



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

**Avaliação do potencial para a produção de tomate em
ambiente protegido em Moçambique**

Guerra Joaquim Mecuve Govanhica

Orientador(es) | Fátima de Jesus Folgôa Baptista

Évora 2019





Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

**Avaliação do potencial para a produção de tomate em
ambiente protegido em Moçambique**

Guerra Joaquim Mecuve Govanhica

Orientador(es) | **Fátima de Jesus Folgôa Baptista**

Évora 2019



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

- Presidente | Vasco Fitas da Cruz (Universidade de Évora)
- Vogal | José Rafael Marques da Silva (Universidade de Évora)
- Vogal-orientador | Fátima de Jesus Folgôa Baptista (Universidade de Évora)

EPIGRAFE

“Se não olharmos para agricultura sustentável em Africa, vamos continuar com graves problemas na segurança alimentar e malnutrição”

Josefa Sacko

DEDICATÓRIA

O presente trabalho de dissertação dedico aos meus pais Antonio Govanhica e Rute China Joaquim, que tudo fizeram para minha educação e formação; a toda família em geral; dedico também a todos que deram o seu contributo na elaboração do mesmo; aos meus Professores, colegas e amigos; dedicatória especial a minha esposa Dora Domingos Rodrigues e minha filha Jully Gabriela Govanhica, que apesar da distancia sempre me apoiaram durante o curso.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer a Deus pela saúde e vida. Aos meus pais António Govanhica e Rute China Joaquim; agradecer toda família pelo apoio e força, meus irmãos Maria, Jorge, Alberto, Julieta, Carlitos e Rosália.

A minhas cunhadas Maria e Stela; cunhados Mendonça, Guacha, Zeca, Mário. Aos meus colegas que durante o curso sempre me apoiaram e incentivaram-me a não baixar a cabeça nos maus momentos. Agradecer ao Senhor Victor e Dona Alice os meus Senhorios que sempre proporcionaram condições de alojamento e pela amizade.

Agradecimento especial a orientadora Prof. Doutora Fátima de Jesus Folgôa Baptista por ter aceite o pedido de orientar o trabalho e tê-lo feito com toda dedicação e zelo; ao diretor do Curso Prof. Doutor Vasco Fitas da Cruz pela ajuda e ao Prof. Luís Fernandes pela ajuda na componente da análise económica do trabalho.

Muito obrigado a todos.

RESUMO

Em Moçambique a maioria das culturas hortícolas, e em particular a cultura do tomate, apresentam baixos níveis de produtividade. Existe escassez deste produto no mercado principalmente nos meses de verão, em particular em dezembro na quadra festiva do natal, quando a procura é grande. A produção de tomate apresenta uma sazonalidade muito marcada, caracterizada por maior produção em períodos de clima favorável, ou seja, na estação fria em que as temperaturas são amenas.

O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar o potencial de produção da cultura de tomate em Moçambique em 4 regiões: Maputo, Beira, Nampula e Chimoio.

Os resultados obtidos mediante recurso a modelos de balanço de energia, balanço de massa e modelos de previsão da produção mostraram que a produção de tomate em ambiente protegido tem elevado potencial em Moçambique.

Com o sistema de produção sob coberto, usando rede de sombra, o nível de radiação solar dentro da construção é menor e estimou-se uma redução na temperatura do ar e aumento da humidade relativa. A produção estimada indica um potencial de alta produtividade da cultura de tomate, usando este recurso simples de controlo ambiental. Os indicadores económicos mostram que a produção da cultura de tomate sob coberto é economicamente viável nas regiões selecionadas.

Palavras-chaves: Moçambique, cultivo sob coberto, tomate, rede de sombreamento

ABSTRACT

“Evaluation of the potential for producing vegetables in protected cultivation in Mozambique”

In Mozambique most horticultural crops, and in particular the tomato crop, have low levels of productivity. There is a shortage of this product on the market especially in the summer, particularly in December when demand is high during Christmas and New Year celebrations. Tomato production is characterised by a very marked seasonality, with the production concentrate in the favourable climate period, that is, during the “cold” season when air temperature is mild.

The objective of this work was to evaluate the potential of tomato crop production in Mozambique in 4 regions: Maputo, Beira, Nampula and Chimoio.

The results obtained using energy and mass balance models and production models showed that tomato production in protected environment has high potential in Mozambique.

Tomato cultivation in protected environment, using shading screens, allows to reduce solar radiation within the building and it was estimated a reduction in air temperature and an increase of relative humidity. Estimated yield indicates a high yield potential of tomato crop using this simple environmental control technique. Economic indicators showed that protected tomato crop cultivation is economically viable in the selected regions.

Keywords: Mozambique, protected cultivation, tomato crop, shading screens

SIGLAS E ABREVIATURAS

BES	Banco Espírito Santo
BOM	Banco de Oportunidade de Moçambique
CAP	Censo agropecuário
EDNER	Estratégia de desenvolvimento de energias novas e renováveis
FAO	Food and Agriculture Organization
FIPAG	Fundo de investimento e património de abastecimento de água
GRM	Governo da República de Moçambique
IAI	Inquérito agrário integrado
INE	Instituto Nacional de Estatística
ITC	International Trade Centre
MASA	Ministério da Agricultura e Segurança Alimentar
MICOA	Ministério de Coordenação da Ação Ambiental
MINAG	Antigo Ministério da Agricultura
PNISA	Plano Nacional de Investimento do Sector Agrário
SDAEB	Serviços distritais de atividades económicas da Beira
SDAEC	Serviços distritais de atividades económicas de Chimoio
SDAEM	Serviços distritais de atividades económicas de Maputo
SDAEN	Serviços distritais de atividades económicas de Nampula
TIA	Trabalho de Inquérito Agrário
USAID	Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
WFP	World Food Programme

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de localização de Moçambique	1
Figura 2. Pluviosidade media anual de 1982-2017	3
Figura 3. Temperatura média mínima mensal (a) e temperatura média máxima mensal (b).....	5
Figura 4. Espectro eletromagnético.....	18
Figura 5. (a) tecido liso ou textura italiana; (b) tecido inglês ou textura de Leno; (c) Malha ou textura Raschel	31
Figura 6. Localização geográfica das regiões seleccionadas para o trabalho,	45
Figura 7. Infraestrutura de cultivo coberto do instituto agrário de Chimoio.....	48

Índice de tabelas

Tabela 1. Principais hortícolas produzidas em Moçambique	9
Tabela 2. Importância relativa das hortícolas em função da área e consumo em Moçambique	10
Tabela 3. Produtividade de tomate produzido em ar livre nas principais regiões de Moçambique	11
Tabela 4. Nível de importação de tomate a partir da África do Sul	13
Tabela 5. Produção de tomate nos últimos anos em Moçambique.....	13
Tabela 6. Etapas de desenvolvimento da cultura de tomate	21
Tabela 7. Coeficiente de equação 7 a baixa e alta pressão de CO ₂	42
Tabela 8. Dados de caracterização climática da localidade da Beira.	46
Tabela 9. Dados de caracterização climática da localidade de Nampula	46
Tabela 10. Dados de caracterização climática da localidade de Maputo	47
Tabela 11. Dados de caracterização climática da localidade de Chimoio.....	47
Tabela 12. Dimensões da infraestrutura de cultivo protegido do Instituto Agrário de Chimoio	48
Tabela 13. Diferenças de temperatura do ar (temperatura exterior–temperatura interior estimada).....	57
Tabela 14. Valores médios para a radiação solar global, velocidade do vento, caudal de ventilação e diferença de temperatura calculada para as regiões em estudo	58
Tabela 15. Humidade relativa do ar interior estimada para regiões em estudo.....	68
Tabela 16. Produção estimada de tomate no sistema de cultivo protegido para as regiões em estudo.....	69

