e pluviosidade), limitada por insumos baixos. É com base nestes valores que este estudo projecta os rendimentos em ton/ha para cada uma das seis culturas. As outras classes (Média e Alta) poderiam também ser usadas mas o âmbito do estudo é numa agricultura em sequeiro em agricultores de pequenas dimensões.

Tabela 9: Rendimentos potenciais para Mandioca em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).

Classe de adequação	Nível de insumos e fracções dos rendimentos máximos potenciais					
	Elevado		Médio		Baixo	
	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção
Muito Adequada	> 25.0	1.00	> 13.8	1.00	> 7.5	1.00
Adequada	18.5 - 25.0	0.74 - 1.00	10.2 - 13.8	0.73 - 1.00	5.6 - 7.5	0.75 - 1.00
Moderadamente Adequada	14.0 - 18.5	0.56 - 0.74	7.7 - 10.2	0.55 - 0.73	4.2 - 5.6	0.56 - 0.75
Marginalmente Adequada	8.5 - 14.0	0.34 - 0.56	4.7 - 7.7	0.34 - 0.55	2.6 - 4.2	0.34 - 0.56
Não Adequada	< 8.5	< 0.34	< 4.7	< 0.34	< 2.6	< 0.34

Tabela 10: Rendimentos potenciais para Algodão em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).

Classe de adequação	Nível de insumos e fracções dos rendimentos máximos potenciais					
	Elevado		Médio		Baixo	
	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção
Muito Adequada	> 1.8	1.00	> 1.00	1.00	> 0.5	1.00
Adequada	1.5 - 1.8	0.83 - 1.00	0.8 - 1.00	0.80 - 1.00	0.4 - 0.5	0.80 - 1.00
Moderadamente Adequada	1.2 - 1.5	0.66 - 0.83	0.6 - 0.8	0.60 - 0.80	0.3 - 0.4	0.60 - 0.80
Marginalmente Adequada	0.7 - 1.2	0.38 - 0.66	0.4 - 0.6	0.40 - 0.60	0.2 - 0.3	0.40 - 0.60
Não Adequada	< 0.7	< 0.38	< 0.4	< 0.40	< 0.2	< 0.40

Tabela 11: Rendimentos potenciais para Amendoim em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).

Classe de adequação	Nível de insumos e rendimentos máximos potenciais					
	Elevado		Médio		Baixo	
	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção
Muito Adequada	> 2.5	1.00	> 1.4	1.00	> 0.8	1.00
Adequada	2.0 - 2.5	0.80 - 1.00	1.1 - 1.4	0.78 - 1.00	0.6 - 0.8	0.75 - 1.00
Moderadamente Adequada	1.6 - 2.0	0.64 - 0.80	0.9 - 1.1	0.64 - 0.78	0.5 - 0.6	0.62 - 0.75
Marginalmente Adequada	1.0 - 1.6	0.40 - 0.64	0.6 - 0.9	0.42 - 0.64	0.3 - 0.5	0.37 - 0.62
Não Adequada	< 1.0	< 0.40	< 0.6	< 0.42	< 0.3	< 0.37

Tabela 12: Rendimentos potenciais para Milho em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).

Classe de adequação	Nível de insumos e rendimentos máximos potenciais					
	Elevado		Médio		Baixo	
	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção
Muito Adequada	> 4.5	1.00	> 2.9	1.00	> 2.0	1.00
Adequada	4.2 - 4.5	0.93 - 1.00	2.7 - 2.9	0.93 - 1.00	1.6 - 2.0	0.80 - 1.00
Moderadamente Adequada	2.9 - 4.2	0.64 - 0.93	1.9 - 2.7	0.65 - 0.93	1.3 - 1.6	0.65 - 0.80
Marginalmente Adequada	1.9 - 2.9	0.42 - 0.64	1.2 - 1.9	0.41 - 0.65	0.9 - 1.3	0.45 - 0.65
Não Adequada	< 1.9	< 0.42	< 1.2	< 0.41	< 0.9	< 0.45

Tabela 13: Rendimentos potenciais para a Mapira em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).

Classe de adequação	Nível de insumos e rendimentos máximos potenciais					
	Elevado		Médio		Baixo	
	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção
Muito Adequada	> 3.0	1.00	> 2.0	1.00	> 1.4	1.00
Adequada	2.5 - 3.0	0.83 - 1.00	1.6 - 2.0	0.80 - 1.00	1.1 - 1.4	0.78 - 1.00
Moderadamente Adequada	1.9 - 2.5	0.63 - 0.83	1.2 - 1.6	0.60 - 0.80	0.9 - 1.1	0.64 - 0.78
Marginalmente Adequada	1.2 - 1.9	0.40 - 0.63	0.8 - 1.2	0.40 - 0.60	0.5 - 0.9	0.35 - 0.64
Não Adequada	< 1.2	< 0.40	< 0.8	< 0.40	< 0.5	< 0.35

Tabela 14: Rendimentos potenciais para Soja em Moçambique, para três níveis diferentes de insumos (FAO/UNDP, 1982b).

Classe de adequação	Nível de insumos e rendimentos máximos potenciais					
	Elevado		Médio		Baixo	
	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção	ton/ha	fracção
Muito Adequada	> 2.0	1.00	> 1.7	1.00	> 1.5	1.00
Adequada	1.7 - 2.0	0.85 - 1.00	1.4 - 1.7	0.82 - 1.00	1.2 - 1.5	0.80 - 1.00
Moderadamente Adequada	1.4 - 1.7	0.70 - 0.85	1.1 - 1.4	0.64 - 0.82	1.0 - 1.2	0.66 - 0.80
Marginalmente Adequada	0.8 - 1.4	0.40 - 0.70	0.7 - 1.1	0.41 - 0.64	0.6 - 1.0	0.40 - 0.66
Não Adequada	< 0.8	< 0.40	< 0.7	< 0.41	< 0.6	< 0.40

O *CliCrop* olha para o caso específico de stress de água (excesso ou défice) o qual está dependente da chuva e da temperatura, mas também das especificidades dos solos (em particular a condutividade hidráulica, características de retenção da água das diferentes camadas de solo, e a profundidade do solo). Isto significa que os rendimentos podem variar, num local específico, de um valor máximo a um valor mínimo dependendo das características do solo em estudo. Os valores apresentados e discutidos neste relatório são baseados nos resultados para os melhores solos utilizados para fazer as simulações com o *CliCrop*. Isto significa que o solo neste caso não é um factor limitante em termos hidráulicos ou de outras propriedades físicas como a profundidade radicular. O estudo adoptou esta opção para tornar a análise dos impactos das mudanças climáticas mais simples, afectada por um menor número de factores, evitando a inclusão de um factor extra (tipos de solos) que iriam mascarar os impactos e complicar a análise. Desta forma este relatório aborda apenas os efeitos das mudanças nas temperaturas e chuvas nos rendimentos projectados nos melhores solos em Moçambique.

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO MILHO

Para estudar o impacto das mudanças climáticas na agricultura em sequeiro e reduzir o número de variáveis em análise, este estudo apenas utiliza os resultados para os melhores solos. A utilização de todos os solos iria camuflar os efeitos da mudança de chuvas e temperaturas, tornando-se difícil identificar as causas das mudanças nos rendimentos.

A Tabela 15 apresenta os resultados do *CliCrop* para o milho no passado (1961 a 2000) e as projecções para o futuro (2046 a 2065). Os resultados apresentados são os valores médios dos sete modelos MGC, para todas as 47 estações e nos melhores solos. As variáveis apresentadas são a Duração da Estação de Crescimento (LGS) em dias calendário, a data de sementeira (SD) em dias calendário, o défice de água durante o período de crescimento (WD) em mm, os rendimentos (Y) das culturas expressos como uma fracção, a Drenagem (Dr) em mm, a Evapotranspiração Potencial (PET) em mm, a Precipitação durante o período de crescimento em mm (Pr) e, a temperatura média diária em °C durante o período de crescimento (T). Também mostra as diferenças relativas ao passado expressas nas mesmas unidades e, no caso específico da mediana, mostra também em parêntesis a diferença expressa em percentagem. As mesmas tabelas são apresentadas no anexo I para as seis culturas (mandioca, algodão, amendoim, mapira, feijão e soja).

Tabela 15: Resultados médios do *CliCrop* para a cultura do milho em Moçambique resultante de sete MGCs e de 47 estações meteorológicas.

Maize									
	LGS (days)			SD (days)			WD (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	174.75	174.73	-0.02 0.0 %	299.88	289.91	-9.96 -3.3 %	337.75	363.94	26.19 7.8 %
stdev	2.14	2.02	-0.12	21.07	21.25	0.19	185.90	180.01	-5.89
max	174.40	174.55	0.15	301.42	295.95	-5.47	263.50	328.03	64.52
min	180.40	179.50	-0.90	326.53	316.16	-10.37	770.27	807.83	37.56
	Y (fraction)			Dr (mm)			PET (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	0.373	0.332	-0.04 -11.1 %	89.11	84.65	-4.46 -5.0 %	496.02	516.53	20.51 4.1 %
stdev	0.232	0.217	-0.01	68.81	66.98	-1.83	49.73	47.57	-2.16
max	0.440	0.284	-0.16	71.96	65.80	-6.16	506.81	527.69	20.89
min	0.733	0.699	-0.03	269.01	251.14	-17.87	601.68	606.44	4.76
	Pr (mm)			T (°C)					
	past	future	diff.	past	future	diff.			
median	454.19	448.41	-5.78 -1.3 %	24.54	26.62	2.08 8.5 %			
stdev	176.98	176.27	-0.71	2.12	2.06	-0.06			
max	457.40	419.65	-37.75	25.20	27.24	2.04			
min	805.13	776.46	-28.67	28.66	30.85	2.20			

A partir dos resultados (mediana de sete MGC e 47 estações) espera-se que no futuro os rendimentos do Milho numa agricultura em sequeiro venham a diminuir 11.1% no geral, e que a temperatura média aumente 2.1 °C durante a estação de crescimento (8.5% de subida).

Os resultados mostram ainda para o milho que se espera no futuro (2046 a 2065):

- Um aumento global de 26.2 mm no défice hídrico durante o período de crescimento (7.8 % de aumento);

- Um decréscimo global de 4.5 mm na drenagem durante o período de crescimento (5.0 % de decréscimo);
- Um aumento global de 20.5 mm na evapotranspiração potencial durante o período de crescimento (4.1 % de aumento);
- Um decréscimo global de 10.0 dias nas datas de sementeira (3.3% de decréscimo) significando que as datas de plantio ocorrerão mais tarde, e
- alterações não significativas na precipitação durante o período de crescimento (diminuição global de 5.8 mm na precipitação, correspondendo a um decréscimo de 1.3 %).

É evidente que o balanço hídrico final do milho no futuro será negativo, resultante das crescentes demandas evaporativas associadas a temperaturas mais elevadas e, de não haver mudanças significativas na precipitação global durante o período do crescimento.

A eficácia da precipitação pode ser inferida dos resultados, e torna-se aparente que no futuro é esperado um decréscimo da precipitação efectiva na agricultura resultante da combinação dum aumento na intensidade da precipitação (chuvas mais intensas) e, na diminuição do número de dias chuvosos. Outra conclusão é a diminuição na água de drenagem que se junta à água subterrânea (5.0 % decréscimo) afectando este importante recurso hídrico que abastece os caudais dos rios na estação seca.

Os valores apresentados são o resultado de um cálculo aritmético (média) baseada nos resultados de 47 estações e sete modelos MGC. Os valores não representam um valor médio para o país que deveria ser baseado não só na localização geográfica das estações, mas também relacionado com as áreas de produção no país e com a distribuição geográfica associada aos solos. No entanto os resultados mostram uma tendência generalizada de diminuição de 11.1% nos rendimentos potenciais do milho produzido em sequeiro como resultado das mudanças climáticas (mudanças das temperaturas na sua relação com a evapotranspiração e, mudanças nas precipitações).

A Figura 10 apresenta as mudanças esperadas nas temperaturas no futuro (2046 a 2065). É a mudança média de todos os 7 modelos das temperaturas diárias ($^{\circ}\text{C}$) durante o período de crescimento do milho. Ao longo da costa as mudanças esperadas são na ordem dos $+1.9^{\circ}\text{C}$, e nas zonas altas do interior perto do Zimbabué os valores podem chegar acima dos $+2.4^{\circ}\text{C}$, o que mostra o efeito do mar na atenuação das temperaturas. Para se ter uma ideia das diferenças entre os diversos modelos MGC, a figura 11 apresenta a distribuição das mudanças de temperatura para todos os modelos e para os extremos. A linha em azul é a distribuição da média de todos os modelos no passado para a temperatura, a linha verde dá os mesmos valores no futuro. As duas linhas verdes com pontos dão os extremos dos 7 MGC (maior e menor aumento) no futuro. Fica claro que todos os modelos prevêm um aumento nas temperaturas médias.

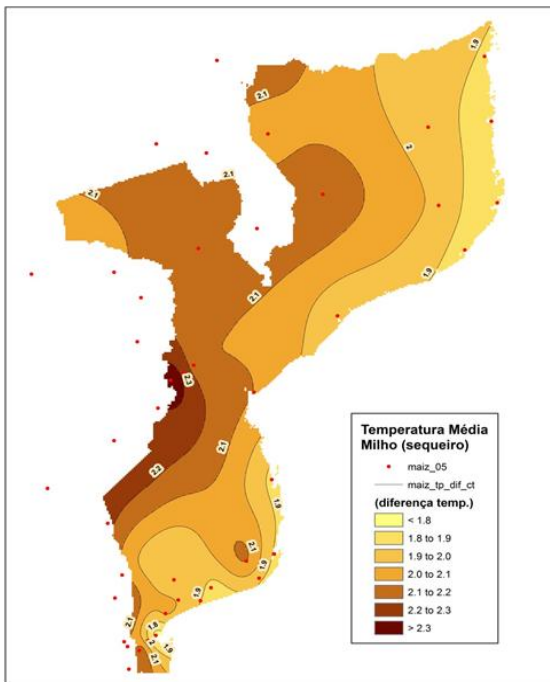


Figura 10: Alterações esperadas no futuro (2046-2065) na média de todos os 7 MGC para as temperaturas médias diárias durante o período de crescimento, expressas em °C.

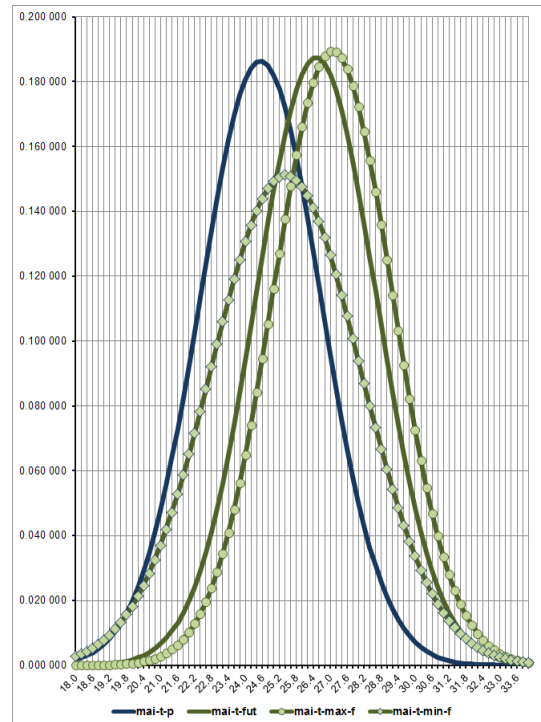


Figura 11: Mudanças na distribuição das temperaturas globais no país (passado em azul e futuro em verde) com base em todos os MGC, e para os dois extremos (aumento menor e maior em verde com pontos).

Dependendo da localização (Figura 12) a precipitação em algumas áreas na zona centro e norte de Moçambique, poderá aumentar até os 300 mm no futuro (2046-2065) durante o período de crescimento do Milho. Ela pode diminuir até os 300 mm no interior norte do País e até os 150 mm em algumas áreas centrais do país. Devemos ser cautelosos com a precipitação uma vez que este é o comportamento da média de todos os 7 modelos que mostram tendências diferentes.

As tendências nas alterações da precipitação podem ser contraditórias como mostra a Figura 13. A linha em azul é a distribuição dos valores médios de precipitação de todos os modelos no passado, a linha verde dá os mesmos valores para o futuro. As duas linhas verdes com pontos nos dão os extremos dos 7 MGC (maior e menor aumento das chuvas) no futuro. É evidente que os modelos mostram tendências diferentes, alguns prevêm um aumento na precipitação geral e outros um decréscimo.

O modelo extremo inferior prevê um decréscimo durante o período do crescimento dum média de 480 mm no passado para uma média de 390 mm no futuro (decréscimo de aproximadamente 20%). O modelo extremo superior prevê um acréscimo durante o período de crescimento do Milho, de uma média de 480 mm para uma média de 630 mm no futuro (aumento de aproximadamente 30%). A média de todos os modelos é uma diminuição insignificante de aproximadamente 20mm. Consequentemente deve-se ter uma certa precaução quando se discute mudanças da precipitação, onde ambos os cenários extremos são possíveis.