Tabela 17. Resumo dos valores médios para a radiação solar global no interior da construção com rede sombra.....	70
Tabela 18. Resultado dos indicadores de análise económica	70
Tabela 19. Custo de produção por unidade produzida para o tomate em Moçambique.....	71

Índice de quadros

Quadro 1. Estações de ano e calendário de produção de tomate em Moçambique	12
Quadro 2. Temperaturas críticas da cultura de tomate	20
Quadro 3. Consequências de excesso e carência de humidade no interior de construção de cultivo coberto.....	22

Índice de gráficos

Gráfico 1. Perfil de pluviosidade sazonal de longo prazo (36 anos, 1982 a 2017)	2
Gráfico 2. Temperaturas médias máximas e mínimas de Moçambique	4
Gráfico 3. Temperatura do ar interior estimada e temperatura do ar exterior para as regiões estudadas. (a) Beira, (b) Chimoio, (c) Maputo, (d) Nampula.....	60
Gráfico 4. Diferença de temperatura estimada em função do caudal de ventilação estimado para as 4 regiões	63
Gráfico 5. Diferença de temperatura estimada em função do caudal de ventilação.....	64
Gráfico 6. Humidade relativa do ar interior estimada e humidade relativa do ar exterior para as regiões estudadas. (a) Beira, (b) Chimoio, (c) Maputo, (d) Nampula	67

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento e caracterização da produção de hortícolas em Moçambique	1
1.2 Apresentação do problema e objetivos do estudo	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Principais fatores climáticos que influenciam a produção sob coberto.....	16
2.1.1 Radiação Solar.....	17
2.1.2 Temperatura do ar.....	19
2.1.3 Humidade do ar	21
2.1.4 Dióxido de carbono	23
2.2 Sistemas de Climatização	23
2.2.1 Ventilação	24
2.2.2 Sombreamento	27
2.2.3 Arrefecimento	34
2.3 Modelos de balanço térmico e de massa	35
2.4 Modelos de previsão de produção para culturas hortícolas	38
2.4.1 Modelo TOMGRO	39
2.4.2 Modelo TOMSEED.....	40
2.4.3 Modelo de Challa e Bakker	41
2.5 Análise de investimento de projetos agrícola.....	42

3. MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1. Localização geográfica das regiões selecionadas	45
3.2 Caracterização climática das regiões selecionadas	46
3.3 Exigências climáticas da cultura do tomate	47
3.4 Caracterização da construção	48
3.5 Metodologia de cálculo	49
3.5.1. Balanço energético e Balanço de massa	49
3.5.2 Previsão da produção	52
3.5.3 Análise económica	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1 Temperatura do ar	57
4.2 Humidade relativa do ar	64
4.3 Produção estimada	68
4.4 Análise económico-financeira	70
5. CONCLUSÕES	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e caracterização da produção de hortícolas em Moçambique

Moçambique situa-se na faixa sul-oriental do Continente Africano, entre os paralelos 10°27' e 26°52' de latitude Sul e entre os meridianos 30°12' e 40°51' longitude Este. A Norte limita com a Tanzânia; a Oeste com o Malawi, Zâmbia, Zimbabwe e Swazilândia; e a Sul com a África do Sul (fig. 1). Toda a faixa Este é banhada pelo Oceano Índico numa extensão de 2.470 km (Hoguane, 2007). A superfície continental é de 786.380 km² e esta área corresponde a cerca de 2,6% da superfície do continente africano que é de aproximadamente 30 milhões de km² (MICOA, 2007).

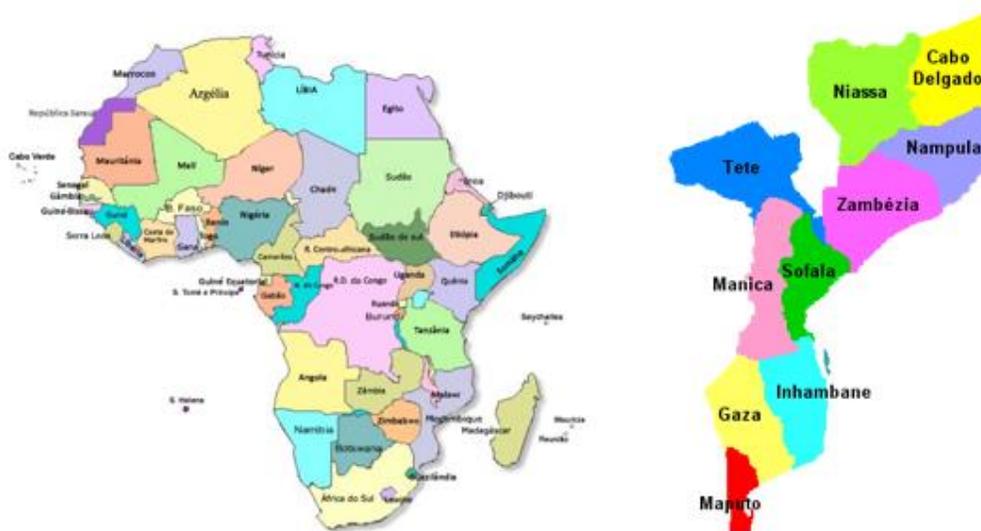


Figura 1. Mapa de localização de Moçambique

Fonte: (USDA, 2015)

A geografia de Moçambique é caracterizada por planícies ao longo das regiões costeiras, mas à medida que se caminha para o interior e zona norte do país, observa-se um aumento de altitude, alternando planícies, planaltos e montanhas. A altitude média é de 370 m, existe uma clara distinção entre a região sul do Rio Save, com uma altitude média de apenas 120 m com a região a norte do Rio Save que apresenta uma altitude média de 435 m (MICOA, 2007).

Em relação à divisão político-territorial de acordo com a Constituição da República de Moçambique, as unidades político-administrativas regionais designam-se por províncias, distritos, postos administrativos e localidades. Estas unidades territoriais representam parcelas de divisão administrativa estatal, dividindo-se em 3 regiões, sul constituída pelas Províncias de Maputo, Maputo-cidade, Inhambane, Gaza; Centro, pelas províncias Tete, Manica, Sofala e Zambézia e Norte pelas províncias Nampula, Cabo Delgado e Niassa. O país é constituído por 11 Províncias (Muchangos, 1999). Em termos demográficos, o país tem 27.909.798 de habitantes, sendo as Províncias de Nampula na zona norte, a mais populosa e Zambézia na zona centro, a segunda mais populosa com 5.758.920 e 5.164.732 de habitantes, respetivamente. Importa referir que cerca de 34 % da população Moçambicana vive na zona urbana e 66 % na zona rural (INE, 2019).

O clima de Moçambique é tropical, caracterizado por duas estações bem distintas: uma estação fria e seca, de maio a setembro e outra quente e húmida entre outubro e abril. O nível de precipitação varia consideravelmente durante o ano, com 60-80% da precipitação anual caindo no período de dezembro a março apesar de WFP (2015) através do estudo da análise do clima de Moçambique, concluir que a maior parte da precipitação se concentra em novembro e abril (Gráfico 1). Nas províncias do interior a pluviosidade limita-se ao período de outubro a maio, mas nas províncias do litoral pode ocorrer pluviosidade significativa até agosto.

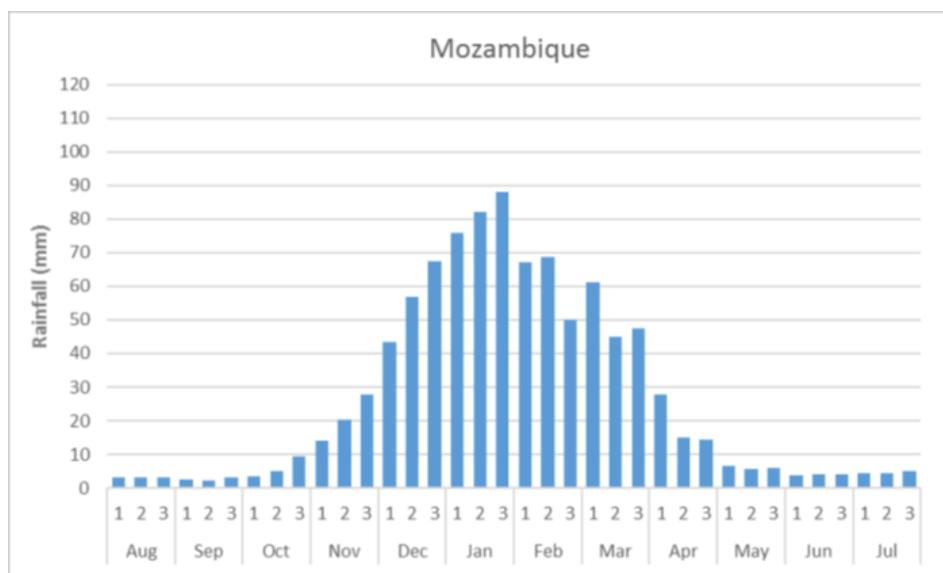


Gráfico 1. Perfil de pluviosidade sazonal de longo prazo (36 anos, 1982 a 2017)

Fonte: (WFP, 2015)

A precipitação média anual varia de mais de 1000 mm no Norte de Moçambique a aproximadamente 500 mm no Sul conforme Hogueane (2007) e de acordo com WFP (2015) conforme fig. 2. As zonas de menor pluviosidade incluem as províncias do Sul: Maputo, Gaza, e Inhambane, bem como a metade da zona sul de Tete. Na zona oeste de Gaza, a pluviosidade é mais fraca, com quantidade sazonal de cerca de 500 mm. As zonas de elevada pluviosidade incluem quatro províncias, três do Norte e uma do centro, Cabo Delgado, Niassa, Nampula e Zambézia respetivamente (Banco Mundial-AFTW, 2007; WFP, 2015).

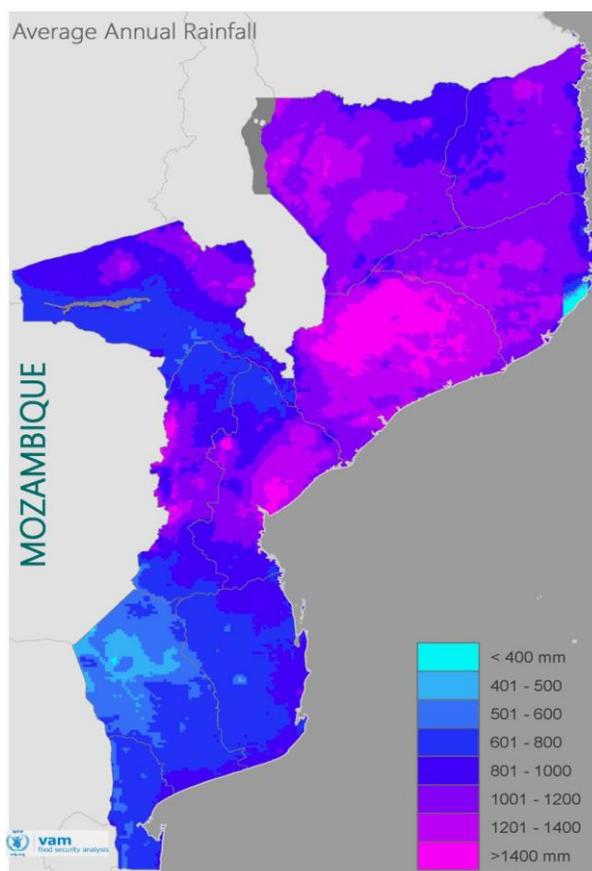


Figura 2. Pluviosidade media anual de 1982-2017

Fonte: (WFP, 2015)

A temperatura média do ar, em geral varia entre 25° C a 27 °C no verão e 20 °C a 23 °C no inverno (Hogueane, 2007; FAO & GRM, 2009). O estudo realizado em Moçambique pelo WFP (2015), baseado na análise de registos de médio prazo (36 anos, 1982 a 2017) revelou temperatura média das máximas e das mínimas (gráfico 2) para todo o país, apresentando valores mais elevados

na metade sul da província de Tete. Outras zonas mais quentes incluem a costa norte e a zona ocidental da província de Gaza, a temperatura mínima em evidência na figura 4(a) tem padrão diferente com um gradiente claro de temperaturas decrescentes da costa para o interior.

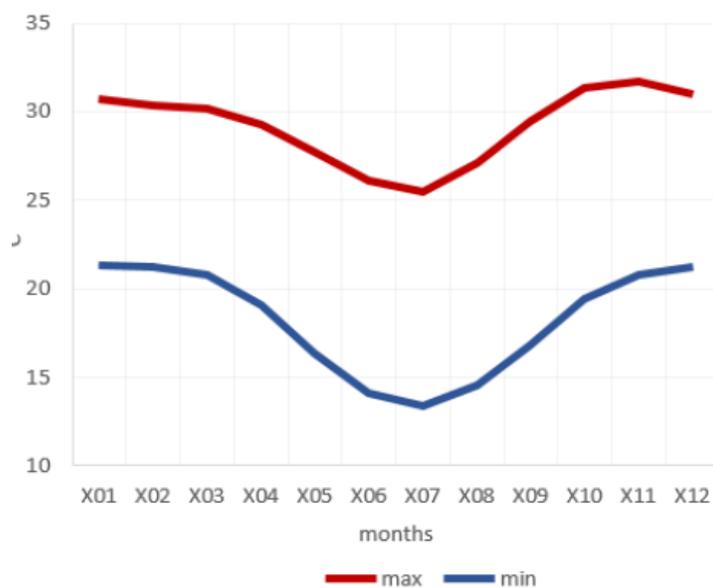


Gráfico 2. Temperaturas médias máximas e mínimas de Moçambique

Fonte: (WFP, 2015)

As temperaturas mínimas mais elevadas podem ser observadas ao longo da costa norte, enquanto as mais baixas se encontram na província de Gaza localizada na zona sul do país conforme ilustrado na figura 3(a) de temperatura média mínima mensal e 3(b) média máxima mensal. Esta região tem amplitude de temperatura mais alargada no país. Segundo WFP (2015) o país tem um perfil de temperatura sazonal simples com a mínima em julho (inverno) e o pico em novembro e dezembro para a temperatura máxima.

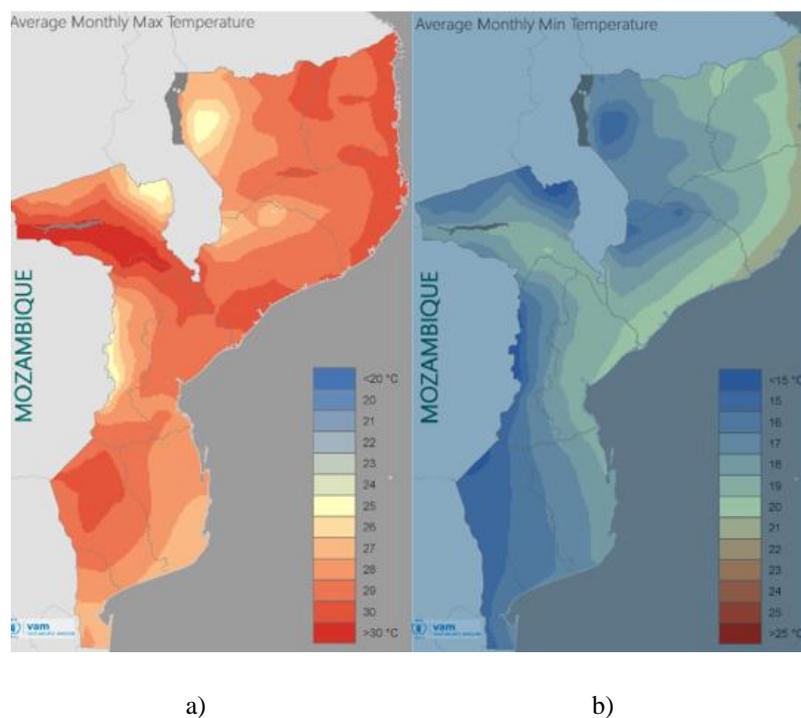


Figura 3. Temperatura média mínima mensal (a) e temperatura média máxima mensal (b)