Estas diferenças reflectem os conhecimentos actuais e compreensão das mudanças esperadas na precipitação da região com diferentes modelos com tendências diferentes e contraditórias. Se olharmos para o 4º relatório do IPCC, verificamos que a nossa região faz parte da zona onde as mudanças de precipitação ainda não são bem compreendidas sendo modeladas com modelos diferentes não

concordantes nos resultados. Assim é difícil fazer recomendações com base em resultados médios a partir de modelos diferentes. Nestes casos, a análise e as recomendações deverão basear-se nos possíveis resultados extremos obtidos dos diversos modelos assim como na incerteza associada aos mesmos.

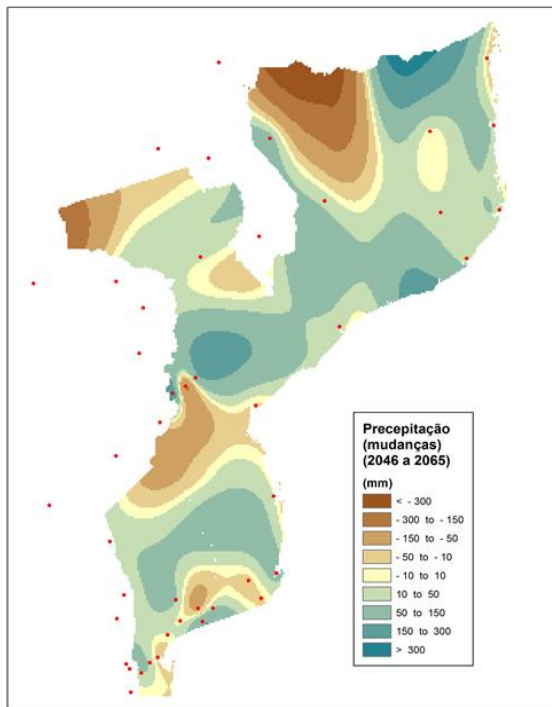


Figura 12: Mudanças prevista no futuro (2046-2065) na precipitação média de todos os 7 MGC, durante o período de crescimento, expressa em mm.

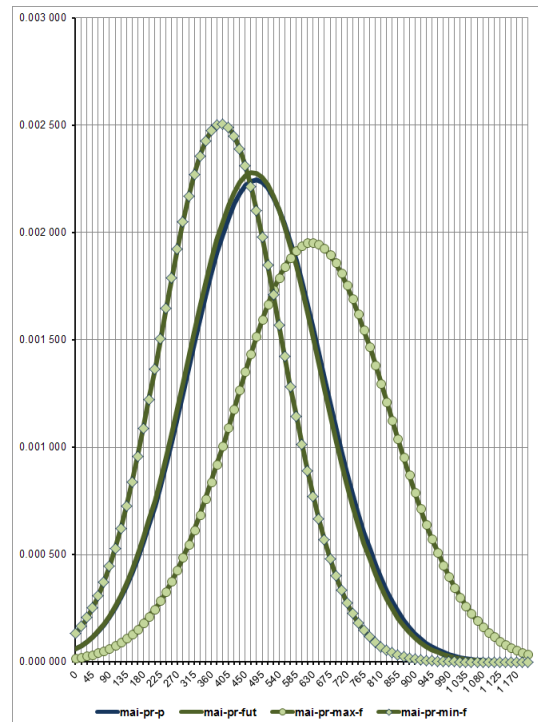


Figura 13: Mudanças na distribuição da precipitação média geral no país (o passado a azul, e o futuro a verde) com base em todos os MGC, e para os dois extremos (maior e menor aumento em verde com pontos).

As mudanças nos rendimentos das culturas de milho (% dos rendimentos actuais), resultantes das mudanças das temperaturas com relação à evapotranspiração e das precipitações, estão apresentadas na Figura 13. Dependendo da localização, o rendimento do Milho em sequeiro poderá aumentar no futuro (2046-2065) em 25 % dos rendimentos actuais numa área relativamente pequena no interior sul seco do país ou, poderá diminuir em mais do que 25% nas zonas centrais de Moçambique ao longo do vale do Zambezi bem como na costa em torno de Inhambane e Vilanculos.

Devemos ser cautelosos com os resultados uma vez que as mudanças esperadas baseiam-se na média total dos 7 modelos. Tal como acontece com a precipitação, as tendências nos rendimentos das culturas podem ser, dependendo do modelo, contraditórias como mostra a Figura 14. A linha azul é a distribuição dos valores médios de todos os modelos no passado para os rendimentos de Milho, a linha verde dá os valores médios esperados no futuro. As duas linhas verdes com pontos mostram os dois extremos dos 7 MGC (maior ou menor aumento nos rendimentos das culturas) no futuro.

É evidente que os modelos mostram previsões diferentes, alguns prevêm um aumento no rendimento global da cultura, e noutros uma diminuição. O extremo inferior prevê uma redução média na produção das culturas na ordem dos 33 %. O extremo superior prevê um aumento que ronda os 35 %. O resultado médio para todos os modelos é um decréscimo que ronda os 11%, tal como apresentado anteriormente (Tabela 15). Pelo que, alguma cautela deverá ser tomada quando se discutam mudanças nos

rendimentos das agrícolas uma vez que cenários diferentes são possíveis, associados a uma forte incerteza nos resultados.

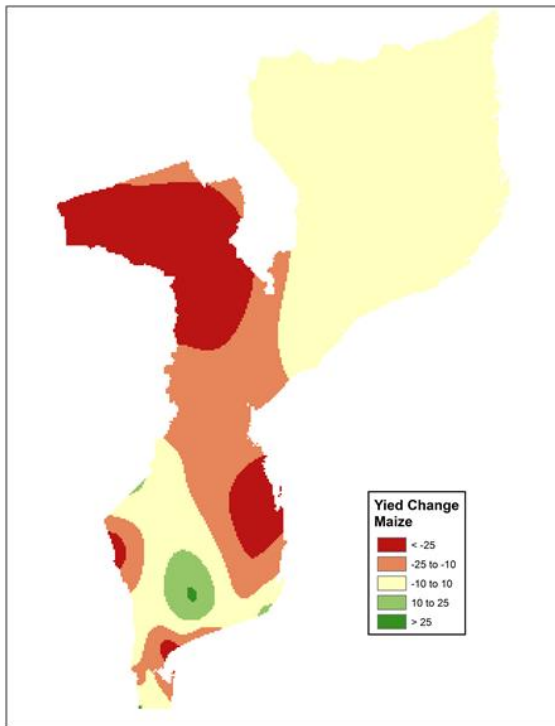


Figura 14: Mudanças esperadas no futuro (2046-2065) para o Milho (média de todos os 7 MGCs), expressas em % dos rendimentos actuais.

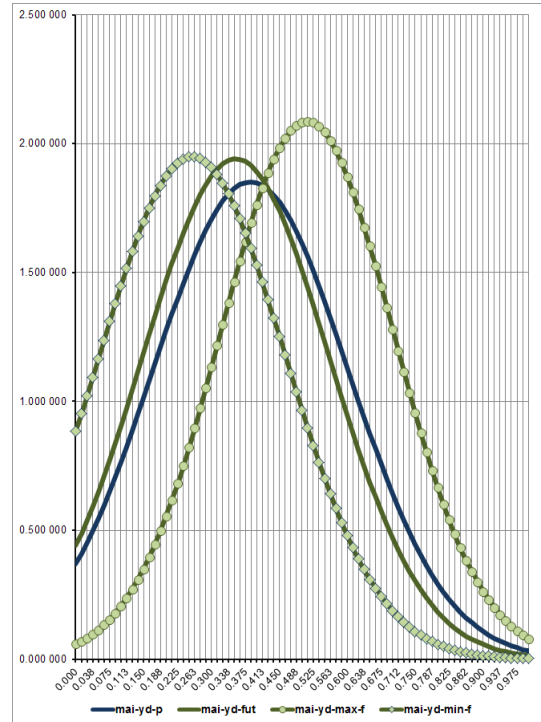


Figura 15: Mudanças na distribuição dos rendimentos gerais das culturas de milho no país (o passado a azul, e o futuro a verde) com base em todos os MGC, e para os dois extremos (maior e menor aumento em verde com pontos).

Os resultados aqui apresentados referem-se à média de todos os sete modelos (MGC). É difícil falar-se numa expectativa média de todos os modelos uma vez que eles evidenciam tendências diferentes e nenhuma tendência específica é mais provável do que as outras. Temos de olhar para os resultados de cada modelo individual para ter uma melhor compreensão dos riscos no futuro. A Figura 16 mostra os rácios entre os rendimentos esperados no futuro (2046 a 2065) e os rendimentos passados (1961-2000) de cada um dos sete modelos (cccma, cnrm, csiro, gfdl, giss, ipsl, and mpi) assim como, o rácio da média de todos os modelos (all).

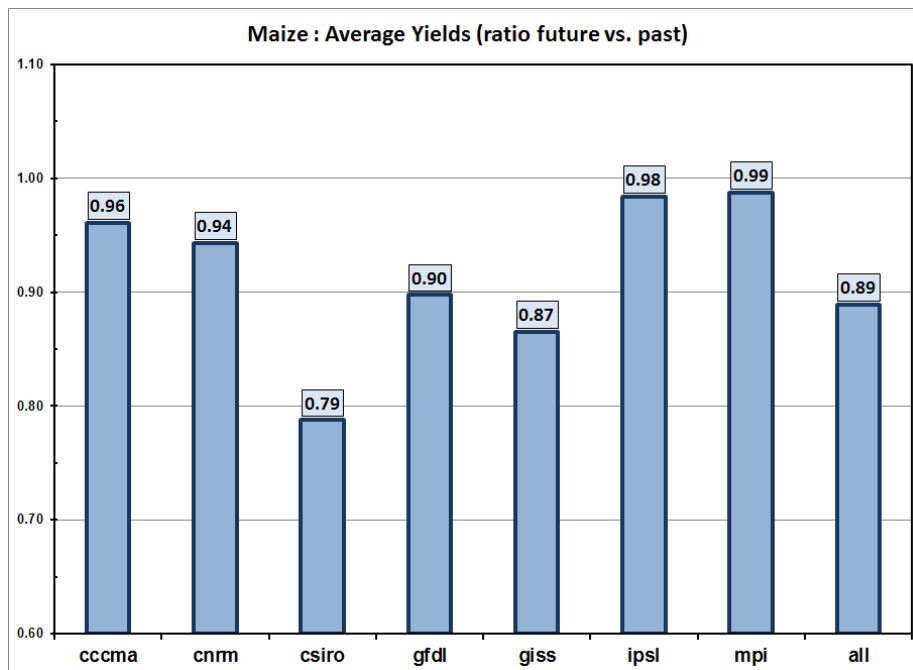


Figura 16: Rácio dos rendimentos médios de cada Modelo Geral de Circulação (MGC).

Todos os modelos mostram rácios inferiores a 1.0, que significa que é esperado que os rendimentos futuros no milho diminuam. A conjugação de todos os modelos (all) apresenta um rácio de 0.89, equivalente a um decréscimo de 11.1 % conforme mencionado previamente. Observando cada um dos modelos, verifica-se que o modelo “mpi” (rácio de 0.99 equivalente a 1.2 % de decréscimo) dá a menor mudança, próximo do “ipsi” (rácio de 0.98 equivalente a 1.6 % de decréscimo), seguido do “cccma” (rácio de 0.96 equivalente aos 3.9 % de decréscimo) e o “cnrm” (rácio de 0.94 equivalente to 5.7 % de decréscimo). A seguir está “gfdl” (rácio de 0.90) dando uma mudança esperada na ordem dos 10.2 % de decréscimo, o “giss” (rácio de 0.87) com um 13.5 % de decréscimo e, finalmente o “csiro” (rácio de 0.79) dando o pior cenário com um decréscimo na ordem dos 21.3 %. As mudanças projectadas dos actuais rendimentos, variam de 1.2 % a 21.3 %, com um valor médio que ronda os 11.1 % de diminuição nos rendimentos na produção do Milho.

Se desejamos expressar as mudanças esperadas em termos de rendimentos actuais (em kg/ha) e não em relação aos rendimentos actuais, podemos cruzar a informação das mudanças esperadas nos rendimentos actuais (Figura 14) com os rendimentos potenciais presentes (Tabela 12 e Figura 9). Cruzando estas informações, obtêm-se as mudanças esperadas para o milho expressas em kg/ha conforme ilustra a Figura 17.

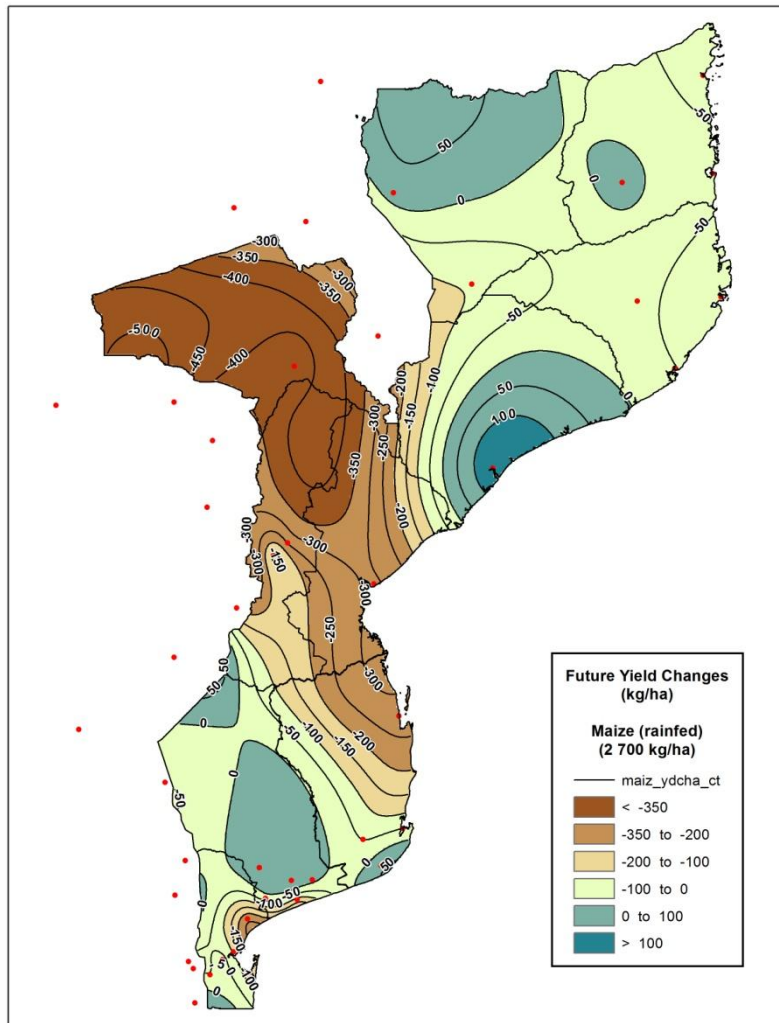


Figura 17: Mudanças esperadas no futuro (2046-2065) para o milho (expressas em kg/ ha) numa agricultura em sequeiro. Valores baseados na média de todos os 7 MGC.

De acordo com o mapa (Figura 17) e resumindo os impactos (expressos em kg/ha) das mudanças climáticas na agricultura em sequeiro, espera-se uma redução dos rendimentos em sequeiro do milho na ordem dos 350 kg/ha ou mais na zona centro do País ao longo do Vale do Zambezi. Esta área estende-se até às bacias do Punguè e Buzi e, até parte da bacia do Save junto da costa de Inhambane com uma redução esperada na ordem dos 100 a 350 kg/ha. A área ao redor de Quelimane esperam um aumento superior aos 100 kg/ha e, as zonas no interior norte, algumas partes do interior sul e ao redor da costa em torno de Zavala, projectam um ligeiro aumento (0 a 50 Kg/ha) nos rendimentos do milho em sequeiro. Nas restantes partes do País, espera-se um decréscimo ligeiro nos rendimentos na ordem dos 0 a 50 kg/ha. No país em geral, a redução projectada situa-se na ordem dos 11.1 % dos actuais rendimentos.

A primeira fase do estudo do INGC realizada pelo IIAM usou somente três modelos, o modelo echam que referimos neste estudo como sendo o modelo mpi, e os modelos ipsl e gfdl. Os rácios para estes modelos como apresentados na Figura 16, são, respectivamente, 0.99, 0.98, e 0.90, não incluindo nenhum dos dois extremos inferiores (giss e csiro) e incluindo os dois modelos menos sensíveis, o modelo mpi e os modelos ipsl. Comparando os seus resultados com os resultados deste estudo, o modelo gfdl (Figura 3) projecta uma tendência de decréscimo nos rendimentos (aumento ligeiro do

risco) ao longo do Vale do Zambeze, prolongando-se para o Sul com tendências semelhantes às aquelas apresentadas neste estudo para os rendimentos da produção do milho em sequeiro.

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM OUTRAS CULTURAS

Para as outras culturas, mandioca, algodão, amendoim, mapira e soja, este relatório apresenta apenas os resultados finais. A Tabela 16 resume os resultados para as seis culturas mostrando as mudanças esperadas no futuro para a temperatura média e precipitação durante o período de crescimento, e os respectivos rendimentos de culturas. Em termos de rendimentos de culturas, o milho é o mais sensível às mudanças climáticas com rendimentos decrescentes na ordem dos 11.1 %, seguido da soja com uma diminuição projectada de 6.4 %, depois o amendoim com um decréscimo de 4.6%, mandioca com 4.2 %, mapira com 3.5 % e finalmente o algodão que é a cultura menos afectada com um decréscimo projectado de 2.9% dos rendimentos actuais.