Fonte: (WFP, 2015)

Além do clima, a fertilidade do solo é outro importante fator que determina a produtividade agrícola em Moçambique, e segundo este fator o país pode ser dividido em duas grandes regiões: a zona sul do Save, onde os solos são relativamente férteis, mas as condições climáticas não são favoráveis, e a zona norte onde o clima é favorável, mas os solos são na maioria dos casos deficientes em nitrogénio, fósforo, silício e ocasionalmente em potássio. As zonas mais férteis são os vales dos rios, as zonas costeiras e as regiões montanhosas são pouco férteis (Hoguane, 2007). O país apresenta um número considerável de rios internacionais, como o rio Zambeze na região central e uma parte do rio Limpopo no sul do país. Estes dois rios fornecem recursos hídricos estimados em um volume anual de 216 km³, 46% dos quais são gerados internamente (USAID & MANAGE, 2014). A principal fonte de água em Moçambique é a água de superfície. No entanto, a água subterrânea é utilizada em larga escala em vários centros urbanos para abastecimento de água potável. Furos de perfuração manuais e poços rasos são utilizados em todo o país, e a principal fonte de água potável nas áreas rurais (FAO, 2005). Todas as cidades capitais de província estão cobertas pelo sistema de abastecimento de água da rede pública, destacando-se as cidades de Maputo, Beira, Nampula e Chimoio (Doris, 2014; FIPAG, 2017).

Dentre os países do Sul de África, Moçambique é um dos países com os níveis mais baixos de consumo de energia, com cerca de 80% do consumo energético do país baseado em biomassa (lenha e carvão) e cerca de 17% da população com acesso a energia elétrica. Em 2010, a rede elétrica nacional abastecia cerca de 17% da população Moçambicana e cobre 95 dos 128 distritos do país. A energia hídrica constitui a principal fonte de geração de eletricidade (EDNER, 2011).

A cobertura distrital pela Rede Nacional de Energia (RNA) elétrica aumentou gradualmente ao longo dos anos, passando de 95 distritos eletrificados em 2010 para 120 distritos em 2013. Os principais centros de consumo hortícola como as cidades da Beira, Maputo, Nampula e Chimoio, fazem parte dos distritos com a cobertura da rede nacional de energia.

O setor agropecuário Moçambicano tem grande relevância social e económica como fonte de alimentos, de trabalho, de renda e na ocupação do território nacional (Bolfé et al., 2011). Caracteriza-se pela existência de pequenos produtores, apesar de existirem grandes empresas no sector do açúcar. As culturas hortícolas correspondem a uma pequena parte das culturas alimentares produzidas em Moçambique (TIA, 2008; Uaiene, 2012). Este sector está fortemente bipolarizado dividido entre 3.2 milhões de pequenos agricultores que contribuem com 95% do PIB agrícola e cerca de 40 agricultores comerciais que contribuem para os restantes 5% (CAP, 2011). Moçambique é um país com grande potencial agrícola, com 36 milhões de hectares de terra arável numerosos rios, e precipitação razoável em muitas partes. No entanto, em 2003 apresentava menos de 5 milhões de hectares de terra plantados, baixa utilização de recursos hídricos, e caracterizava-se pela produção de subsistência de baixa produtividade (Uaiene, 2012). No total de área arável estão atualmente em uso cerca de 15%, sendo a maior parte da terra explorada por pequenos agricultores em condições de sequeiro em cerca de 90% da área, em regime de agricultura familiar¹, com baixo nível de utilização de tecnologias agrícolas melhoradas (Carrilho et al., 2016). CAP (2011) estimou que a área cultivada em Moçambique aumentou em 45% entre as épocas 1999/2000 a 2009/2010 para um total de 5.6 milhões de hectares, o que corresponde a cerca de 15,7% dos 36 milhões de hectares de terra arável do país (FAO, 2007).

¹De acordo com (Momade, 2017) agricultura familiar em termos gerais caracteriza-se pelas pequenas propriedades, pelo facto de ser a família a proprietária dos meios de produção e da terra e pela produção com pouca utilização de capital (sementes melhoradas, fertilizantes e maquinarias). Em Moçambique, a agricultura familiar é expressa principalmente pelo uso de instrumentos rudimentares (enxadas, machados e catanas).

Em relação a áreas existentes em Moçambique para a produção de hortícolas cerca de 3,3 milhões de hectares disponíveis podem ser regados, o que corresponde ao dobro da área de regadio na África do Sul, que é uma referência do sector agrícola comercial em África. Mais de 80% da área total de terra cultivada é usada para a produção em sequeiro de culturas alimentares básicas, ocupando o milho, a mandioca e o feijão cerca de 60% da área total cultivada. A horticultura ocupa apenas 5% e as culturas destinada à indústria (cana de açúcar, algodão, chá, oleaginosas, tabaco) são produzidas em apenas 6% (MINAG, 2010). Nas zonas centro e norte estima-se a disponibilidade de terra para grandes investimentos agrícolas no total em 8.233.645,8 hectares (MINAG, 2014). O Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM), anteriormente conhecido como Instituto Nacional de Investigação Agronómica-INIA, apresenta dez zonas ou regiões agro-geológicas.

De acordo com MICOA (2007), o acesso à terra em Moçambique realiza-se de duas formas, sendo a primeira por via do sistema formal e a segunda por via de ocupação por boa fé. Pouco depois da proclamação da independência em 1975, a terra foi nacionalizada. A Constituição da República e a legislação subsequente articulam e definem o uso da terra e o sistema formal de posse terra. Assim, no País a terra e os recursos naturais do solo e do subsolo, as águas territoriais e a plataforma continental são propriedade do Estado. O Estado decide sobre as condições da sua exploração e uso. Existe a percepção que Moçambique possui muita terra disponível, com baixa utilização ou subaproveitada. Embora o Estado seja o proprietário legal da terra, existem os donos consuetudinários, que são os camponeses que exploram a terra, e nenhuma ocupação deve ser realizada sem a devida indemnização dos camponeses (Mosca, 2014).

De acordo com TIA (2008) as principais culturas alimentares produzidas em Moçambique são: milho (*Zea mays*) 51%, mandioca (*Manihot esculenta*) 37%, arroz (*Oryza sativa*) 9%, sorgum (*Sorghum bicolor*) 2% e outras culturas correspondendo a 1 %. As culturas hortícolas são cultivadas numa área de 375.995 hectares destacando-se as principais hortícolas: abóboras, pepino, tomate, couve, quiabo, melancia, batata reno, cebola, feijão-verde, ervilha, piripiri, repolho, alface, alho, pimenta, cenoura, beterraba, salsa, cebola de rama e coentro. Com a abóbora ocupando as maiores áreas de cultivo e coentro ocupando a menor área de cultivo, 121.592 e 12 hectares respetivamente (CAP, 2011). Estes resultados são confirmados pelo inquérito efetuado pelo IAI (2015) em que evidencia a percentagem de explorações que praticam horticultura, por cultura e por

Província. A cultura de abóbora é praticada em todas as províncias e apresenta maior número de explorações agrícolas, dedicando-se ao cultivo desta cultura hortícola, mas a sua relevância na alimentação e geração de rendimentos é muito baixa.

A horticultura tem um grande potencial para aliviar a pobreza rural, mas não tem tido o desempenho esperado. Apesar das taxas de crescimento agrícola de 8% ao ano, o crescimento do setor é em grande parte impulsionado pela expansão da terra cultivada em vez de um aumento na produtividade (Beunk, 2016). O estudo sobre a cadeia de valor de hortícolas realizado em Moçambique por Calima (2015) revelou ser fundamental reconhecer a importância que as hortícolas ocupam no sistema de produção das famílias quer a nível da dieta alimentar quer na geração de rendimento, daí que não se pode deixar de promovê-las. De acordo com o CAP (2011) que lista os 10 produtos mais produzidos por tipo de exploração, e mostra claramente a opção das explorações por determinadas culturas em detrimento das outras (tabela 1). As pequenas e médias explorações optam por culturas que em primeiro lugar lhes confira alguma segurança em termos alimentares e de seguida as que permitam algum encaixe financeiro ao contrário das grandes explorações, que optam por culturas que visam o mercado. Pode identificar-se o piripiri como uma cultura quase exclusiva das pequenas explorações, o alho das médias e o pimento das grandes (Calima, 2015).² De acordo com dados recolhidos CAP (2011) indicam que em todo o País a quase totalidade das áreas próprias para a horticultura são atualmente trabalhadas em áreas de cultivo iguais ou menores do que um hectare (média nacional avaliada em 0,5 ha), sendo que as explorações se localizam em locais distantes dos principais centros de consumo (as cidade de Maputo, Beira, Chimoio e Nampula) para onde é canalizada a quase totalidade da produção (BOM, 2014).

² Conceito de pequeno produtor segundo (Mosca J. , 2014) considera produtores agrários de pequena escala, cuja produção é intensiva em mão-de-obra, sobretudo familiar, pouco integrados no mercado de fatores (fatores de produção, máquinas e dinheiro-terra, trabalho assalariado e outras fontes de rendimento não agrícola), que produzem essencialmente para a reprodução da família enquanto unidade económica e social, que nem sempre possuem mercado como a única e mais importante referência nas suas opções produtivas, que não têm, necessariamente, o lucro como o principal objetivo e, sempre que podem, complementam os rendimentos agrários com outros, dentro ou fora do sector

Tabela 1. Principais hortícolas produzidas em Moçambique

	Tipo de exploração		
	Pequena	Média	Grande
	0 < Área < 10ha	10 < Área < 50 ha	Área >50 ha
Culturas	1. Abobora	1. Abobora	1. Tomate
	2. Melancia	2. Melancia	2. Repolho
	3. Pepino	3. Quiabo	3. Cebola
	4. Quiabo	4. Pepino	4. Pepino
	5. Tomate	5. Tomate	5. Pimenta
	6- Couve	6- Couve	6- Couve
	7. Cebola	7. Cebola	7. Batata-reno
	8. Alface	8. Alface	8. Abobora
	9. Piripiri	9. Repolho	9. Melancia
	10. Batata-reno	10. Alho	10. Alface

Fonte: (CAP, 2011)

A produção de hortícolas acontece fundamentalmente nas baixas ao longo das margens dos rios e em todo o País. Entretanto a sua distribuição espacial está dependente de diversos fatores destacando-se as condições agro-geológicas de cada região, a proximidade aos mercados, os hábitos alimentares dos produtores e a renda dos consumidores (Calima, 2015). No que concerne à produção de hortícolas, em 2017, foram cultivados um total de 194.230 ha de hortícolas com uma produção total de 2.681.479 ton. Quando comparado com o ano 2016 o volume de produção aumentou 13.3% (MASA, 2017; GRM, 2017).

Entre as hortícolas, a cultura de tomate é uma das hortícolas mais importantes conforme ilustra a tabela 2. Representa cerca de 80% da área cultivada e do mercado das hortícolas, sendo o seu cultivo realizado no inverno (PNISA, 2013; Ecole & Malia, 2015). Em relação a esta cultura verifica-se uma acentuada preferência para variedades de tomate com baixo teor de água, porque este pode ser armazenado por períodos muito longos (Ribeiro & Rulkens, 1999). De acordo com

MINAG, (2010) no ar livre, a sementeira é feita nos meses de fevereiro a agosto e as variedades mais produzidas tem o ciclo de produção entre 89 a 99 dias.

Tabela 2. Importância relativa das hortícolas em função da área e consumo em Moçambique

Cultura	Importância relativa (%)
Tomate (<i>Solanum lycopersicon</i>)	77,9
Cebola (<i>Allium cepa</i>)	13
Couves (<i>Brassica spp</i>)	5,2
Feijão-verde (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	3,9

Fonte: (MINAG, 2014; Ecole & Malia, 2015)

1.2 Apresentação do problema e objetivos do estudo

A agricultura ainda é uma fonte vital de renda para a maioria da população Moçambicana. Embora a sua importância relativa como setor exportador de culturas industriais esteja declinando diante da rápida industrialização e do crescimento das exportações nos setores de mineração e industrial, o setor ainda contribui com cerca de um décimo para as receitas de exportação, com culturas industriais como algodão, gergelim, girassol, tabaco, coco e açúcar. O setor também fornece matérias prima fundamentais para a agroindústria que contribuem com mais de 6,5 % para o PIB nacional (Pauw et al., 2012).

Atualmente estima-se que a produtividade média nacional seja de 1,2 ton.ha⁻¹ para o milho, 1,1 ton.ha⁻¹ para o arroz, 0,5 ton.ha⁻¹ para o feijão e 8,5 ton.ha⁻¹ para o tomate (Melo, 2018). Estes números revelam uma baixa produtividade de culturas alimentares resultando num défice de produtos alimentares básicos como o arroz em 316 mil tons, de trigo em 357 mil tons, de batata-reno em 191 mil tons e de tomate em 92 mil tons o que significa um maior esforço de importação de alimentos.

O surgimento de supermercados e grandes áreas comerciais em Moçambique vai exigir a curto e médio prazo, uma mudança na hortifruticultura, para assegurar a disponibilidade dos produtos no momento certo, no lugar certo e no preço certo, de modo a satisfazer os consumidores cada vez mais exigentes.

Para mercadorias como frutas e vegetais surgem iniciativas de produção sobre contrato, em que alguns operadores adiantam fatores de produção aos produtores, e estes assumem o compromisso de fazer a entrega da produção. Estas iniciativas ainda que em número e abrangência reduzida revelam-se uma forma eficiente de incentivar os produtores a produzirem mais e melhor (BOM, 2014).

Os níveis de produção hortícola são extremamente baixos conforme ilustra a tabela 3, contribuindo para um déficit dessas culturas no mercado, apesar da procura doméstica ser suficiente para promover a mudança tecnológica com vista a elevar os níveis de produção (Walker et al., 2006). BOM (2014) no estudo sobre a cadeia de valor de hortícolas, concluiu que a rede comercial organizada é quase inexistente imperando a economia informal. De acordo com Ganry (2009) a disponibilidade de hortícolas em Moçambique é de 6,2 kg.pessoa⁻¹.ano⁻¹ enquanto no Malawi é de 19,5 kg.pessoa⁻¹.ano⁻¹ e a média em África é de 51,7 kg.pessoa⁻¹.ano⁻¹.