Tabela 16: Mudanças projectadas de 2046 a 2065 nas temperaturas médias (°C) durante o período de crescimento da cultura, rendimentos da cultura (%) sob condições de sequeiro, e precipitação (mm) durante a época de crescimento da mandioca, algodão, amendoim, milho, mapira e soja.

Cultura	Mudanças na Temperatura			Mudanças Rendimentos			Mudanças na Chuva		
	median (past)	change in future		median (past)	change in future		median (past)	change in future	
	°C	°C	%	mm	mm	%	mm	mm	%
Mandioca	23.8	2.0	8.5	0.397	- 0.02	- 4.2	633.7	- 17.3	- 2.7
Algodão	24.1	2.1	8.5	0.517	- 0.02	- 2.9	610.0	- 20.0	- 3.3
Amendoim	24.5	2.1	8.5	0.599	- 0.03	- 4.6	487.9	- 5.1	- 1.1
Milho	24.5	2.1	8.5	0.373	- 0.04	- 11.1	454.2	- 5.8	- 1.3
Mapira	24.6	2.1	8.5	0.572	- 0.02	- 3.5	438.9	- 3.9	- 0.9
Soja	24.6	2.1	8.4	0.217	- 0.03	- 6.4	377.4	- 4.5	- 1.2

A distribuição geográfica das mudanças nos rendimentos das culturas sob condições de sequeiro são apresentadas nas Figuras 18 a 27, expressas quer como mudanças relativas aos rendimentos actuais potenciais (em %), quer como mudanças nos rendimentos actuais (em kg/ ha). A Figura 18 e a Figura 19 apresentam os resultados para o algodão, a Figura 20 e a Figura 21 para a mapira, a Figura 22 e Figura 23 para o amendoim, a Figura 24 e Figura 25 para a mandioca, e a Figura 26 e Figura 27 para a soja.

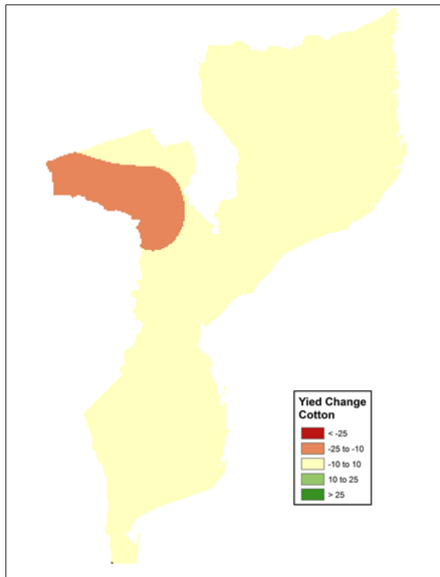


Figura 18: Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para o algodão (média de todos os 7 MGC), expressas em % dos rendimentos actuais.

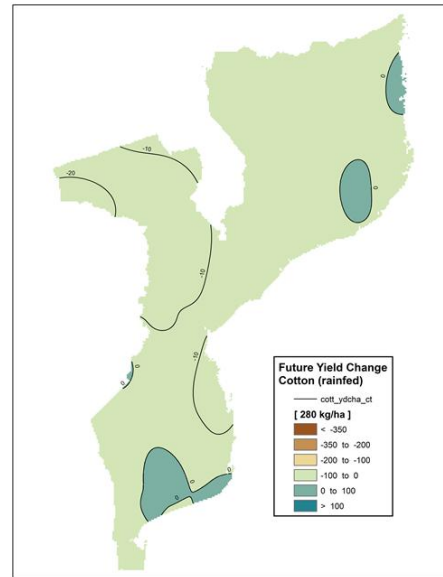


Figura 19: Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para o algodão (média de todos os 7 MGC), expressas em kg/ ha.

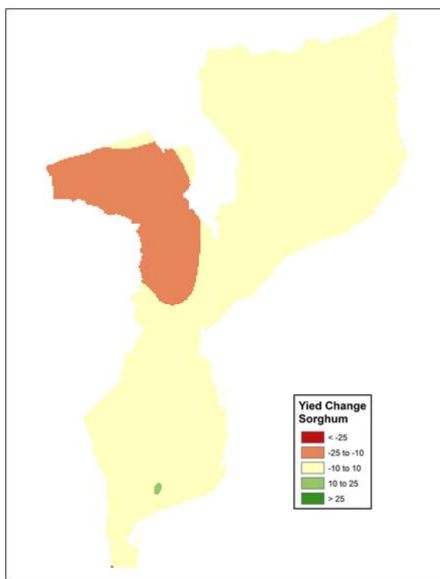


Figura 20: Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a mapira (média de todos os 7 MGC), expressas em % dos rendimentos actuais.

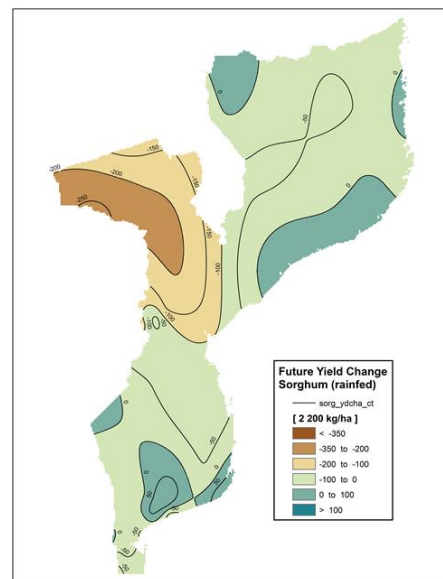


Figura 21: Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a mapira (média de todos os 7 MGC), expressas em kg/ ha.

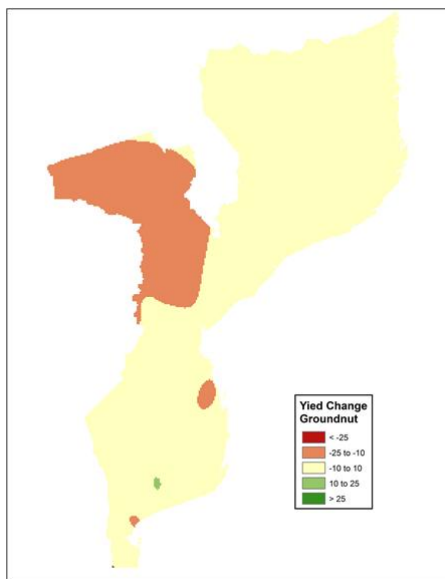


Figura 22: Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para o amendoim (média de todos os 7 MGC), expressas em % dos rendimentos actuais.

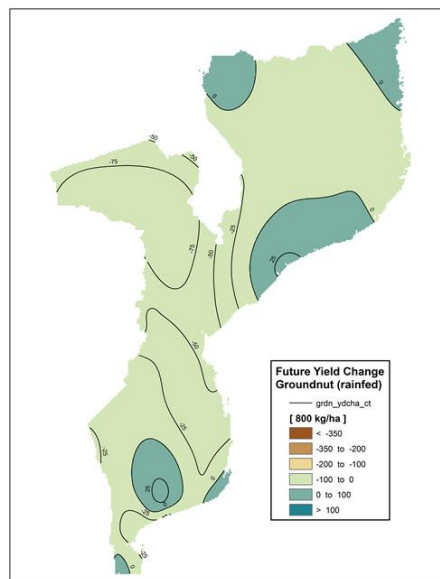


Figura 23: Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para o amendoim em in kg/ha.

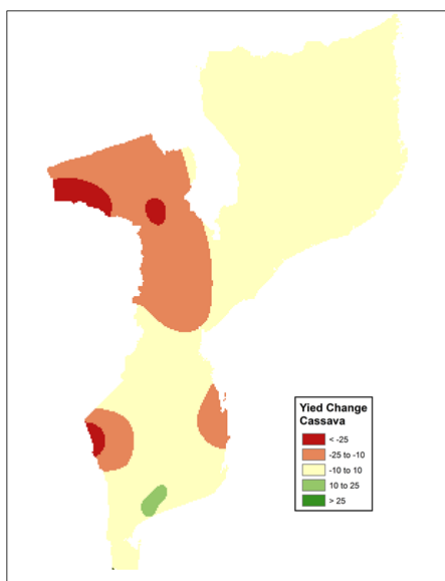


Figura 24: Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a mandioca (média de todos os 7 MGC), expressas em % dos rendimentos actuais.

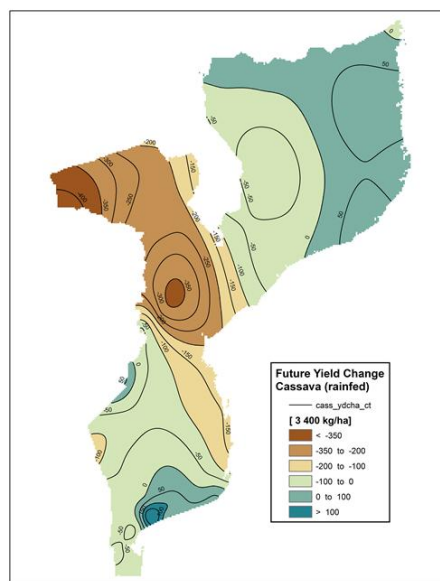


Figura 25 Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a mandioca em in kg/ha.

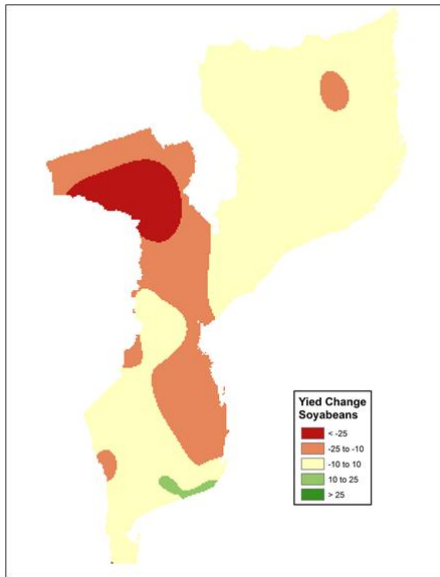


Figura 26: Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a soja (média de todos os 7 MGC), expressas em % dos rendimentos actuais.

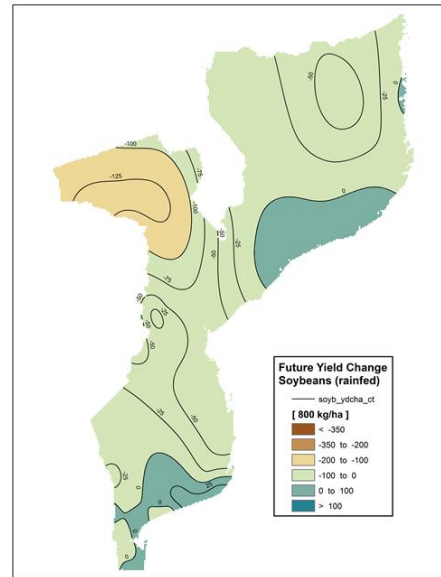


Figura 27: Mudanças projectadas no futuro (2046-2065) para a soja em in kg/ha).

Olhando para todas as culturas, a cultura mais sensível às alterações climáticas (mudanças de temperatura em relação à evapotranspiração e à precipitação), é a cultura do milho, seguido da soja, amendoim, mandioca, mapira e depois o algodão como o menos sensível. Se observarmos os mapas notamos que o decréscimo nos rendimentos relativos começa como uma bolsa no lado oeste da província de Tete (algodão na Figura 18), depois cresce gradualmente em direcção à costa e para sul, primeiro na mapira na Figura 20, depois no amendoim na Figura 22, na mandioca na Figura 24, depois na soja na Figura 26, e finalmente no milho como a cultura mais afectada na Figura 14.

ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas são um fenómeno global resultante das alterações nas concentrações dos gases de estufa na atmosfera. Estas alterações mudam o equilíbrio energético na atmosfera, alterando as temperaturas e os padrões de precipitação. Este estudo analisa as mudanças com base no cenário de emissões SRES A2.

Há duas maneiras de lidar com as mudanças climáticas, uma através da mitigação que contempla práticas para diminuir a emissão dos gases de estufa, práticas muito relevantes para os países desenvolvidos que têm grandes responsabilidades na emissão de gases e, a outra que contempla a adaptação às mudanças climáticas, práticas mais importantes para os países em vias de desenvolvimento, os menos responsáveis pela emissão de gases que provocam o efeito de estufa, mas, na maior parte dos casos, os mais afectados pelas mudanças climáticas como é o caso de Moçambique, um dos países menos desenvolvidos dos mais vulneráveis às mudanças climáticas e desastres.

Este estudo analisa possíveis impactos nos rendimentos de culturas (resultantes das mudanças na precipitação e temperatura na sua relação com a evapotranspiração) e, aponta possíveis medidas de adaptação para lidar com esta situação.

O sector agrícola que é crucial para o desenvolvimento de Moçambique, define no seu plano estratégico para 2011 a 2020, um crescimento médio de 7% que será conseguido através da duplicação dos

rendimentos e aumento em 25% das área cultivadas nas culturas mais importantes, garantindo ao mesmo tempo uma utilização sustentável dos recursos naturais.

Para além do efeito das mudanças nas temperatura e precipitação, os rendimentos agrícolas em Moçambique poderão diminuir substancialmente devido ao aumento da frequência e intensidade das calamidades, em particular as secas que afectam as regiões semi-áridas e áridas do país, as inundações que afectam os vales ricos dos rios onde a densidade populacional e as actividades económicas se concentram e, os ciclones que afectam a zona costeira de Moçambique onde habita a maioria da população.

Os recursos em água doce, dos quais depende em grande medida a viabilidade da agricultura, são muito vulneráveis às mudanças climáticas, e as práticas actuais de gestão de recursos hídricos não são suficientemente adaptadas para lidar com esses impactos. (FAO, 2008a). Como consequência, as mudanças climáticas podem resultar num agravamento da insegurança alimentar em Moçambique, colocando em risco os esforços do país na redução da pobreza. Nesta perspectiva, as medidas de adaptação são cruciais para aumentar a produtividade agrícola e reduzir os impactos das mudanças climáticas.

Adaptação, conforme definido pelo IPCC é um ajustamento nos sistemas natural ou humano em resposta aos estímulos climáticos actuais, ou esperados, ou aos seus efeitos, que moderam, prejudicam ou esgotam as oportunidades benéficas. Existem diversos tipos de adaptação incluindo a adaptação **autónoma**, mormente praticada pelas populações cuja subsistência depende da agricultura e que têm vindo a usar estes mecanismos para lidar com a variabilidade climática; a adaptação **preventiva**, que se verifica antes da ocorrência dos impactos das mudanças climáticas, a qual juntamente com a inovação tecnológica, tenta melhorar a resiliência aos impactos futuros e incertos, mas que implica uma partilha entre a optimização nas condições actuais e a minimização da vulnerabilidade aos choques previstos e; a adaptação **planificada**, que é o resultado de uma decisão política deliberada tomada tendo como base o reconhecimento de que as condições mudaram ou se encontram em vias de mudar, requerendo acção. (FAO, 2008b).

A adaptação às mudanças climáticas requer a realização de ajustes preventivos em preparação a determinadas mudanças na variabilidade climática ou nas condições médias climáticas, de forma a minimizar os danos e a explorar oportunidades benéficas (IPCC, 2007). Assim sendo, em Moçambique temos de iniciar com a introdução das medidas de adaptação a nível comunitário para promover a resiliência local, preparando as populações para os desafios futuros, onde as mudanças climáticas desempenham um papel importante.

O âmbito deste estudo é o efeito das mudanças climáticas no balanço hídrico e seus impacto nos rendimentos das culturas. Verificamos que a subida da temperatura e as mudanças na precipitação diminuirão os rendimentos das culturas na agricultura em sequeiro e aumentarão o consumo da água em condições de irrigação tornando a gestão da água num aspecto crucial da adaptação às mudanças climáticas. As diversas opções de medidas de adaptação que temos de olhar na água e na agricultura são:

- Gestão da humidade do solo nos campos agrícola em sequeiro:

Referem-se a tecnologias e investimentos acessíveis para apoiar agricultores no estabelecimento dum controle melhor e gestão de fornecimentos intermitentes da água, que podem ser cruciais durante períodos curtos de seca que ocorrem onde a precipitação é muito variável como nas regiões áridas e semi-áridas do País, e que resultam em perdas frequentes das colheitas. As técnicas envolvem a captura de água *in situ* juntamente com a melhoria da

capacidade de retenção de água do solo na zona radicular para lidar com défices temporários de água que ocorrem durante os períodos de crescimento. Estes investimentos devem ser acompanhados pela otimização do uso de fertilizantes, sementes e outros insumos essenciais aos ambientes em sequeiro de modo a maximizar os investimentos nas práticas de gestão de humidade do solo. (Rockström, 2000).

➤ Investir em pequenas infraestruturas de captura de água:

A captura de água refere-se a qualquer prática que recolha o escoamento das chuvas e a armazene para utilização na produção agrícola. Estas técnicas envolvem três componentes, uma área de bacia para produzir o escoamento superficial, uma área de armazenamento para armazenar a água e, uma área alvo de produção para utilizar a água armazenada, que neste caso é para a agricultura. Existem dois tipos diferentes, um que é a captação *in situ* que envolve o re-ajustamento da superfície do solo para encaminhar o escoamento superficial para a zona radicular, neste caso a área da bacia e de armazenamento encontram-se no mesmo local onde a zona radicular funciona como um reservatório da água. A segunda técnica de captação de água prevê a construção de pequenos reservatórios e as áreas da bacia, de armazenamento e a área alvo encontram-se localizadas em zonas diferentes. Neste caso, os sistemas de recolha da água podem ser classificados de acordo com a escala do escoamento superficial a ser armazenado, variando desde pequenas represas de controlo e estruturas de retenção de água até às pequenas barragens de retenção de água provenientes dos escoamentos superficiais. As opções de armazenamento incluem tanques acima ou abaixo da superfície do solo e, pequenas barragens. As barragens grandes e médias, muito relevantes na gestão de água, não são aqui mencionadas pois elas estão geralmente associadas a grandes regadios numa escala muito superior à mencionada neste estudo.

A primeira técnica, técnicas de captura de água *in situ*, têm sido muito bem sucedida nalguns dos distritos das regiões áridas e semi-áridas de Moçambique onde foram introduzidas juntamente com a agricultura de conservação, resultando num aumento significativo dos rendimentos das colheitas quando comparadas com técnicas agrícolas locais. A segunda também tem sido utilizada em Moçambique sobretudo a orientada para a utilização doméstica e/ou animal. Esta última envolve técnicas muito mais exigentes do ponto de vista tecnológico de concepção e execução, tendo a maioria destas iniciativas em Moçambique observado falhas técnicas acabando frequentemente na destruição das infra-estrutura após a ocorrência de chuvas fortes ou então nunca chegando a encher. Estas técnicas são no entanto muito relevantes para uma melhor gestão da água em condições de stress de água, existindo ainda margem para uma melhor disseminação de uma vasta gama de tecnologias de captura e conservação de água que se encontram disponíveis mas pouco conhecidas fora das suas áreas de origem.

Existe um grande potencial para a redução de pobreza ao utilizar técnicas de colheita e conservação de água pelos pequenos produtores agrícolas nas zonas semi-áridas e sub-húmidas. Pequenas intervenções de captura e armazenamento da água podem vir a ter grandes impactos nos meios de subsistência nestas áreas rurais. Normalmente, ao proporcionar-se 1 000 m³ de água extra por hectare, por estação para irrigação suplementar, melhora a resiliência dos agricultores aos períodos de seca e, em combinação com técnicas melhoradas de gestão de solos, nutrientes e de conservação pós-colheitas, pode-se aumentar substancialmente a produtividade da agricultura em sequeiro de pequena escala (Rockström *et. al.*, 2007).

- Desenvolvimento de irrigação de pequena escala com base na comunidade:

A agricultura em sequeiro é extensamente praticada em todo Moçambique e é negativamente afectada pela precipitação baixas e incertas. Nas áreas semi-áridas o risco de perda de colheitas é elevado devido às secas, enquanto que a inundações aos longo dos vales férteis dos rios são mais prováveis de acontecer nos anos húmidos, resultando num risco agravado e perda das colheitas.

Existe um grande potencial para o desenvolvimento da irrigação em Moçambique nos rios com caudais que possam facilmente sustentar grandes áreas de irrigação uma vez que a infra-estrutura apropriada tenha sido construída (barragens de armazenamento de água associadas a sistemas de rega). Para o desenvolvimento de irrigação em pequena escala, só vale a pena considerar as áreas que tenham uma fonte de água fiável, a uma distância e a uma altura de bombeamento económicas. Os principais factores que podem limitar o desenvolvimento da irrigação nestas áreas são as inundações durante os anos chuvosos, o acesso aos mercados e o conhecimento especializado de produção agrícola. A estratégia para a introdução de irrigação de pequena escala baseada na comunidade tem de ser acompanhada de outras medidas para melhorar a produtividade agrícola. Estas medidas podem ser resumidas no acrónimo CROP com o seguinte significado: a letra “C” para boas colheitas (good Crops) onde sementes de qualidade e outros insumos são fundamentais, a letra “R” para boas estradas (good Roads) para transporte dos produtos, a letra “O” para bons mercados para a venda dos produtos (good Outlets) e, a letra “P” para um preço bom (good Price) para recuperar os investimentos.

Para melhorar o desenvolvimento na irrigação em pequena escala, propõe-se a estratificação das intervenções em quatro regiões distintas:

- (i) Os vales baixos ao longo dos rios. Esta região é caracterizada por uma savana tropical seca com uma média anual de precipitação na ordem dos 600 a 1 000 mm, e com fontes de água fiáveis nos rios, lagos ou águas subterrâneas pouco profundas. A estratégia passa pela introdução de bombas de irrigação (pedestais ou manuais, diesel ou eléctricas) conjuntamente com outras medidas para melhoria da produtividade agrícola.
- (ii) Os planaltos mais elevados do país caracterizados por chuvas tropicais tendo como fonte única de água uma precipitação média anual entre 1 000 e 1 600 mm. Sugere-se a promoção de técnicas de captação e conservação de água e dos solos para melhorar o armazenamento de água nos solos e a captura de água associada a uma irrigação suplementar para diminuição do risco de perda de colheitas devido ao stress hídrico e, melhorar a produtividade agrícola.
- (iii) A transição entre ambas regiões com média anuais de chuva entre os 800 a 1 000 mm, com declives acentuados em algumas áreas e, pequenos rios não perenes na maior parte do tempo. Propõe-se a promoção de medidas de conservação do solos e da água para promover o armazenamento de água nos solos e promover conservação de solos para prevenir a sua erosão, promover a captação de água e, naqueles sítios com uma fonte fiável de água e potencial para irrigação, promover a rega e a construção de açudes e,
- (iv) As regiões semi-áridas e áridas com precipitação abaixo dos 600 mm nas quais o desenvolvimento de infra-estruturas de armazenamento de água deve ser orientado mais para a produção pecuária e uso doméstico uma vez que estas regiões estão sob um défice de água permanente e não são apropriadas ao desenvolvimento de

agricultura irrigada. Nas áreas onde a água seja fiável, a irrigação em pequena escala pode vir a ser desenvolvida associada à produtividade agrícola e acesso aos mercados.

- Melhoria dos sistemas de irrigação existentes e desenvolvimento de novos sistemas de irrigação:

Moçambique tem um potencial enorme para o desenvolvimento de sistemas de irrigação de grande dimensão com bons solos agrícolas ainda disponíveis ao longo de grandes rios que, juntamente com o desenvolvimento de grandes barragens podem assegurar grandes quantidades de água necessárias para desenvolver a agricultura irrigada comercial em grande escala. Aqui é importante mobilizar recursos para desenvolver grandes investimentos públicos na construção de grandes barragens e sistemas de irrigação e, atrair, envolver e promover um sector privado forte para tornar estes grandes investimentos produtivos e rentáveis vinculando-os depois a associações organizadas de agricultores de pequena e média escala bem como agricultores privados de pequena e média escala como demonstra a experiência bem sucedida de desenvolvimento da cana de açúcar em Moçambique.

As mudanças climáticas também irão trazer chuvas mais intensas e por isso deve ser dada atenção especial às técnicas de controlo da erosão do solos, tanto na agricultura de pequena como de grande escala, e à drenagem na agricultura para controlar a acumulação de água nos vales dos rios, em conjunto com medidas de protecção contra as cheias para evitar danos pelas inundações.

Para além destas iniciativas mencionadas, Moçambique deverá também olhar para outras formas de transferência de risco, tais como seguros na agricultura para lidar com os desastres (secas, inundações e ciclones) que se estão tornando mais frequentes e intensos.

Outro aspecto importante é a introdução de mecanismos de prevenção de incêndios descontrolados que, sob condições de clima mais quentes e ventos mais fortes têm um maior poder de destruição. Os mesmos deverão envolver mecanismos de controlo e prevenção baseados na comunidade, e a introdução de mecanismos de monitoria, prevenção e controle nas maiores áreas florestais.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo cobre os efeitos das mudanças climáticas (aumento das temperaturas e alterações nos padrões de precipitação) no balanço de água e rendimentos das culturas em sequeiro em Moçambique. O estudo utilizou as precipitações diárias e as temperaturas máximas e mínimas diárias de 47 estações meteorológicas, 27 das quais se encontram em Moçambique. Modelou o balanço hídrico diário e seus impactos nos rendimentos de seis culturas diferentes (mandioca, algodão, amendoim, milho, mapira e soja) e para sete modelos de circulação geral inferidos para as condições Moçambicanas.

Os efeitos das mudanças climáticas nos rendimentos das colheitas diferem de cultura para cultura, sendo o milho a cultura mais afectada com uma diminuição média projectada no país de 11.1%, seguida da soja com uma diminuição projectada de 6.4 %, depois o amendoim com uma diminuição de 4.6 %, a mandioca com 4.2 %, a mapira com 3.5 % e o algodão aparece como o menos afectado com uma diminuição média projectada na ordem dos 2.9 % dos rendimentos actuais.

As diminuições de rendimentos projectadas encontram-se distribuídas em zonsa diferentes geográficas com uma diminuição relativa dos rendimentos a começar como uma bolsa no sector oeste da província de Tete na cultura do algodão, crescendo em direcção ao litoral e ao sul, com as culturas da mapira, amendoim, mandioca e soja, seguindo-se por último o milho como a cultura mais afectada que cobre

uma área mais ampla em Moçambique. Os rendimentos das culturas podem diminuir até 30% da produção actual nas áreas mais afectadas como é o caso do milho em algumas áreas da província de Tete.

Estes efeitos das mudanças climáticas podem ser exacerbados pelo aumento da frequência e intensidade das calamidades (secas, inundações, ciclones e incêndios descontrolados) que podem vir a anular os esforços do país na redução da pobreza e alcançar uma média de crescimento no sector agrícola na ordem dos 7% pela duplicação dos rendimentos das colheitas e aumento em 25% das áreas cultivadas para as culturas mais importantes.

O desenvolvimento massivo bem como a adopção de mecanismos de adaptação no sector agrícola é crucial para fazer com que as comunidades e a sociedade Moçambicanas sejam mais resilientes às mudanças climáticas, o que requer fortes mecanismos de coordenação no sector, o desenvolvimento de medidas locais de adaptação e mecanismos rápidos de disseminação que envolvam o sector privado e grandes produtores bem como os agricultores de pequena escala. Requer uma forte liderança por parte do Governo e a canalização de fundos para investimentos com fortes impactos no presente e no futuro. Requererá ainda que todos os sectores relevantes (universidades, centros de pesquisa, legisladores, serviços de extensão e produtores) canalizem os seus esforços e recursos de forma coordenada tendo em vista o mesmo objectivo, aumentar a produtividade agrícola, a resiliência às mudanças climáticas e, promover o desenvolvimento nas zonas rurais.

Neste empreendimento, a gestão da água é crucial uma vez que as mudanças climáticas juntamente com o crescimento e aumento da população trarão uma elevada procura de água que começa a ficar cada vez menos disponível. Requer-se que o sector agrícola adopte mecanismos e tecnologias que proporcionem uma melhor utilização da água com mais produção por gota de água (more crops per drop) e, se melhorarem os mecanismos captação e conservação de água ao nível da zona radicular das plantas, ao nível das comunidades e, ao nível das bacias hidrográficas, para lidar com a escassez de água.

BIBLIOGRAFIA

- Fant, Chas, 2008. CliCrop: A one-dimensional model to calculate water stress on crops. M.Sc. at University of Colorado, Boulder, USA.
- FAO, 2008a. FAO Water Reports 36. Climate Change, Water and food Security. Rome.
- FAO, 2008b. Climate Change Adaptation and Mitigation in the Food and Agricultural Sector. Rome
- FAO/UNDP, 1982a. Assessment of Land Resources for Rainfed Crop Production in Mozambique. FAO/UNDP Project, Ministry of Agriculture, Land and Water Use Planning, Mozambique, 1982.
- FAO/UNDP, 1982b. Generalized agro-climatic suitability for rainfed production in Mozambique. FAO/UNDP Project, Ministry of Agriculture, Land and Water Use Planning, Mozambique, 1982.
- INGC, 2009. Main report: INGC Climate Change Report: Study on the Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique. [Asante, K., Brundrit, G., Epstein, P., Fernandes, A., Marques, M.R., Mavume, A, Metzger, M., Patt, A., Queface, A., Sanchez del Valle, R., Tadross, M., Brito, R. (eds.).
- IPCC, 2007. Climate Change 2007. Sythesis Report. As Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Rockström, J. 2000. Water resources management in smallholder farms in Eastern and Southern Africa: an overview. Phys. Chem. Earth, (B) 25(3): 275–283.
- Rockström, J., Hatibu, N., Oweis, T. & Wani, S. 2007. Managing water in rainfed agriculture. In D. Molden, D. ed. 2007. Water for food, water for life. A comprehensive assessment of water management in agriculture. London, Earthscan, and Colombo, IWMI

Anexo I: Valores médios do modelo CliCrop para Moçambique (baseados na mediana) para sete modelos gerais de circulação da atmosfera, 47 estações meteorológicas e seis culturas diferentes (mandioca, algodão, amendoim, milho, mapira e soja).

Cassava									
	LGS (days)			SD (days)			WD (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	181.83	181.79	-0.03 0.0%	299.88	289.91	-9.96 -3.3%	540.49	580.31	39.82 7.4%
stdev	2.12	2.04	-0.07	21.07	21.25	0.19	261.24	265.97	4.73
max	181.25	181.30	0.05	301.42	295.95	-5.47	534.86	592.50	57.64
min	187.65	187.25	-0.40	326.53	316.16	-10.37	1153.82	1233.36	79.54
	Y (fraction)			Dr (mm)			PET (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	0.397	0.381	-0.02 -4.2%	104.62	97.32	-7.30 -7.0%	770.18	797.34	27.16 3.5%
stdev	0.169	0.171	0.00	97.52	88.55	-8.96	79.24	78.27	-0.97
max	0.386	0.380	-0.01	61.47	60.00	-1.47	778.97	800.55	21.59
min	0.701	0.727	0.03	385.78	298.26	-87.52	973.06	948.14	-24.91
	Pr (mm)			T (°C)					
	past	future	diff.	past	future	diff.			
median	633.74	616.42	-17.32 -2.7%	23.83	25.85	2.02 8.5%			
stdev	237.28	224.03	-13.26	2.23	2.16	-0.08			
max	633.79	587.20	-46.59	24.62	26.73	2.11			
min	1153.22	985.86	-167.36	27.69	29.98	2.28			

Mandioca

Cotton									
	LGS (days)			SD (days)			WD (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	110.33	110.30	-0.03 0.0%	299.88	289.91	-9.96 -3.3%	531.10	566.63	35.53 6.7%
stdev	2.35	2.26	-0.08	21.07	21.25	0.19	225.22	229.36	4.14
max	109.50	109.65	0.15	301.42	295.95	-5.47	494.26	552.34	58.08
min	116.90	116.25	-0.65	326.53	316.16	-10.37	1090.13	1152.53	62.40
	Y (fraction)			Dr (mm)			PET (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	0.517	0.502	-0.02 -2.9%	134.27	122.93	-11.34 -8.4%	714.22	740.60	26.38 3.7%
stdev	0.121	0.118	0.00	116.59	105.50	-11.08	76.47	75.73	-0.75
max	0.524	0.498	-0.03	86.16	73.71	-12.45	724.38	746.69	22.31
min	0.667	0.671	0.00	423.18	340.42	-82.76	892.38	875.09	-17.29
	Pr (mm)			T (°C)					
	past	future	diff.	past	future	diff.			
median	609.98	589.70	-20.28 -3.3%	24.06	26.11	2.05 8.5%			
stdev	229.73	219.55	-10.18	2.25	2.17	-0.07			
max	610.69	562.12	-48.57	24.87	26.96	2.10			
min	1083.07	946.12	-136.95	27.98	30.24	2.26			

Algodão

Groundnut									
	LGS (days)			SD (days)			WD (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	123.63	123.62	-0.01 0.0 %	299.88	289.91	-9.96 -3.3 %	337.89	363.53	25.64 7.6 %
stdev	2.05	1.97	-0.09	21.07	21.25	0.19	208.37	198.46	-9.91
max	123.35	123.55	0.20	301.42	295.95	-5.47	266.52	327.01	60.50
min	128.30	127.95	-0.35	326.53	316.16	-10.37	795.43	834.12	38.70
	Y (fraction)			Dr (mm)			PET (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	0.599	0.572	-0.03 -4.6 %	80.77	77.29	-3.48 -4.3 %	535.86	557.84	21.98 4.1 %
stdev	0.157	0.150	-0.01	66.26	65.21	-1.05	54.44	52.26	-2.18
max	0.642	0.549	-0.09	59.92	57.53	-2.39	543.03	568.60	25.57
min	0.839	0.832	-0.01	243.49	237.70	-5.79	663.77	661.36	-2.40
	Pr (mm)			T (°C)					
	past	future	diff.	past	future	diff.			
median	487.91	482.77	-5.14 -1.1 %	24.50	26.57	2.08 8.5 %			
stdev	190.82	191.88	1.07	2.12	2.07	-0.05			
max	481.91	438.48	-43.43	25.13	27.21	2.08			
min	838.17	810.31	-27.86	28.62	30.80	2.19			