Tabela 3. Produtividade de tomate produzido em ar livre nas principais regiões de Moçambique

Região	Produtividade (ton ha⁻¹)	Fontes
Beira	7.00	SDAEB
Chimoio	8.00	SDAEC
Maputo	21.00	SDAEM
Nampula	15.00	SDAEN

Apesar de Moçambique ter potencial para o desenvolvimento do setor da horticultura principalmente para a cultura de tomate, especialmente na região centro, onde há oportunidades para produzir hortícolas de alto valor (USAID & MANAGE, 2014), a produção ainda apresenta uma sazonalidade muito marcada, caracterizada por maior produção em períodos de clima favorável, ou seja, na estação fresca em que as temperaturas são amenas. De acordo com o calendário de produção em Moçambique do MINAG (2010) o tomate é cultivado na estação seca e fresca conforme ilustrado no quadro 1 a produção ocorre nos meses de março a setembro. Devido a alta temperatura e humidade relativa do ar e a frequente ocorrência de chuvas durante o verão verificam-se baixos níveis de produtividade, causando escassez de tomate no mercado agravado com o aumento da procura desta hortícola no período da quadra festiva, pelo que o país recorre às importações para suprir o déficit da produção interna que não é suficiente para satisfazer a procura. A

escassez agrava-se com maior severidade, a partir do mês de novembro acentuando-se nos meses de janeiro e fevereiro em que as temperaturas atingem o pico mais alto, coincidindo com a época da chuva (gráfico 1).

Quadro 1. Estações de ano e calendário de produção de tomate no ar livre em Moçambique

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Estação do ano	Quente e chuvosa(verão)			Seca e fresca (inverno)				Quente e chuvosa(verão)				
Calendário de produção de tomate	Produção condicionada			Produção plena				Produção condicionada				
Desempenho Produtivo	Baixo			Medio				Baixo				

O tomate é uma das hortícolas mais consumidas no País, verificando-se escassez desta hortícola no mercado, apesar do aumento acentuado das importações. De 2010 para 2014 as importações duplicaram tendo passado de cerca de 10 milhões de Dólares para cerca de 24 milhões de Dólares. O mesmo cenário verificou-se nos anos de 2017 e 2018, conforme ilustrado na tabela 4. Houve um aumento de 524.228 Dólares em importação de tomate e em 2018 foram importadas 823.914 ton de tomate não se tendo disponibilizado dados relativos à quantidade de importação do ano 2017 (ITC, 2019). A importação de tomate torna o preço sujeito à variabilidade dos mercados internacionais e da taxa de câmbio, entre outros fatores.

Tabela 4. Nível de importação de tomate a partir da África do Sul

Ano	Valor de Negociação (USD)	Quantidade (ton)
2018	1.387.914	823.914
2017	863.686	-----

Fonte: (ITC, 2019)

Nos últimos anos o País registou uma melhoria na produção de tomate conforme a tabela 5, essa melhoria tem sido atribuída fundamentalmente à expansão das áreas de cultivo e a uma melhoria das condições climáticas em algumas zonas do País. Siteo (2005) refere que não há ainda evidências de que o crescimento da produção no País poderá ter a ver com o aumento da produtividade agrícola, aliás esta tem sido uma questão frequentemente ignorada quando se analisa a agricultura em Moçambique. Há também evidência de que a terra é limitada em áreas mais produtivas. O aumento da produção através do aumento da área, recorrendo fundamentalmente a trabalho manual, é limitada pela disponibilidade de mão de obra (World Bank, 2006).

Tabela 5. Produção de tomate nos últimos anos em Moçambique

Ano	Área colhida (ha)	Produção (ton)	Produtividade (tonha⁻¹)
2015	16.700	360.000	21,56
2016	17.000	374.000	22,00
2017	17.859	380.000	21,28

Fonte: (FAOSTAT, 2019)

Considerando que o aumento da produtividade agrícola e em particular a produção de tomate afetaria a população Moçambicana através de vários mecanismos:

- Inflação mediante a redução da importação de produtos agrícolas (tomate), que muitas vezes está sujeita ao aumento dos preços dos combustíveis no mercado internacional;

- Aumento da produtividade aliada a melhores condições de armazenamento e processamento, pode aumentar a disponibilidade de alimentos ao longo do ano, reduzindo de forma significativa a sazonalidade do tomate e melhorando deste modo a segurança alimentar e nutricional das famílias.
- Combinado com o melhoramento de infraestruturas de comercialização, o aumento da produtividade resulta em maiores rendimentos familiares (Cunguara, 2011).

Moçambique é considerado como tendo um grande potencial para produção agrícola. O governo considera a agricultura comercial um dos principais motores de transformação da economia e tem promovido em grande escala investimentos na agricultura. Essa abordagem, no entanto, pode promover monoculturas e pacotes tecnológicos que são inadequados e podem prejudicar o ambiente e há muita incerteza sobre o impacto no pequeno agricultor no acesso a mercados, terras e emprego. A agricultura familiar por outro lado, pode ser vulnerável e insustentável a longo prazo, devido a baixos rendimentos, tecnologias intensivas em trabalho e exposição a choques climáticos (Silici et al., 2015). De acordo com Milder et al. (2011) abordagens sustentáveis podem ajudar a aumentar os rendimentos em África, tornando os sistemas de produção mais resilientes e economicamente acessíveis.

Deste modo o principal objetivo deste trabalho consiste em avaliar o potencial de produção de tomate no verão recorrendo a sistemas de produção sob coberto (ou ambiente protegido) adaptados às condições climáticas e económicas de Moçambique. Importa salientar que este é um estudo de base teórica que requer a realização de trabalho experimental que permita a validação dos resultados com base em dados obtidos experimentalmente.

Os Objetivos específicos deste trabalho são:

- Caracterizar a produção e produtividade de tomate em Moçambique;
- Identificar os principais fatores que contribuem para a baixa produtividade e elevada sazonalidade de produção de tomate;
- Avaliar os principais fatores climáticos que influenciam a produção sob coberto;

- Estimar a temperatura do ar no interior das estruturas cobertas para várias regiões, usando modelos de balanço térmico e comparar com a temperatura do ar exterior;
- Estimar a produção potencial a partir de modelos de previsão de produção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem várias definições de estufa tendo em consideração sobretudo a dimensão e o tipo de materiais utilizados. Segundo Cermeno (1990) uma estufa é uma construção coberta e abrigada artificialmente com materiais transparentes à radiação solar, com o objetivo de proteger as plantas da ação dos agentes meteorológicos exteriores, permitindo o desenvolvimento das culturas no seu interior, durante todo o ciclo vegetativo.

Nos últimos anos tem-se recorrido a construções totalmente cobertas com outro tipo de materiais (redes sombra ou redes anti-insecto), que se denominam em inglês *screenhouses*. Em português não existe uma palavra para traduzir *screenhouse*, pelo que consideraremos neste trabalho como sendo uma construção totalmente coberta com rede de sombra ou outro tipo de tela. De acordo com Rigakis et al., (2015) estas construções são estruturas de baixo custo que protegem as culturas dos fatores de pressão ambiental (vento, granizo, radiação excessiva durante o período quente do ano) e de fatores de pressão biológicos (pragas, pássaros, morcegos). Além disso, permitem reduzir a necessidade de utilização de pesticidas (no caso das redes anti-insecto), bem como as necessidades de água para rega, contribuindo para aumentar a eficiência de uso da água. Em última análise, o uso de redes ou telas permite proteger as culturas melhorando o microclima e promovendo a maior produtividade (quantidade e qualidade da produção).

2.1 Principais fatores climáticos que influenciam a produção sob coberto

Em estufas ou em cultivo sob coberto, os fatores climáticos têm uma grande influencia no funcionamento da fisiologia da planta. O desenvolvimento fisiológico ótimo e equilibrado depende da incidência favorável desses fatores. Dentre os que intervém no desenvolvimento ótimo e aumento da produtividade das culturas figuram a radiação solar, temperatura, humidade, concentração de CO_2 e O_2 . Estes fatores estão relacionados entre si, em cada caso a sua intervenção é imprescindível, embora em proporções diferentes mais equilibradas (Cermeno, 1996; Gente, 2007).