Amendoim

Sorghum									
	LGS (days)			SD (days)			WD (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	131.09	131.07	-0.02 0.0 %	299.88	289.91	-9.96 -3.3 %	330.89	355.76	24.87 7.5 %
stdev	1.92	1.88	-0.04	21.07	21.25	0.19	172.18	167.91	-4.27
max	130.85	131.15	0.30	301.42	295.95	-5.47	264.30	320.40	56.11
min	135.45	135.15	-0.30	326.53	316.16	-10.37	723.57	763.41	39.84
	Y (fraction)			Dr (mm)			PET (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	0.572	0.551	-0.02 -3.5 %	94.94	90.02	-4.92 -5.2 %	478.40	499.68	21.28 4.4 %
stdev	0.143	0.133	-0.01	74.49	72.51	-1.99	48.31	46.21	-2.09
max	0.630	0.538	-0.09	72.66	68.60	-4.06	483.42	505.02	21.60
min	0.757	0.740	-0.02	300.48	281.30	-19.18	586.09	591.17	5.08
	Pr (mm)			T (°C)					
	past	future	diff.	past	future	diff.			
median	438.90	434.97	-3.94 -0.9 %	24.55	26.63	2.08 8.5 %			
stdev	171.24	172.46	1.22	2.11	2.04	-0.07			
max	436.18	404.47	-31.72	25.20	27.22	2.02			
min	772.57	757.54	-15.03	28.69	30.90	2.21			

Mapira

Maize									
	LGS (days)			SD (days)			WD (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	174.75	174.73	-0.02 0.0 %	299.88	289.91	-9.96 -3.3 %	337.75	363.94	26.19 7.8 %
stdev	2.14	2.02	-0.12	21.07	21.25	0.19	185.90	180.01	-5.89
max	174.40	174.55	0.15	301.42	295.95	-5.47	263.50	328.03	64.52
min	180.40	179.50	-0.90	326.53	316.16	-10.37	770.27	807.83	37.56
	Y (fraction)			Dr (mm)			PET (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	0.373	0.332	-0.04 -11.1 %	89.11	84.65	-4.46 -5.0 %	496.02	516.53	20.51 4.1 %
stdev	0.232	0.217	-0.01	68.81	66.98	-1.83	49.73	47.57	-2.16
max	0.440	0.284	-0.16	71.96	65.80	-6.16	506.81	527.69	20.89
min	0.733	0.699	-0.03	269.01	251.14	-17.87	601.68	606.44	4.76
	Pr (mm)			T (°C)					
	past	future	diff.	past	future	diff.			
median	454.19	448.41	-5.78 -1.3 %	24.54	26.62	2.08 8.5 %			
stdev	176.98	176.27	-0.71	2.12	2.06	-0.06			
max	457.40	419.65	-37.75	25.20	27.24	2.04			
min	805.13	776.46	-28.67	28.66	30.85	2.20			

Milho

Soybeans									
	LGS (days)			SD (days)			WD (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	120.13	120.10	-0.03 0.0 %	299.88	289.91	-9.96 -3.3 %	276.10	297.63	21.53 7.8 %
stdev	1.95	1.90	-0.04	21.07	21.25	0.19	154.37	147.76	-6.61
max	119.95	120.15	0.20	301.42	295.95	-5.47	234.19	270.34	36.14
min	124.70	124.35	-0.35	326.53	316.16	-10.37	616.92	657.75	40.84
	Y (fraction)			Dr (mm)			PET (mm)		
	past	future	diff.	past	future	diff.	past	future	diff.
median	0.517	0.484	-0.03 -6.4 %	67.89	64.61	-3.28 -4.8 %	408.29	427.68	19.40 4.8 %
stdev	0.177	0.160	-0.02	52.53	50.08	-2.45	41.56	39.67	-1.88
max	0.567	0.475	-0.09	60.52	52.08	-8.45	412.61	429.10	16.49
min	0.773	0.746	-0.03	223.83	212.65	-11.18	494.12	505.42	11.30
	Pr (mm)			T (°C)					
	past	future	diff.	past	future	diff.			
median	377.40	372.88	-4.53 -1.2 %	24.60	26.66	2.06 8.4 %			
stdev	142.65	144.06	1.40	2.10	2.02	-0.08			
max	380.80	358.27	-22.53	25.26	27.22	1.96			
min	683.33	668.53	-14.80	28.71	30.99	2.29			

Soja



PARTE 2

Modelando o impacto das mudanças climáticas de meados do século nos rendimentos das culturas em Moçambique: Efeitos da subida da temperatura, do ozono terrestre e do CO₂ atmosférico: uma abordagem por camadas

Parte 2: Edwin Holman

PARTE 2.

Modelando o impacto das mudanças climáticas de meados do século nos rendimentos das culturas em Moçambique: Efeitos da subida da temperatura, do ozono terrestre e do CO₂ atmosférico: uma abordagem por camadas.

Modelando o impacto das mudanças climáticas de meados do século nos rendimentos das culturas em Moçambique: Efeitos da subida da temperatura, do ozono terrestre e do CO₂ atmosférico: uma abordagem por camadas.

Ir. E.H.A. Holman, Crops Advance, membro do Tema 6 do Projecto do INGC Respondendo às Mudanças Climáticas em Moçambique, Rua Campo do Pouso 1413, CEP 13825000, Holambra-SP, Brazil. info@cropsadvance.com , www.cropsadvance.com , tel/fax: +55-19-3802-1785.

Outubro, 2012

Resumo

Este trabalho é parte do Projecto do INGC – Respondendo às Mudanças Climáticas em Moçambique – Tema 6 – Fase II. É apresentada uma abordagem por camadas para avaliar e acumular os efeitos de um aumento de até 6°C na temperatura, de um aumento de até 60 ppmm (n.t. partes por milhão) de ozono de nível terrestre e de um aumento de até 300 ppm (n.t. partes por milhão) de CO₂ atmosférico, no rendimento médio actual de seis culturas seleccionadas: mandioca, algodão, amendoim, milho, sorgo e soja em Moçambique. É calculado o resultado individual e combinado, no rendimento das culturas, de uma mudança de 550 ppm no CO₂ atmosférico, de um aumento de 1.7 para 2.4°C na temperatura e de um aumento de 15 para 30 ppmm no ozono de nível terrestre, associados às mudanças climáticas de meados do século em Moçambique.

A modelagem actual tende frequentemente a aplicar um valor limite para o ozono, subestima o efeito de supressão no rendimento provocado pelo ozono de nível terrestre, sobrestima o “efeito alimentador” do CO₂, e aplica as reacções tradicionais de temperatura Q₁₀ derivadas de medições de curto prazo (horas) em organismos maduros [27][28][29][31][32]. Neste trabalho, é trazida uma nova abordagem actualizadas sobre a forma como a temperatura, o ozono terrestre e o CO₂ modelam interactivamente o rendimento-resultado. De forma a elucidar os factores que determinam as lacunas actuais e futuras de rendimentos, combinámos, principalmente, as descobertas de três equipas de investigação: (1) o trabalho sobre CO₂ – interacção do ozono de nível terrestre no rendimento das culturas, da equipa de investigação da USDA, chefiada pelo Prof. Dr. Edwin Fiscus, (2) o trabalho sobre Eficiência na Utilização de Carbono (CUE), do Prof. Dr. Marc van Iersel e colegas da Georgia and Utah State University e (3) o trabalho sobre os efeitos epigenéticos na memória modulados pelo ozono e a recente descoberta nesta área do Crops Advance Brazil, mostrando-nos:

- (1) O fim de um paradigma: O CO₂ atmosférico extra basicamente não alimenta o rendimento das culturas, mas age antes como um estresse oxidativo, especialmente relevante para o estresse oxidativo causado pelo ozono de nível terrestre,
- (2) O paradoxo de CUE: a Eficiência das Culturas na Utilização de Carbono (CUE) tende a ser um rácio fixo; ainda assim pode ser significativamente influenciada e, contrariamente às mudanças de curto prazo, as mudanças de temperatura de longo prazo raramente interferem na CUE,
- (3) Explicação do paradoxo de CUE: As culturas na sua fase juvenil memorizam e subsequentemente fixam permanentemente a sua eficiência respiratória. Este processo é modulado pelo estresse oxidativo durante a fase juvenil das culturas.

O rendimento é basicamente modulado pelo estresse oxidativo causado pelo ozono de nível terrestre em contraposição a ser modulado pelo CO₂ atmosférico e não se aplica nenhum limite ou “valor seguro” para a exposição ao ozono.

O ozono de nível terrestre gera um *falso* sinal de perturbação metabólica; A exposição ao ozono durante a fase juvenil de uma cultura limita o rendimento máximo alcançável.

Introdução

O propósito deste documento é prever a influência das mudanças climáticas, reflectivas pela mudança de três importantes factores climáticos i.e. a temperatura, o ozono de nível terrestre e o CO₂ atmosférico, nos rendimentos de culturas em Moçambique actuais e futuros e delinear possíveis medidas para mitigar efeitos negativos no rendimento.

Como parte da “Contribuição para o Tema 6” para a Fase II do Projecto do Instituto Nacional de Gestão das Calamidades (INGC), *Respondendo às Mudanças Climáticas em Moçambique*, a actual análise aborda a fundamentação e abordagem matemática para a modelação dos efeitos da *subida da temperatura* e da *subida do ozono de nível terrestre e do CO₂ atmosférico* no rendimento das culturas. A Fase I do INGC recomendou que fossem solicitadas modelações adicionais de culturas de forma a melhorar a robustez das descobertas sobre as alterações dos rendimentos resultantes das mudanças climáticas [1]. Desta forma, a Fase II continuou a análise, aplicando todos os sete modelos, em vez dos três Modelos Climáticos Globais (MCGs) seleccionados [ref. 1, p.21, Tabela 1.10] bem como um novo modelo de culturas calibrado (CliCrop) para as seis culturas seleccionadas: mandioca, algodão, amendoim, milho, sorgo e soja. A Fase I, e inicialmente a Fase II, isolaram o efeito combinado da disponibilidade da água e da temperatura na *transpiração das culturas*, como sendo o principal factor de limitação do rendimento.

No decorrer da pesquisa e desenvolvimento da Fase II, reconheceu-se que, num contexto de alterações climáticas, a Eficiência na Utilização de Carbono (CUE) das culturas, o carbono sequestrado ou a Produção Primária Líquida (NPP), como percentagem do total de carbono inicialmente capturado no processo global de fotossíntese, i.e. Produção Primária Bruta (GPP), não pode continuar a ser considerado um rácio fisiológico constante. Dado estarem sujeitas ao aumento da temperatura e ao aumento do ozono terrestre, é previsível que tanto a fotossíntese (NPP, PS_{bruto}) como a respiração (R) se reajustem (NPP↓, R↑) e, tal como se irá demonstrar, um aumento do dióxido de carbono atmosférico, através do seu “efeito alimentador”, geralmente não pode compensar os efeitos negativos da respiração e da fotossíntese no rendimento.

$$NPP = GPP - R \quad (\text{Fórmula 1})$$

$$CUE = \frac{NPP}{GPP} \quad (\text{Fórmula 2})$$

Alterações na CUE têm um grande impacto directo e potencial no rendimento das culturas, tal como mostra a fórmula 3 abaixo, na fase do crescimento exponencial inicial. P_(d) = produção acumulada num dia (d) expressa em gramas de Carbono (gC), IG = peso inicial (gC), PS_{bruto} = fotossíntese bruta (gC.gC⁻¹.d⁻¹), CUE = Eficiência na Utilização de Carbono.

$$P_{(d)} = IG \times e^{PS_{bruto} \times CUE \times d} \quad (\text{Fórmula 3})$$

Outros estudos confirmam que alterações na temperatura têm um forte impacto nos rendimentos. Lobell & Burke [17] concluíram que as evoluções no entendimento das reacções das culturas à temperatura e a magnitude das alterações da temperatura regional, são duas das necessidades mais importantes para as avaliações dos impactos das mudanças climáticas e para os esforços de adaptação da agricultura. Adicionalmente, a Agência Europeia para o Ambiente identifica o ozono terrestre como um factor que se espera vir a ter impactos negativos significativos na agricultura [16][20].

Adicionalmente, o momento de ocorrências sazonais ou a reacção fenológica das culturas é, depois da duração do dia, principalmente desencadeada pela temperatura. O aumento da temperatura pode estender uma época de crescimento limitada pela baixa temperatura. Este aspecto é potencialmente benéfico para o rendimento de uma época, uma vez que a época de crescimento representa a janela de produção do agricultor. O ciclo da cultura, por outro lado, é a janela de produção da planta, está fortemente correlacionado positivamente com o rendimento, e tende a reduzir com a subida da temperatura, e desta forma também o rendimento. Os dados de Quadir *et al.* [6], por exemplo, mostram que, para a produção de Girassol, cada aumento de 1°C na temperatura média, reduz o ciclo da cultura em 9.3 dias, reduzindo o rendimento em 5.7% em comparação com o rendimento óptimo realizado. Deste modo, para as culturas anuais, na base de um único plantio, o aumento da temperatura está associado a ciclos de cultura mais curtos e à redução do rendimento. Onde e quando aplicáveis, as medidas de adaptação deverão portanto incluir o avanço do calendário agrícola, influenciando a duração dos dias. Talmuito provavelmente envolverá a selecção de variedades adequadas [15][16]. A reacção do rendimento das culturas perenes tais como a mandioca, que têm um ciclo de cultura superior a um ano) à mudança de temperatura será abordada de forma diferente (ver Perenes, página 8).

Consequentemente, decidiu-se melhorar a nossa modelação através da inclusão da *temperatura* e do *ozono de nível terrestre* como factores separados.

Deve notar-se que nas seguintes simulações, estabelecendo a influência das componentes do clima precipitação, temperatura e ozono de nível terrestre, individualmente ou em combinação, com o crescimento e rendimento das culturas, é assumido que todos os outros factores que poderão influenciar o crescimento, incluindo factores como gestão das produções agrícolas e factores socioeconómicos, assume-se que permanecem constantes.

Para a nossa abordagem de modelação, a palavra-chave é “mudança” a qual resulta em benefícios técnicos de modelação. Os dados de rendimento actual servem como a base que reflecte e confirma a influência de *todos os factores envolvidos*. A mudança no rendimento por cada factor em mudança (mantendo todos os outros factores constantes) é simulada na base de mudanças nos processos eco-fisiológicos que são considerados relevantes:

- (1) Desenvolvimento fenológico
- (2) Transpiração,
- (3) Assimilação de CO₂,
- (4) Respiração,
- (5) Formação de matéria seca,
- (6) Partição de assimiláveis nos órgãos colectáveis.

As seis culturas consideradas de interesse neste relatório são: mandioca, algodão, amendoim, milho, sorgo e soja.

- **Mapa de base – rendimentos actuais**

A partir da fase I, foram utilizados seis mapas, um por cultura, mostrando os rendimentos médios actuais anuais [1].

A utilização dos dados do rendimento actual das seis culturas de interesse como ponto de partida simplifica grandemente o modelo que se pode restringir somente às dinâmicas de mudanças de cada factor individual.

Numa *abordagem por camadas*, depois da transpiração (camada 1), adicionámos individualmente a temperatura (camada 2), o ozono de nível terrestre (camada 3) e o CO₂ atmosférico (camada 4) individualmente, tornando possível sobrepô-las, individualmente ou em combinação, *nos mapas base, por mapa, fornecendo a média anual actual do rendimento por cultura* em Moçambique.

A abordagem por camadas também oferece benefícios práticos: facilita a avaliação do impacto de factores individuais na sua contribuição para a mudança nos rendimentos. Isto ajudará na definição de medidas de adaptação prioritárias focadas na mitigação dos efeitos da precipitação, mudanças de temperatura e do ozono de nível terrestre no rendimento potencial actual das culturas.

- **Camada um – Transpiração**

Na fase I, foram dadas duas formas de apresentação por cultura, uma mostrando o rendimento projectado e outra mostrando a mudança no rendimento, devido à mudança da transpiração [1].

Na fase II, as mudanças na precipitação e na temperatura foram previstas através da aplicação de todos os sete MGCs provenientes da fase I [1]. Os efeitos combinados das mudanças da precipitação e da temperatura na transpiração foram previstos através da aplicação do modelo calibrado de cultura *CliCrop*. A ligação dos efeitos combinados na assimilação de CO₂, na formação de matéria seca e na partição de assimiláveis para os órgãos colectáveis fornece uma previsão da relação entre a mudança da transpiração e a mudança do rendimento. Estes resultados são apresentados num documento separado mas o resultado geral confirma este resultado tal como apresentado na fase I e indica que, a este sub-nível, devem ser esperadas poucas mudanças a nível nacional em Moçambique.

- **Camada dois – Temperatura**

Para as culturas anuais a abordagem seguida é epidemiológica. Para cada cultura é correlacionado o histórico de temperaturas a padrões de ocorrências de rendimento, sem explicar a física subjacente, nem tentando alimentar um modelo multi-variáveis.

- **Camada três – Ozono de nível terrestre**

Mostrando a mudança no rendimento proveniente da mudança prevista no rendimento relativo devido à mudança do ozono de nível terrestre.

- **Camada quatro – CO₂ Atmosférico**

Mostrando a mudança no rendimento proveniente da mudança prevista no rendimento relativo devido ao CO₂ Atmosférico e tal como será apresentado nas análises quantitativas abaixo, não pode ser separado do ozono de nível terrestre.

Análise Quantitativa

- Subida da temperatura da temperatura – *mudança do rendimento relacionada com a mudança geral da temperatura*
- Subida do ozono terrestre do ozono terrestre – *mudança do rendimento relacionada com a mudança geral do ozono terrestre*
- Subida do CO₂ Atmosférico do CO₂ Atmosférico – *mudança do rendimento relacionada com a mudança geral do CO₂ Atmosférico*

(Observação: O ponto é utilizado como a marca decimal).

1. Subida da temperatura – mudança do rendimento relacionada com a mudança geral da temperatura

O crescimento e o rendimento das culturas correlacionam-se de forma positiva e linear com o calor acumulado durante a época de crescimento. Para culturas não perenes, o Grau de Dias de Crescimento (GDD) é uma expressão matemática simples para a acumulação de calor, e uma ferramenta de modelação para ajudar a prever a evolução do desenvolvimento da planta ao longo do ciclo da cultura, tal como será explicado abaixo [6][7][8][14][15][16]. Para culturas perenes, consulte o parágrafo “perenes” na página 8. O ciclo das culturas, ou número de dias entre o plantio e a colheita, reflecte o tempo para as culturas acumularem carbono, i.e., a sua janela temporal para alcançarem o rendimento. O ciclo da cultura não está apenas dependente da cultura e da variedade, mas é também uma função da temperatura. Quando, para uma mesma data de plantio, o clima tende a ser ligeiramente mais quente, o ciclo da cultura tende a ser mais curto [16]. Constatou-se que deverá utilizar-se nas análises uma base de dados substancial para se obter uma boa noção deste efeito, combinando dados de várias plantações com várias datas de plantio. A fórmula (1) na página 5 é um exemplo do resultado possível: ciclo da cultura (dias) = $-9.34 \times \text{média do GDD diário (}^\circ\text{C)} + 264$. Se for feita uma comparação simples de duas plantações que têm o seu dia de plantio em épocas diferentes, teremos a falsa impressão que o ciclo da cultura é mais longo quando as temperaturas são mais elevadas, i.e., o oposto do efeito real. Tal é assim porque é também a *distribuição de calor ao longo do ciclo da cultura* que define fortemente a duração do ciclo e o resultado do rendimento.

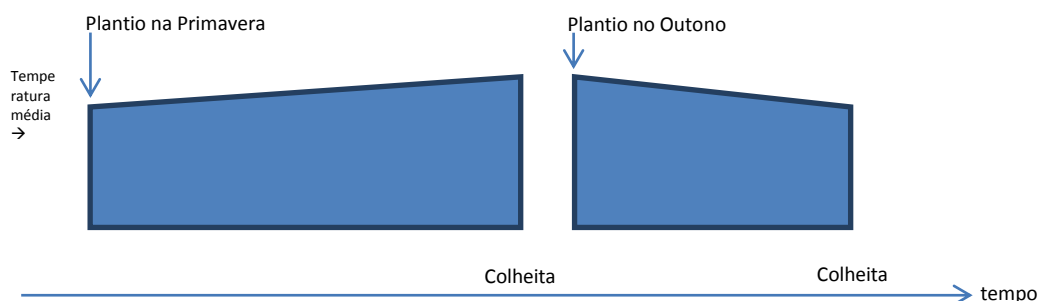


Figura 1. A distribuição de calor ao longo do ciclo da cultura define fortemente a duração do ciclo e o rendimento - resultado.

A influência da temperatura na partição de assimiláveis para as raízes, ramos, folhas e órgãos de armazenamento é uma função da fase de desenvolvimento da cultura [15]. Um plantio na Primavera, tendo um início relativamente fresco no plantio e depois crescendo para um final relativamente quente

na altura da colheita, vai provavelmente resultar no ciclo de vida mais longo, no maior GDD acumulado e no mais alto rendimento-resultado. O oposto acontece num plantio no Outono [6][23]. Por exemplo, através da integração de dados de Quadir *et al.* [6] para o Girassol, ao exprimir a distribuição da temperatura (TD) por T_{amp} / T_{amh} , onde T_{amp} = temperatura média do mês de plantio e T_{amh} = temperatura média do mês de colheita, para TD constatamos uma correlação inversa e linear de uma gama de 0.5 a 1.8 com a duração do ciclo ($n=8$, $R^2=0.88$), GDD ($n=8$, $R^2=0.95$) e rendimento ($n=8$, $R^2=0.95$).

O GDD engloba portanto três variáveis dependentes:

- (1) A temperatura, expressa como limite médio superior ou temperatura base (T_b) da temperatura máxima e mínima diária (T_{max} & T_{min}):

$$GDD = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b \right) \quad (\text{Fórmula 4})$$

, e que é uma medida para o calor efectivamente acumulado que contribuiu para o desenvolvimento e crescimento do rendimento da cultura ao longo do seu ciclo,

- (2) O gradiente da distribuição da temperatura ao longo do ciclo da cultura,
- (3) O número de dias de crescimento entre o plantio e a colheita, e que é o ciclo da cultura real.

No cálculo do GDD, uma temperatura média diária abaixo de T_b é contabilizada como T_b para um rendimento de 0 GDD para esse dia. Dentro da gama prática de temperaturas de até aproximadamente 40°C, para culturas C3, e ao contrário das C4, é aplicado normalmente um valor limite, a T_{max} , por exemplo de 30°C, sendo esta a temperatura limite acima da qual se considera que a temperatura não contribui para o crescimento e desenvolvimento. Para $T_{max} > T_{cutoff}$, é utilizada uma temperatura limite para o cálculo do GDD.

- No âmbito do nosso estudo é importante compreender que a *redução* do rendimento relativo, provocada por um *aumento* geral da temperatura é o efeito líquido de redução do ciclo das culturas, parcialmente compensado pelo aumento do GDD diário.

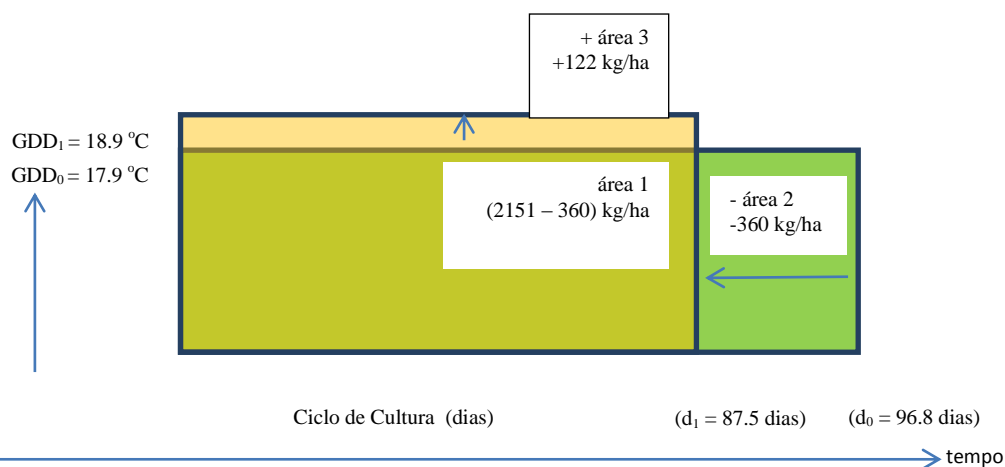


Figura 2. Alteração no rendimento de Girassol devido a um aumento de 1°C na temperatura média.

Para cada cultura é necessário definir três relações lineares: (1) o ciclo das culturas como função da média diária de GDD, que fornecerá as mudanças no ciclo das culturas por unidade de subida da temperatura, (2) o rendimento como função do ciclo das culturas, que fornecerá a componente de redução do rendimento por unidade de mudança da temperatura e (3) o rendimento como função do GDD acumulado, que fornecerá a componente do aumento do rendimento por unidade de mudança da temperatura. As duas componentes de alteração de rendimento têm sinais opostos e, para a subida da temperatura, o resultado líquido é negativo, ou seja, redução do rendimento. (4) Adicionalmente é necessário determinar a média diária real de GDD.

Por exemplo, integrando os dados de Quadir *et al.* [6] para o Girassol conclui-se que (1)→(2)→(4)→(3):

(1) Ciclo da cultura (dias) = $-9.34 \times \text{média diária de GDD (}^{\circ}\text{C)} + 264$

(2) Rendimento (kg/ha) = $38.5 \times \text{ciclo da cultura (dias)} - 1591$

- A componente da mudança do rendimento por cada unidade de mudança de temperatura = $-9.34 \times 38.5 = -360$ kg/ha por cada $+1^{\circ}\text{C}$ de aumento.

(4) A média diária actual de GDD = 17.9°C → em (1) fornece o ciclo de cultura actual = 96.8 dias.

(3) O rendimento (kg/ha) = $2.72 \times \text{total acumulado de GDD (}^{\circ}\text{C)} - 2562$

- Novo ciclo de cultura = $96.8 - 9.34 = 87.5$ dias com $+1^{\circ}\text{C}$ GDD por dia extra = 87.5°C extra acumulados → (3) $87.5 \times 2.72 = +238$ kg/ha por cada $+1^{\circ}\text{C}$ de aumento.
- Mudança líquida para o rendimento: $-360+238 = -122$ kg/ha por cada 1°C de aumento.
- O rendimento inicial é (3) $2.72 \times 17.9 \times 96.8 - 2562 = 2151$ kg/ha
- Mudança relativa do rendimento por cada unidade de mudança de temperatura = $-122/2151 = -0.057$ ou:
 - -5.7% por cada $+1^{\circ}\text{C}$
 - Espera-se que uma mudança de temperatura de $+1.5^{\circ}\text{C}$ to $+5.7^{\circ}\text{C}$ afecte o rendimento relativo do Girassol em -9% a -33% .

Tabela 1. O calculo da mudança relativa de rendimento por cada unidade de mudança de temperatura.

Girassol		y = ax+b		
	Y	x	A	B
(1)	Ciclo da cultura (dias)	Média diária de GDD (°C)	-9.34 (A)	264 (B)
(2)	Rendimento (kg/ha)	Ciclo da cultura (dias)	38.5 (C)	-1591
(3)	GDD Médio diário actual (°C)	-	-	17.9 (D)
(4)	Rendimento (kg/ha)	Total acumulado de GDD (°C)	2.72 (E)	-2562 (F)

$$\frac{AC + E (AD + B + A)}{ED (AD+B) + F} \times 100\% = -5,7\% (\text{°C}^{-1})$$

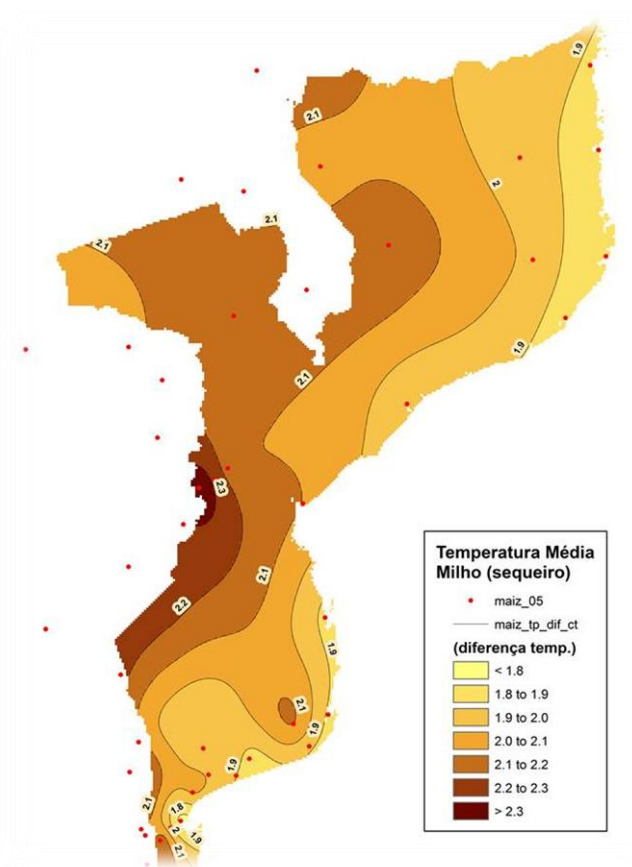


Figura 3. Mudança média da temperatura, em meados do século, em época de plantio (de por exemplo milho), variando de 1.7 a 2.4°C.

Da mesma forma, é possível determinar a mudança relativa do rendimento (ΔY_{rel}) devida à mudança da temperatura, por unidade de mudança de temperatura (ΔT), e aplicada à variação prevista de +1.7°C a +2.4°C para a mudança média da temperatura em época de plantio, em meados do século:

Tabela 2. Mudança relativa do rendimento, por cada unidade de mudança de temperatura, para as culturas seleccionadas.

Cultura	Mudança relativa do rendimento* por mudança de temperatura ($\Delta Y_{rel}/\Delta T$)			
	Unidade +1°C	+1.7°C	Média +2.1°C	+2.4°C
Girassol	-5.7%	-9.7%	-11.7%	-13.7%
Amendoim	-5.0%	-8.5%	-10.3%	-12.0%
Milho	-6.1%	-10.4%	-12.5%	-14.6%
Sorgo	-4.7%	-8.0%	-9.6%	-11.3%
Mediana	-5.4%	-9.1%	-11.0%	-12.9%
Mandioca**	+2.9%	+4.9%	+5.9%	+7.0%
Soja***	-5.4%			
Algodão***	-5.4%			

* Observação 1: “Rendimento” refere-se principalmente a rendimento por ciclo de cultura. Se tivermos em conta o pressuposto assumido na página 3 de que os calendários das culturas não mudam, a percentagem de mudança de rendimento aplica-se também ao rendimento em geral, p.e. por época ou por ano.

** Observação 2: A lógica resumida na Tabela 1 não se aplica a culturas perenes como Mandioca. Para esta explicação, consulte o parágrafo “Perenes” abaixo.

*** Para a Soja e o Algodão, devido a dados incompletos, foram utilizados os resultados médios do girassol, amendoim, milho e sorgo como estimativas indicativas para a influência do aumento da temperatura na mudança do rendimento.

A Tabela 2 resume as alterações previstas do rendimento sob o pressuposto que, tal como foi destacado a negrito na página 3, **nada de altera além da temperatura média**. Assumindo, por exemplo, um recuo no tempo do calendário de plantio, a redução do rendimento pode ser aliviada e os números tornar-se-ão mais positivos, fornecendo potencialmente uma falsa impressão do efeito da temperatura no rendimento. Isto poderá ocorrer especialmente quando os números começam a ter vida própria, sem terem como base os pressupostos básicos que lhes estão subjacentes.

Para uma *mudança da temperatura média local projectada* ($\Delta T_{p,avg,local}$) da temperatura média local actual, o rendimento médio relativo local *projectado* é: $Y_{p,avg,rel,local} = (1 - (\Delta Y_{rel}/\Delta T \times \Delta T_{p,avg,local}))$. Este é relativo ao rendimento absoluto médio real local ($Y_{a,avg,abs,local}$) e desta forma, em termos absolutos, o rendimento absoluto médio local projectado fica: $Y_a \times Y_{p,rel,local}$.

Exemplo: [Ref. 1, relatório principal do INGC, tabela 4.2, p.101] O rendimento médio do Girassol entre 2006-2007 = 0.5 a 1.5 t/ha. Para a mudança da temperatura média projectada para meados do século

de +1.5 a +5.7°C o rendimento médio irá sofrer conseqüentemente uma mudança de -9% a -32%. O rendimento relativo será 91% a 68% do rendimento real.

Expectativa para o rendimento médio **real** do Girassol = 0.5 a 1.5 t/ha.

- O rendimento absoluto projectado para meados do século torna-se o “**melhor cenário**” (95% de probabilidade de ser pior): $0.5 \times 91\%$ a $1.5 \times 91\%$ = 0.5 a 1.4 t/ha.
- O rendimento absoluto projectado para meados do século torna-se o “**cenário intermédio**” (50% de probabilidade de ser pior): $0.5 \times 80\%$ a $1.5 \times 80\%$ = 0.4 a 1.2 t/ha. O rendimento absoluto projectado para meados do século torna-se o “**pioor cenário**” (5% de probabilidade de ser pior): $0.5 \times 68\%$ a $1.5 \times 68\%$ = 0.3 a 1.0 t/ha.

Perenes

As culturas perenes como a mandioca são plantas que naturalmente vivem por mais de dois anos. Ao contrário das culturas anuais, como o girassol ou o amendoim, o ciclo de vida das plantas perenes não se restringe a uma “janela” dependente da temperatura de geralmente 3 a 4.5 meses, com uma data ideal de plantio para a maximização do resultado-rendimento, a determinar pelo agricultor. Algumas perenes, como a mandioca, são “evergreens”, mantendo as folhas e retendo carbono ao longo de todo o ano. A abordagem para estimar a mudança no rendimento médio como função do aumento da temperatura média, influenciando a redução do ciclo, não é aplicável às perenes.