As espécies mais comumente cultivadas em estufas têm exigências térmicas médias (tomate, pimento, pepino, melão, melancia, feijão verde); o objetivo é estender os calendários para além da estação de cultivo convencional ao ar livre e, assim, aumentar a produtividade. Atualmente, a

produção em estufa em áreas geográficas sem condições climáticas adequadas é altamente questionável devido essencialmente ao elevado consumo de energia (Castilla & Baeza, 2013).

As variáveis que formam o clima sob coberto, que são mais importantes do ponto de vista da produção hortícola, são a temperatura e a humidade do ar, a concentração de dióxido de carbono e a radiação solar interceptada pela cultura (Baptista et al., 2010).

2.1.1 Radiação Solar

A energia luminosa, ou radiação emitida pelo sol propaga-se no espaço em todas as direções e sem suporte material. Algumas das funções de maior interesse no desenvolvimento da cultura são devidas a energia luminosa: fotossíntese, fotoperiodismo, crescimento dos tecidos, floração e amadurecimento de frutos (Cermenó, 1996). A luz solar que chega à terra é a soma da radiação difusa e radiação direta (radiação global). Smith & Kingham (1971) nas suas pesquisas sobre dimensionamento de estufas desenvolveram um método para calcular a radiação dentro de uma estufa, em função de suas dimensões estruturais e das características médias de radiação do local.

A influencia da radiação solar na fotossíntese depende da intensidade luminosa, da duração da luz ao longo do dia e da sensibilidade luminosa da cultura. De todo espectro eletromagnético que se considera só atingem a superfície terrestre as radiações compreendidas entre 200 a 3000 nm, expostas na figura 4 (Castilha, 2007). Na sua maioria a radiação solar que atinge a superfície da terra é constituída por radiações de curto comprimento de onda localizadas na zona do visível e do infravermelho próximo. Estas radiações proporcionam a maior quantidade de calor. No inverno quanto mais baixo o sol se situa no horizonte com maior dificuldade se captam as radiações de curto comprimento de onda (ultravioletas, violeta e anil) enquanto que no verão, na primavera e no outono quando o sol está alto, as radiações mencionadas atingem facilmente a superfície terrestre.

Dentro do cultivo sob coberto pode entrar diferentes tipos de radiação, a saber: radiação ultravioleta (UV), radiação visível (radiação fotossinteticamente activa, PAR) e radiação infravermelha próxima (NIR). A maior parte da radiação UV é absorvida pela atmosfera da Terra. A extrema exposição das plantas aos raios UV pode resultar na degradação do processo fotossintético. A radiação PAR é absorvida pela planta e é fundamental para a fotossíntese e o crescimento das

plantas. O NIR é absorvido principalmente pela estrutura e equipamento, causando aumento da temperatura interior (Abdel-Ghany et al., 2012).

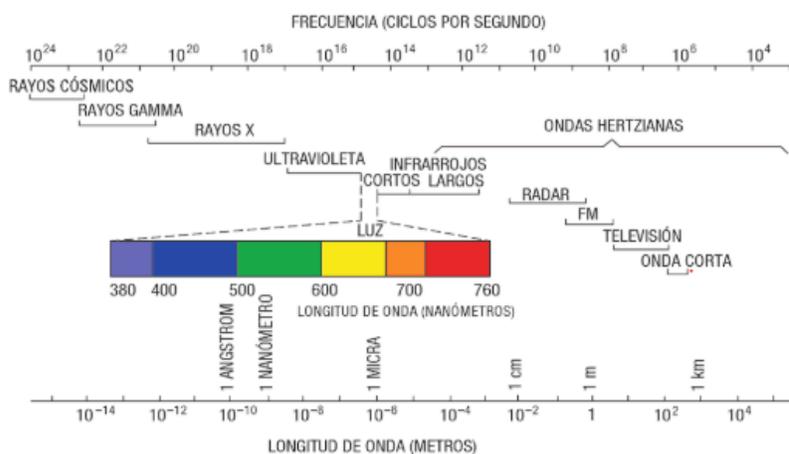


Figura 4.Espectro eletromagnético

Fonte: (Castilha, 2007)

A radiação solar é o principal parâmetro climático necessário para avaliar a adequação climática de uma região para o cultivo protegido. A duração do dia e a radiação solar interceptada por uma superfície horizontal durante as horas do dia são medidas para determinar a radiação solar diária total (Castilla & Baeza, 2013). Até recentemente, a radiação PAR, entre 400 a 700 nm, recebeu mais atenção do que outros comprimentos de onda do espectro solar, devido ao seu papel fundamental na fotossíntese. Em regiões com elevada radiação solar, pode ser necessário sombreamento durante os períodos de alta irradiação. Por outro lado, de acordo com Castilla & Baeza (2013) a radiação solar é a principal fonte de energia fotossintética para o crescimento e produção das plantas. Elsner et al (2000) concluíram que a radiação solar global e sua variação durante o ano é um dos fatores climáticos mais importantes que influenciam a produtividade das culturas sob coberto, pelo facto da radiação solar ser a principal fonte de energia fotossintética para o crescimento e produção de plantas. Para que este fenómeno ocorra a transmissão da radiação solar deve ser otimizado de acordo às necessidades das culturas e ao clima local. Especialmente em regiões com baixa radiação solar onde é necessário melhorar a transmissão dos materiais à radiação solar global, e em regiões onde os níveis de radiação solar são demasiado elevados devem ser introduzidas telas de sombreamento para reduzir a intensidade da radiação e para evitar o sobreaquecimento.

As necessidades mínimas diárias de radiação de culturas hortícolas com exigências térmicas médias como o tomate, o pimento e pepino são estimadas em cerca de $8,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Nielsen, 2002; Castilla & Baeza, 2013).

As condições de radiação solar no cultivo coberto são muito importantes do ponto de vista produtivo não só quantitativamente, mas também qualitativamente. O principal fator que influencia a distribuição de parâmetros microclimáticos é a radiação solar transmitida para o interior da infraestrutura do cultivo coberto (Ahmed et al., 2016).

2.1.2 Temperatura do ar

Muitos processos fisiológicos de plantas são dependentes da temperatura e para cada cultura existe um intervalo de temperatura para um desempenho ótimo. Portanto para cada função vital da planta existem temperaturas críticas, acima ou abaixo destas a função não se realiza, ou toma lugar com dificuldades. Em cada momento crítico do seu ciclo biológico, cada espécie vegetal necessita de uma temperatura ótima para atingir o ritmo de desenvolvimento normal (Cermenó, 1990).

No cultivo sob coberto a temperatura do ar é um resultado integrado de vários processos simultâneos de transferência de energia, que incluem a troca por radiação, convecção (ventilação), condução e evapotranspiração.

Ploeg & Heuvelink (2005) no seu estudo com a cultura de tomate verificaram que temperaturas diurna e noturna não têm exatamente o mesmo efeito no desenvolvimento da cultura referenciando que o peso seco total de plantas bem como o número de folhas são mais afetados por temperaturas diurnas que noturnas. Seginer et al. (1994) concluíram que as plantas podem tolerar uma certa variação da temperatura ótima sem efeitos negativos, desde que os desvios da temperatura e da integral da temperatura esteja dentro dos limites ilustrados no quadro 2. Muitas variáveis de crescimento e desenvolvimento mostraram depender do regime de temperatura. Em cultivos de tomate sob coberto uma temperatura noturna em torno de $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ podem considerar-se ótima (Castilha, 2007).