Mandioca

A mandioca é uma cultura perene, de folha persistente e intolerante ao arrefecimento. É raro ver a mandioca sobreviver em áreas com temperaturas mínimas iguais ou inferiores a 15°C. Temperaturas abaixo de 20°C fecham os estômatos da mandioca. Temperaturas altas até aproximadamente 30°C tendem a abri-los [24]. Temperaturas baixas provocam níveis excessivos de estresse oxidativo, tal como é reflectido pelo comportamento dos estômatos em relação à temperatura. O ácido abscísico do fitormônio (ABA) induz o fecho dos estômatos através da indução da produção de peróxido de hidrogénio (H_2O_2), e tanto o ABA como o H_2O_2 induzem a produção de óxido nítrico (NO) pela enzima nitrato redutase (NR). É o sinal do NO que induz o fecho dos estômatos (com ou sem H_2O_2) [25]. Uma vez que o H_2O_2 induz a produção de NO, é o “falso sinal do H_2O_2 ” do ozono que é um factor provocador do fecho dos estômatos [50].

Modelando o aumento da temperatura atmosférica *versus* alteração do rendimento actual

Para o propósito de modelar o impacto da **subida da temperatura** no rendimento real, as culturas seleccionadas foram divididas em anuais (algodão, amendoim, milho, sorgo e soja) e perenes (mandioca). Com a subida das temperaturas, o rendimento das culturas anuais sobre principalmente da *redução do ciclo da cultura*. Apesar de o aumento das temperaturas subir os dias de graus de crescimento (Growing Degree Days - GDD) acumulados, os quais no geral estão relacionados com a subida de rendimento, o rendimento geral é diminuído devido ao efeito mais forte da redução do ciclo de culturas no rendimento.

- Para as **culturas anuais**, em média, os nossos cálculos mostram o resultado combinado de um aumento dos Dias de Graus de Crescimento (Growing Degree Days) e de uma redução do ciclo

da cultura ser uma redução esperada de 5% do rendimento por cada 1°C de subida da temperatura média.

A mandioca perene é simultaneamente C3 e C4, uma “evergreen” e devido à subida média da temperatura espera-se que o seu rendimento em média aumente, principalmente devido a temperaturas mínimas médias crescentes mitigando o stress oxidativo associado. O ciclo de culturas de perenes não se espera que mude sob temperaturas crescentes e espera-se que a atenuação do stress de baixas temperaturas contribua positivamente para o resultado-rendimento.

- Para a **mandioca perene**, é projectado em média um aumento do rendimento de 2,9% para cada 1°C de subida da temperatura média [24][30].
- O aumento do rendimento médio (dY_{rel}) por cada subida de +1°C é uma função da temperatura média real da folha ($T_{leaf-avg-act}$). A $T_{leaf-avg-act}$ é calculada como a média da temperatura máxima e mínima diária da folha: $T_{leaf-avg-act} = [T_{leaf\ max} + T_{leaf\ min}]/2$.
- $dY_{rel} = 0.66 \times T_{leaf-avg-act}^{-1}$.

A temperatura média real pode ser estimada de forma grosseira a partir da temperatura média real do ar menos 3°C.

2. *Aumento do ozono de nível terrestre – mudança do rendimento relacionada com a mudança geral do ozono de nível terrestre*

Para uma dada cultura, passada a fase ontogenética, a sua Eficiência na Utilização de Carbono (CUE), definida como o carbono sequestrado sobre o carbono capturado e rendimento, parece ser constante e imune a variações de temperatura. Contudo, os resultados recentes de pesquisas da Crops Advance mostram que o stress oxidativo, especialmente causado pelo ozono de nível terrestre, regula superiormente o AOX em relação ao COX, tornando assim a produção de ATP mais dispendiosa em termos de carbono, um custo que não é compensado pela fotossíntese. Analisando os efeitos da Eficiência na Utilização de Carbono, existem portanto três grandes factores a ter em consideração e os seus efeitos a serem combinados:

- | | | |
|-----------------------------|---|---|
| (1) Ozono ↑ | → | Respiração ↑ & Fotossíntese ↓ = CUE ↓, Ciclo da cultura ↓:
Efeito global: Todas as culturas: Rendimento ↓ |
| (2) Temperatura ↑ | → | GDD ↑ & Ciclo da cultura ↓, Respiração ↑ & Fotossíntese ↓ ou ↑
dependendo da temperatura real: Efeito global: Culturas anuais:
Rendimento ↓, culturas perenes: Rendimento ↑ |
| (3) CO₂ ↑ | → | “Efeito do Ozono” ↓, CUE ↑: Respiração ↓ & Fotossíntese ↑,
Temperatura das Folhas ↑, GDD ↑ & Ciclo da cultura ↑ (!), Partição
de carbono sequestrado para os órgãos colectáveis ↓: |

Efeito global: Todas as culturas: **Rendimento** ↑

Até à data a modelagem frequentemente aplica um valor limite para o ozono, subestima o efeito de supressão no rendimento provocado pelo ozono de nível terrestre, sobrestima o “efeito alimentador” do CO₂ e aplica as reacções tradicionais de temperatura Q₁₀ derivadas de medições de curto prazo (horas) em organismos maduros [27][28][29][32][48]. Neste trabalho, é trazida uma nova abordagem sobre a forma como a temperatura, o ozono de nível terrestre e o CO₂ modelam interactivamente o rendimento-resultado.

A equipa de Fiscus quebrou um paradigma, ensinando que o “efeito alimentador” do aumento do CO₂ atmosférico na realidade é principalmente devido ao CO₂ *contrariar o sinal oxidativo do ozono de nível terrestre*. As enzimas carboxilantes Rubisco e PEPC, responsáveis pela incorporação de CO₂, são sensíveis ao redox por terem grupos de cisteína dos quais o estado de oxidação modela a actividade das enzimas explicando a sensibilidade das enzimas aos sinais oxidativos induzidos pelo ozono, principalmente através de peróxido de hidrogénio [22][33][34]. O aumento do CO₂ favorece a anidrase β-carbónica e a redução do peróxido de hidrogénio pela oxidação do NADPH [39] facilitada pela dismutase superóxida (SOD), através da oxidação do NADPH [39]. Para Barley demonstrou-se que o peróxido de hidrogénio, limpando a enzima catalase (CAT) e a SOD, aumentaram rapidamente após as plantas terem sido transferidas de níveis de CO₂ elevados (700 ppm) de volta a níveis de ambiente [35], fornecendo uma forte fundamentação para o efeito “anti ozono” observado a partir do aumento do CO₂ atmosférico. Pode portanto concluir-se que a taxa de carboxilação é uma função do rácio de fluxo do [CO₂/O₃] atmosférico para as folhas. Para algodão, arroz, soja, trigo, amendoim, feijão verde e batata Fiscus demonstra que, em condições de baixo ozono (25 ppmm) uma duplicação do CO₂ atmosférico actual (372 para 706 ppmm), em média apenas levará a um aumento marginal do rendimento (+3%) ao passo que em condições de elevado ozono (60 ppmm) uma duplicação do CO₂ atmosférico levará a um aumento considerável do rendimento *relativo* (+35%) embora em termos absolutos *o rendimento seja meramente recolocado no seu rendimento de “baixo nível de ozono”* (!) [27][28][29].

- **O rendimento é basicamente modelado pelo ozono de nível terrestre, e não pelo CO₂ atmosférico.**
- **Não se aplica nenhum limite ou “valor seguro” para a exposição ao ozono.**

Uma fonte de dados sobre os efeitos da aplicação de CO₂ na produção de culturas é a estação de pesquisa Holandesa para floricultura e vegetais de estufa [46]. Para uma cultura de estufa com 372 ppm de CO₂ e em circunstâncias em que apenas o CO₂ atmosférico é considerado o factor limitante do crescimento e em condições de luz plena, a sua projecção mais positiva é um aumento de 25% da matéria seca, para um aumento de CO₂ para 706 ppm. Para cada 100 ppm extra de CO₂, acima dos 706 ppm de CO₂, a matéria seca projectada aumenta menos de 4%. Utilizando os dados da pesquisa de Fiscus, projecta-se um aumento de 25% do rendimento para 706 ppm de CO₂ em relação a 372 ppm de CO₂ e de 15 ppm de ozono de nível terrestre, se o ar da estufa, a 706 ppm de CO₂, contiver aproximadamente 45 ppm de ozono. O ar das estufas Holandesas é principalmente enriquecido com CO₂ proveniente da combustão de gás. Um baixo equipamento de NO_x (NO_x = NO + NO₂) produz aproximadamente 20 ppm de NO_x (com o alerta definido a 30 ppm) para 11.7% de CO₂. Se for utilizado para manter 706 ppm de CO₂ num ambiente fechado de estufa, esta mistura fornece (partes de volume) 121 ppm de NO_x das quais 35 ppm são NO₂. O NO₂ perante a luz dissocia-se para NO + ozono. 35 ppm (partículas por milhar de milhão) de NO₂ é o equivalente a 35 ppm de O₃ (!). Se os gases limpos da combustão contiverem tão pouco como 10 ppm de ozono, incluindo as 35 ppm de NO₂ o resultado será o equivalente a 45 ppm de O₃. O limite para o ozono proveniente de gases de combustão num ambiente estufa está definido em 30 ppm.

Desta forma, por que razão, na produção profissional de flores e vegetais, a atmosfera da estufa é enriquecida com CO₂? Basicamente porque no ambiente de estufa, projectado para manter todos os factores de crescimento no seu nível óptimo, a falta de CO₂ (definida como concentrações abaixo das ambientais, até à data de cerca de 400 ppm) reduz a significativamente a produtividade. A 300 ppm de CO₂, a produtividade média é reduzida em 13% e a 200 ppm de CO₂ a redução média é de cerca de 38%. Com o objectivo de manter o CO₂ a 400 ppm para alimentar a cultura, devido à carga oxidativa presente

no ar da estufa, a concentração óptima de CO₂ é de cerca de 700 ppm, de forma a compensar largamente o “efeito do ozono”. O ar exterior na Holanda (assim como em toda a Europa) não é alternativa para este efeito, uma vez que durante o dia (especialmente de Abril a Novembro) é muito provável que a “média das 7 horas” seja acima dos 35 ppmm de ozono [20][21][47].

Assim como o CO₂, o **ozono de nível terrestre** é absorvido por todas as culturas através dos estômatos. O ozono intra-celular absorvido é convertido em peróxido de hidrogénio (H₂O₂) que age como um sinal oxidativo intra e inter-celular difuso. Este desencadeia mecanismos de retorno de protecção das células os quais incluem a regulação superior da via mitocôndria oxidativa alternativa (AOX). Os electrões que são desviados da sua via oxidativa normal através do citocromo (COX) para a AOX, não vão contribuir para gerar ATP adicional e a sua energia dissipar-se-á em forma de calor. Os mecanismos de retorno protectores de células, tais como o AOX, são normalmente activados após pressão oxidativa proveniente de perturbação metabólica celular apropriada. A compreender-se que os processos metabólicos celulares utilizam funcionalmente transferências de H₂O₂ como sinal para dar um retorno ao processo de actividade oxidativa funcional, torna-se claro que o H₂O₂ proveniente do ozono, o qual é gerado “no lado exterior dos vasos de reacção celulares” e apresentando-se directamente aos sensores de redox, imita o aumento do transbordo oxidativo da actividade funcional celular e desencadeia um retorno negativo tecnicamente desnecessário para os processos oxidativos funcionais das células. Na Crops Advance concluiu-se desta forma que:

- **O ozono de nível terrestre gera um falso sinal de perturbação metabólica.**

A lista de efeitos negativos ocultos é extensa. O H₂O₂ proveniente do ozono de nível terrestre desencadeia “não-funcionalmente”: a redução do conteúdo da clorofila, redução da capacidade e actividade de carboxilação e a regulação superior (up-regulation) da actividade respiratória com eficiência reduzida. Para os electrões que seguem a via AOX, o número final do ATP gerado por O₂ respirado é de 11 a 6. Para os electrões que seguem a via COX, o número final do ATP gerado por O₂ respirado é de 29 a 6. Os electrões que terminam (combinam-se com oxigénio) ao longo da via AOX são apenas eficientes em 38% [51]. A mitocôndria trabalha para manter a geração de ATP à medida das necessidades. Na ocorrência de um regulação superior do AOX, a mitocôndria irá conseqüentemente consumir mais hidratos de carbono para manter as células alimentadas. O aumento do consumo de hidratos de carbono reduz a produção de matéria seca, que é o rendimento. Verifica-se que um aumento de 60 ppmm de ozono de nível terrestre amplia a respiração escura total (“total dark respiration”) na cana-de-açúcar com 24% e em algodão com 29%, principalmente devido ao aumento da regulação superior do AOX [48]. Estudos de simulação em ervas e rosas demonstram que um aumento de 30% na respiração escura total nas folhas e nos ramos está associada a uma redução do rendimento de 25% a 46% [48].

Efeito Memória: Quando o estress oxidativo e a conseqüente regulação superior (up-regulation) do AOX ocorre durante a fase jovem ou de início de desenvolvimento das culturas, a regulação superior (up-regulation) fica definida e fixa para toda a vida provocando uma redução permanente na eficiência respiratória e a conseqüente redução de rendimento (!). Esta situação foi demonstrada pela primeira vez, pela Crops Advance, numa produção profissional de estufa no estado de Minas Gerais - Brasil. As plantas perenes rosa e cravo deram até um factor 4 de variação entre as plantações individuais no seu rendimento “médio de quatro meses” (Janeiro a Abril de 2007). Após 23 plantações individuais de 5000 m² cada, foram agrupadas pelo mês de plantio e a produtividade média do grupo correlacionou-se r²=0.97 com a exposição* média local ao ozono no mês de plantio.

* Expresso tal como a coluna de valores de ozono troposférico, em Dobson Units (DU), do satélite da NASA, e para a localização da plantação [45].

Adicionalmente para o efeito de memória, ao longo de um ciclo completo de um ano, o conteúdo da clorofila das folhas e a matéria seca acumulada, seguiram a tendência inversa do ozono de nível terrestre. Um aumento do ozono troposférico num **factor de 1.6** (de 28 para 45 DU), reduziu em média o conteúdo da clorofila das folhas das rosas num **factor de 1.6** (56 → 35 CCI, 2003 – 2005, n=79) e a matéria seca acumulada na flor do cravo num **factor de 1.6** (2.01 → 1.26 g/flor, Fev 2007 – Fev 2008, n=54). Foi observada uma redução bastante acentuada, tanto no conteúdo da clorofila das folhas como na matéria seca acumulada, no início da época de queima da cana-de-açúcar, no final de Agosto [45] [48].

- **Os valores de ozono de nível terrestre durante a fase juvenil da cultura definem o rendimento máximo alcançável.**

Modelando o aumento do ozono terrestre *versus* alteração do rendimento actual

É portanto esperado que um **aumento** do ozono terrestre reduza ainda mais a captura de carbono e a Eficiência na Utilização de Carbono (CUE), ambos amplificando o efeito um do outro na redução do rendimento.

- Em média é esperado que as culturas tenham os seus rendimentos reduzidos em 0.5% por ppmm de aumento do ozono de nível terrestre (média do 1º mês de plantação) (efeito de memória na CUE)

E adicionalmente

- Em média é esperado que as culturas tenham os seus rendimentos reais reduzidos adicionalmente em 0.5% por ppmm de aumento do ozono de nível terrestre na “média do ciclo de cultura” (influência dinâmica na CUE e na carboxilação)

Para as culturas individuais aplica-se um factor de sensibilidade. Pela ordem de sensibilidade ao ozono:

- | | |
|------------|------|
| • Algodão | 1.6 |
| • Soja | 1.2 |
| • Amendoim | 0.6* |
| • Mandioca | 0.6* |
| • Milho | 0.4 |
| • Sorgo | 0.4 |

* O Amendoim e a (estimativa para a) Mandioca estão agrupados com a Beterraba Sacarina, Batatas, beterraba e Tabaco = 0.6. O Sorgo está agrupado com Milhete, Milho e Arroz = 0.4, o Girassol (estimativa) = 1.2, os Vegetais Frescos em geral = 1.0, o Tomate = 1.4, a Melancia = 3.1, o Lúpulo = 0.9 [21].

3. Subida do CO₂ atmosférico - alteração do rendimento relacionada com a mudança no CO₂ atmosférico

Acima é explicado o porquê de o efeito do aumento do CO₂ no rendimento actual não poder ser adequadamente avaliado de forma separada do ozono de nível terrestre projectado.

Modelando o aumento do CO₂ atmosférico *versus* alteração do rendimento actual

Com base nos resultados de Fiscus [29], na nossa modelação, para cada cultura, é combinado o aumento do CO₂ relativamente ao “aumento do CO₂ para um efeito máximo no rendimento” com o valor projectado para o ozono terrestre e com o factor de sensibilidade das culturas ao ozono, para projectar o efeito no aumento de rendimento derivado do aumento de CO₂ atmosférico, por exemplo originando um rendimento:

- Para um factor de sensibilidade = 1, para 50, 60 e 70 ppmm de ozono de nível terrestre, os aumentos de rendimentos projectados são de 0.074%, 0.096% e 0.117% respectivamente para cada 1 ppm de aumento de CO₂.
- A relação entre o ozono terrestre (em ppmm // O_{3 ppmm}) e o aumento relativo esperado do rendimento (como um fracção // dY_{rel}) por ppm de aumento de CO₂, é descrita pela função:
- $dY_{rel} = 363^{-1} \times ([0.0078 \times O_{3 ppmm} + 0.88] - 1)$

O efeito do CO₂ na inibição do ozono e na melhoria do rendimento assume-se como sendo linear [27][28][29]. Nos nossos cálculos nós assumimos que isto está correcto para um aumento do CO₂ atmosférico de 363 ppm ou 730 ppm de CO₂ atmosférico. Em níveis crescentes de CO₂ o efeito benéfico tem um limite [46]. A ervilha, uma cultura sensível ao CO₂ mostra um amarelamento da folha a 750 ppm de CO₂ [46]. O CO₂ atmosférico e o ozono terrestre têm efeitos opostos na duração das fases de desenvolvimento da cultura e no ciclo total da cultura [36][37][38]. Na Soja, um nível de 550 *versus* 372 ppm de CO₂ atrasou o desenvolvimento reprodutivo e maturação final em 3 dias, embora o recheio da semente tenha sido acelerado [36]. Ao longo de três épocas de crescimento o rendimento das sementes aumentou em 15% a 16%, principalmente devido à supressão do ozono. Um aumento do ozono terrestre em 13 ppmm, por outro lado, encurtou a época de crescimento e reduziu o rendimento das sementes (peso da semente e número de vagens) em 15% [36]. O efeito na duração do ciclo de cultura e no rendimento real está incorporado nos efeitos projectados do aumento do CO₂ e do ozono de nível terrestre.

Conclusões

O resumo abaixo ilustra o “Impacto das mudanças climáticas de meados do século nos rendimentos das culturas em Moçambique: Efeitos da subida da temperatura, do ozono terrestre e do CO₂ atmosférico: uma abordagem por camadas”.

Cultura	Factor de Sensibilidade de ao Ozono	Surface Air Temperature +1.8 a 2.4 °C			Ozono no Solo +15 a 30 ppmm			CO ₂ Atmosférico +178 ppm (550 ppm)			Soma		
		+1.8 °C	+2.1 °C	+2.4 °C	+15 ppmm O ₃	+23 ppmm O ₃	+30 ppmm O ₃	+15 ppmm O ₃	+23 ppmm O ₃	+30 ppmm O ₃	Min Total	Med total	Max Total
Algodão	1.6	-9%	-11%	-13%	-24%	-37%	-48%	+21%	+27%	+33%	-12%	-21%	-28%
Soja	1.2	-9%	-11%	-13%	-18%	-28%	-36%	+16%	+20%	+25%	-11%	-19%	-24%
Amendoim	0.6	-9%	-10%	-12%	-9%	-14%	-18%	+8%	+10%	+12%	-10%	-14%	-18%
Mandioca	0.6	+5%	+6%	+7%	-9%	-14%	-18%	+8%	+10%	+12%	+4%	+2%	+1%
Milho	0.4	-10%	-13%	-15%	-6%	-9%	-12%	+5%	+7%	+8%	-11%	-15%	-19%
Sorgo	0.4	-8%	-10%	-11%	-6%	-9%	-12%	+5%	+7%	+8%	-9%	-12%	-15%

Tabela 3. Resumo: Impacto das mudanças climáticas de meados do século nos rendimentos das culturas em Moçambique: Efeitos da subida da temperatura, do ozono terrestre e do CO₂ atmosférico: uma abordagem por camadas.

Apesar de o Ozono de nível terrestre e o CO₂ atmosférico terem a sua coluna ou “camada” independente, tornou-se claro que estes dois factores são interdependentes no que respeita ao seu efeito no rendimento das culturas. O efeito de “alimentação” ou, melhor ainda, de “compensação de ozono” de + 178 ppm de CO₂ no rendimento é portanto apresentado por aumento mínimo, médio e máximo esperado do ozono de nível terrestre. As figuras mostram que a subida mínima projectada de +15 ppmm de ozono no solo para meados do século anula desde já o efeito do aumento de 178 ppm de CO₂ no rendimento. Esta situação é atormentante. A noção ou esperança de que níveis crescentes de CO₂ tornarão bons os efeitos negativos das mudanças climáticas é infundada. Os efeitos negativos no rendimento das culturas de uma subida no nível do ozono terrestre acima de +15 ppmm juntamente com o efeito total negativo da subida na temperatura não são compensados pela subida esperada do nível atmosférico de CO₂.

Se aceitarmos que o resultado líquido da fotossíntese e da respiração como o processo responsável por tornar a nossa atmosfera terrestre aeróbica e por mantê-la nos seus níveis actuais, poderá esperar-se que a perturbação da eficiência na utilização de carbono reverta este equilíbrio dinâmico. Apesar de podermos graficamente “observar” uma relação entre a produção antropogénica de CO₂ e a subida do CO₂ atmosférico, o elo causal poderá ser a alimentação oxidativa antropogénica da atmosfera associada responsável pela redução da eficiência da utilização do carbono da vegetação.

Por outras palavras, o CO₂ atmosférico aumenta sobretudo devido a uma perturbação na eficiência na utilização do carbono.

Recomendações

No geral, pode afirmar-se que dependendo de um entendimento adequado e atempado dos factos e de uma definição racional das prioridades de acção, a alimentação cumulativa da atmosfera, especialmente com NO_x, NMVOC, CH₄ and CO como os precursores do ozono que causam o stress oxidativo na vegetação terrestre incluindo culturas, pode ser mantido sob controlo [31].

- 1) Para Moçambique e os países vizinhos o foco deverá ser na redução de NO_x, parar processos *descontrolados* de combustão-quente, principalmente a queima de biomassa.

Em paralelo, deverão tomar-se medidas que ajudem a manter ou mesmo aumentar o rendimento sob as circunstâncias das mudanças climáticas projectadas. Tal significa p.e. a selecção de culturas, juntamente com medidas culturais que aumentem a tolerância das culturas em relação ao estresse oxidativo

- 2) Dado que o stress oxidativo total é a soma das componentes individuais responsáveis, incluindo o ozono no solo, a mandioca é um exemplo de como a mitigação do estresse oxidativo de temperaturas baixas poderá resultar numa subida do rendimento real.

Recomendação: Mitigação do estresse oxidativo de baixas temperaturas (p.e. Mandioca).

- 3) Uma mudança de agricultura de sequeiro para uma agricultura de irrigação é uma medida que reduz o estresse oxidativo da seca, aumentando a tolerância a outras componentes do estresse oxidativo.

Recomendação: mitigação do estresse oxidativo derivado da seca: mudança de agricultura de sequeiro para agricultura de irrigação (todas as culturas)

- 4) Dado que as culturas são especificamente sensíveis ao estresse oxidativo durante a sua fase juvenil, a mitigação de ocorrências de elevado ozono de, por exemplo, períodos de queima de biomassa em grande escala poderão resultar numa conservação significativa do seu potencial de rendimento.

Recomendação: mitigação do estresse oxidativo do ozono: Plantar cedo, antes do início da estação das queimadas (todas as culturas).

- 5) Uma mudança de agricultura de sequeiro para uma agricultura de irrigação tornará possível seleccionar estações com baixo ozono para o plantio que noutras circunstâncias seriam limitadas devido à escassez de água.

Recomendação: Mitigação do *stress* oxidativo do ozono: passar de um agricultura de sequeiro para uma agricultura de irrigação escolhendo uma estação com baixo nível de ozono para o plantio (todas as culturas).

- 6) Na nutrição das plantas bem como na nutrição humana existe um grupo específico combinado de micro-elementos que incluem, mas que não se limitam ao zinco, selénio e enxofre, associados com a capacidade anti-oxidante. Sob as circunstâncias previstas de mudanças climáticas, torna-se cada vez mais crítico assegurar os níveis adequados destes elementos. As

análises dos solos deverão incluir estes elementos e deverá ser dada atenção sobre como interpretar e traduzir estes números em programas específicos de fertilizantes por áreas.

Recomendação: as análises ao solo deverão incluir elementos relacionados com a capacidade anti-oxidante (incluindo mas não se limitando a Zn, Se, S) e deverá ser dada atenção a como interpretar e traduzir os números em correcções de solo específicas por área e a programas de fertilizantes (todas as culturas).

Nota: Deverá também entender-se que as culturas não só providenciam alimentos num sentido calórico mas são também o começo da cadeia alimentar para assegurar disponibilidade suficiente de elementos essenciais a montante da cadeia, deste modo prevenindo perturbações associadas com deficiências destes elementos. A UNICEF afirma que: “A deficiência de Zinco foi identificada como um problema significativo de saúde pública contribuindo para a morte de cerca de 450 mil crianças por ano, e aproximadamente 800 mil mortes no geral. Em todo o mundo, cerca de 2 mil milhões de pessoas estão sob o risco de deficiência de zinco.” [49].

Bibliografia

1. Asante, K. *et al.* INGC, 2009. “Main report: INGC Climate Change Report: Study on the Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique” INGC, Mozambique.
2. Taiz, L. & Eduardo Zeiger. 2002. “Fisiologia Vegetal”, 3a edição, Art Med, Porto Alegre, Brasil.
3. Penner – Hahn, J.E. 1998. “Structural characterization of the Mn site in the photosynthetic oxygen-evolving complex”, *Structure and Bonding*, vol.90, p. 1 – 36.
4. Veerman, A. 2003. “Teelt handleiding zetmeel aardappelen”, Agrobiokon / PPO-agv, the Netherlands.
5. Wu, Chaoyang *et al.* 2008. “Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: modeling and validation”, *Agriculture and forest meteorology*, vol.158, p. 1230 – 1241.
6. Qadir, G *et al.* 2007. “Growing degree days and yield relationship in sunflower (*Helianthus annuus* L.)”, *International Journal of Agriculture & Biology*, vol.9, no.4, p. 564 – 568.
7. Pedro Júnior, M.J. *et al.* 2004. “Base-temperature, growing degree days and crop growth cycle duration of triticale cultivars”, *Bragantia*, Campinas, vol.63, p. 447 – 453.
8. Klepper, B. *et al.* 1998. “The physiological life cycle of wheat: its use in breeding and crop management”, *Euphytica*, vol.100, p. 341 – 347.
9. Yield potential prediction equations, NUEweb, Oklahoma State University, Department of plant and soil sciences, <http://www.nue.okstate.edu/>.
10. Martin, K.L. *et al.* 2005. “Plant-to-plant variability in corn production”, *Agronomy journal*, vol.97, p. 1603 – 1611.
11. Weier, John & David Heming, 2011. “Measuring vegetation (NDVI & EVI)”, NASA online publication, <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>.
12. Wikipedia. “Normalized Difference Vegetation Index”, http://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_Difference_Vegetation_Index.
13. Bakker, J.C. *et al.* 1995. “Greenhouse climate control, an integrated approach”, Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands.
14. Kumar, A. *et al.* 2008. “Growth and Yield response of Soybean (*Glycine max.* L.) in relation to Temperature, Photoperiod and sunshine duration at Anand, Gujarat, India”, *American-Eurasian Journal of Agronomy*, vol.1, p. 45 – 50.
15. Diepen, van K *et al.* 2011. “Methodology of the MARS crop yield forecasting system - vol 2 - agrometeorological modelling, processing and analysis”, Joint Research Centre, European commission.
16. EAA, 2008. “Impacts of Europe’s changing climate – 2008 indicator based assessment” chapters 5.7 to 9 - European Environment Agency (EEA).

17. Lobell, D.B. & M. B. Burke, 2008. "Why are agricultural impacts of climate change so uncertain? The importance of temperature relative to precipitation", *Environmental Research Letters*, 3 (2008) 034007.
18. Schenkel, W. & D.B. Lobell, 2010. "Robust negative impact of climate change on African agriculture", *Environmental Research Letters*, 5 (2010) 014010.
19. Florez-Sarasa, I.D. *et al.* 2007. "Contribution of the cytochrome and alternative pathways to growth respiration and maintenance respiration in *Arabidopsis thaliana*", *Physiologia Plantarum* vol.129, p. 143 – 151.
20. EEA, 2009. "Assessment of ground-level ozone in EEA member countries, with focus on long-term trends", European Environment Agency (EEA), technical report No.7.
21. Holland, M. *et al.* 2002. "Economic assessment of crop yield losses from ozone exposure", the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) International Cooperative programme on vegetation, EPG 1/3/170.
22. Fuhrer, F. 2009. "Ozone risk for crops and pastures in present and future climates", *Naturwissenschaften*, 96, p. 173 – 194.
23. Kaleem, S. *et al.* 2011. "Response of sunflower to environmental disparity", *Nature and Science*, vol.9, No.2, p. 73 – 81.
24. Akparobi, S.O., 2009. "Screening of low temperature tolerance on cassava genotypes according to stomatal conductance", *African Journal of Plant Science*, vol.3, No.5, p. 117-121.
25. Bright, J. *et al.* 2006. "ABA-induced NO generation and stomatal closure in *Arabidopsis* are dependant on H₂O₂ synthesis", *The Plant Journal*, vol.45, p. 113-122.
26. Weiss, E.A., 2000. "Oilseed crops, second edition", *World agricultural series*, Blackwell Science.
27. Fiscus, E.L. *et al.* 2001. "Unconsidered environmental stresses may cause overestimation of the CO₂ fertilization effect", paper presented at the 12th international congress on photosynthesis, Brisbane, Australia.
28. Fiscus, E.L. *et al.* 2002. "The impact of ozone and other limitations on the crop productivity response to CO₂", *Technology*, vol.8, p. 181 – 192.
29. Fiscus, E.L. *et al.* 2005. "Crop responses to ozone: uptake, modes of action, carbon assimilation and partitioning", *Plant, Cell and Environment*, vol.28, p. 997 – 1011.
30. Ravi, V. *et al.* 2008. "The impact of climate change on photosynthesis and productivity of cassava and sweet potato: effect of rise in temperature, CO₂ and UV-B radiation: an overview", *Journal of Root Crops*, Indian Society for Root Crops, vol.34, no.2, p. 95 – 107.
31. Werf, van der A. *et al.* 2011. "The influence of ozone on the respiratory alternative oxidative pathway and carbon use efficiency, evaluation of the findings of Crops Advance", joint effort of the Innovation platform of the Dutch ministry of Economic affairs, Agriculture and Innovation and Plant Research International, Wageningen University and research Centre, the Netherlands, Report 391.
32. Bugbee, B. *et al.* 2007. http://www.usu.edu/cpl/research_CUE.htm#nighttemp, USU Crop physiology laboratory, Utah State University, The United States.
33. Moreno, J. *et al.* 2008. "Redox modulation of Rubisco conformation and activity through its cysteine residues", *Journal of experimental Botany*, vol.59, no.7, p. 1605 – 1614.
34. Saze, H. *et al.* 2001. "Thioredoxin-mediated reductive activation of a protein kinase for the regulatory phosphorylation of C4-form phosphoenolpyruvate carboxylase from maize", *Plant Cell Physiology*, vol.42, no.12, p. 1295 – 1302.
35. Azevedo, R.A. *et al.* 2002. "Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley", *Physiologia Plantarum*, vol.104, no.2, p. 280 – 292.
36. Ort, D.R. *et al.* 2006. "SoyFACE: the effects and interactions of elevated [CO₂] and [O₃] on soybean", *Ecological studies*, vol.187.
37. Castro, J.C. *et al.* 2009. "Elevated CO₂ significantly delays reproductive development of soybean under Free-Air Concentration Enrichment (FACE)", *Journal of experimental botany*, vol.60, no.10, p. 2945 – 2951.
38. Yang, L. *et al.* 2006. "Seasonal changes in the effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on dry matter production and distribution of rice (*Oryza sativa* L.)", *Field crops research*, vol.98, p. 12 – 19.

39. Liochev, S.I. *et al.* 2003. "CO₂, not HCO₃⁻, facilitates oxidation by Cu,Zn superoxide dismutase plus H₂O₂", PNAS, vol.101, no.3, p. 743 – 744.
40. Carvalho, L.J.C.B. *et al.* 2000. "Cassava Biotechnology, IV International Scientific Meeting – CBN", EMBRAP, CENARGEN & CBN, Brasília, Brasil.
41. Hu, H. *et al.* 2010. "Carbonic anhydrases are upstream regulators in guard cells of CO₂-controlled stomatal movements", Nat Cell Biol., vol.12, no.1, p. – 87 - 104.
42. Babaleye, T. "Cassava, Africa's food security crop", on-line Worldbank publication.
43. Amann, M. *et al.* 1998. "Economic evaluation of air quality targets for tropospheric ozone – part C: economic benefit assesment", Final report, European Commission.
44. Jagger, K.W. *et al.* 2010. "Possible changes to arable crop yields by 2050", Phil. Trans. Royal Society B, vol 365, p. 2835 – 2851.
45. Holman, E.H.A. 2010. "Exposure of crops to ground level ozone during their ontogenetic phase permanently up-regulates the alternative pathway respiration (APR), limiting carbon use efficiency (CUE), carbon sequestration and yield potential. From circumstantial evidence to proof of principle", Crops Advance, internal publication.
46. PBG publication, 1999. "CO₂ in de glastuinbouw", research station for floriculture and glasshouse vegetables, Aalsmeer/Naaldwijk, the Netherlands.
47. Mooibroek, D. *et al.* 2010. "Jaaroverzicht luchtkwaliteit 2009", Rapport 680704011/2010, RIVM, The Netherlands.
48. Werf, A van der, Tom Dueck & Jan Snel 2011. "De invloed van ozon op de alternatieve ademhaling en carbon use efficiency", rapport 391, Plant Research International, Wageningen UR, The Netherlands. Peer review commissioned by the Dutch Ministry of Economics, Agriculture and Innovation (EL&I).
49. UNICEF; http://www.unicef.org/nutrition/index_51215.html