Quadro 2. Temperaturas críticas da cultura de tomate

Parâmetro	Temperatura (°C)	
Congelamento da planta	-2	
Paragem de desenvolvimento	10 a 12	
Máximo desenvolvimento da planta	20 a 24	
Desenvolvimento normal (média mensal)	16 a 27	
Germinação	temp. mínima	10
	temp. óptima	25 a 30
	temp. máxima	35
Nascença	18	
Prímeiras folhas	12	
Desenvolvimento	de dia	18 a 21
	de noite	13 a 16
Floração	de dia	23 a 26
	de noite	15 a 18
Amadurecimento	frutos vermelhos	15 a 22
	frutos amarelos	mais de 30
Temperatura do solo	Mínima	12
	Óptima	20 a 24
	Máxima	34

Fonte: (Cermeno, 1996)

Almeida (2006) apresentou as etapas de desenvolvimento da cultura de tomate em que constam as quatro fases do ciclo da cultura de tomate destacando a duração de cada etapa na produção ao ar livre em que menciona a duração do ciclo da cultura de tomate ao ar livre para um ciclo completo de 100 a 140 dias conforme a tabela abaixo.

Tabela 6. Etapas de desenvolvimento da cultura de tomate

Etapas	Etapas de Desenvolvimento	Período (dias)
0	Estabelecimento	25-35
1	Vegetativa	20-25
2	Floração	20-30
3	Formação do fruto	20-30
4	Maturação	15-20
Total	100-140	100-140

Fonte: (Almeida, 2006)

Elsner et al. (2000) sugerem que a temperatura é o fator climático mais crítico para a produção sob coberto. A manutenção de uma temperatura interior ótima é o principal objetivo do cultivo protegido. A temperatura das plantas durante o dia varia muito dependendo da radiação recebida, transpiração, dos movimentos de ar e outros fatores (Castilha, 2007). Enquanto que a temperatura do solo tem uma grande inercia térmica e durante a noite restitui para o interior da estufa a energia armazenada durante o dia (Castilha, 2007).

2.1.3 Humidade do ar

É o vapor de água existente, num determinado momento, na atmosfera e resulta da evaporação das superfícies aquáticas, da transpiração dos seres vivos e das combustões. A humidade do ar exprime-se por meio de grandezas físicas como pressão parcial de vapor (ea); pressão de vapor saturado (es); Humidade absoluta (ρ); Défice de pressão de vapor (DPV) humidade relativa (HR) e humidade específica (q) (Andrade & Basch, 2017). Depende entre outros fatores da disponibilidade de água, velocidade do vento, temperatura do ar e da pressão atmosférica (Andrade & Basch, 2017). A humidade influencia a transpiração, crescimento dos tecidos, a fecundação das flores e a ocorrência de doenças fúngicas (Cermeno, 1996).

Para uma mesma quantidade de vapor de água num volume igual o ambiente estará mais húmido se a temperatura do ar for mais baixa, ou menos húmido quando a temperatura é mais alta.

Para um mesmo valor da humidade absoluta, as oscilações da humidade relativa da estufa são grandes nas 24 horas do dia e são tanto maiores quanto maiores forem as diferenças de temperatura alcançadas na estufas. Além das várias funções da planta que dependem da humidade, existem outros fenómenos que incidem indiretamente no estado vegetativo da cultura. Como consequência deste facto excesso ou carência da humidade influencia desfavoravelmente as culturas conforme ilustra o quadro número 3 (Cermeno, 1990).

Quadro 3. Consequências de excesso e carência de humidade no interior de construção de cultivo coberto

Excesso	Defeito
Menor desenvolvimento vegetativo (diminui a transpiração)	Menor desenvolvimento vegetativo (menor transpiração em virtude do enceramento dos estomas)
Falha das flores (deficiente fecundação)	Deficiência de crescimento
Incremento de doenças	Desidratação de tecidos
Condensação da humidade: gotejo	

Fonte: adaptado (Cermeno, 1990)

Bakker (1991) em um trabalho de investigação sobre respostas do crescimento e produção de pepino e tomate em estufa com défice de pressão de vapor (DPV) entre 0,3 a 0,9 kPa , o parâmetro humidade apresentou efeitos limitados na densidade estomática e isso não influenciou significativamente a condutância foliar e concluiu que o efeito da humidade na fotossíntese em condições normais de crescimento em climas moderados é limitado a cerca de 10%. O Principal efeito da alta humidade na produtividade é mediado pelo seu impacto na interceção de luz resultante do aumento ou da diminuição do índice de área foliar e o efeito na fotossíntese como tal. A Humidade dentro da estufa depende dos ganhos e perdas do vapor de água.

Excessos de humidade na atmosfera interna da estufa implicam, quando o ar alcança a saturação a ocorrência de condensação. Este excesso de humidade pode ser causado pela transpiração da cultura (Castilha, 2007).

2.1.4 Dióxido de carbono

O anidrido carbónico existente na atmosfera é a base fundamental do carbono necessário aos vegetais verdes. O carbono e o oxigénio são elementos básicos na alimentação dos vegetais; aproximadamente 90% da matéria seca das plantas é constituída por esses dois elementos (50% por carbono e 40% de oxigénio), que são sintetizados da atmosfera por meio da função clorofilina ou fotossíntese (Cermeno, 1990).

A luminosidade e a função clorofilina estão intimamente relacionadas. Nos dias quentes e luminosos, com intensa atividade geral, a concentração de anidrido carbónico na estufa costuma ser inferior à existente no exterior, podendo ser insuficiente para a satisfação das necessidades da cultura pelo que pode tornar-se um fator limitante (Cermeno, 1990). Segundo Castilha (2007) a ventilação, a fotossíntese a respiração das plantas e a libertação de CO₂ pelo solo influencia o teor de CO₂ no ar dentro das instalações de cultivo protegido. De noite por acumulação de CO₂ devido à respiração das plantas, a concentração é superior à do ar exterior. De dia, devido à fotossíntese, o CO₂ baixa em relação ao valor exterior normal. Com a estufa fechada, em dias de sol pode baixar para cerca de 200 ppm, sendo neste caso limitante para a produção. Uma das formas de evitar este fenómeno é a partir da ventilação, de modo a que a concentração de CO₂ seja no mínimo à concentração normal no ar exterior (aproximadamente 370 ppm). A ventilação estimada para reduzir a temperatura que geralmente tem, no mínimo, taxas de 20 a 30 renovações por hora é geralmente suficiente para manter níveis adequados de CO₂. A ventilação inadequada pode resultar em numa distribuição desigual de CO₂ dentro da estufa (Ghani, et al., 2019).

A luminosidade, a temperatura, a humidade e a assimilação do anidrido carbónico intervém em conjunto no desenvolvimento vegetativo das plantas; de nada serve que três destes fatores estejam em condições ótimas se faltar, ou estiver em deficiência o quarto (Cermeno, 1990).

2.2 Sistemas de Climatização

Em condições de clima quente múltiplas estratégias de climatização são usadas em estufas para fornecer um ambiente apropriado para o crescimento das plantas e aumentar a produtividade das culturas, tais como:

- sistemas de ventilação, que pode ser por ventilação forçada utilizando ventiladores ou ventilação natural, utilizando aberturas laterais e no telhado;
- métodos de sombreamento, tais como aplicação de tintas brancas no material de cobertura, redes de sombreamento e outras telas (Sethi & Sharma, 2007; Ganguly & Ghosh, 2011);
- sistemas de arrefecimento por evaporação que utilizam ventiladores e painéis humidificados, nebulização (a alta pressão) ou água sobre a cobertura.

O cultivo sob coberto requiere sistemas de controlo climático eficazes a fim de fornecer o ambiente adequado para o crescimento e a produtividade das plantas. Os métodos de arrefecimento, como a ventilação e sistemas de arrefecimento evaporativo, enfrentam muitos desafios operacionais e ambientais em regiões áridas. O desafio mais importante é a capacidade dos sistemas de arrefecimento de manter a temperatura do ar da estufa e a humidade relativa a níveis adequados para o crescimento das plantas a custos reduzidos ou economicamente viáveis (Ahemd et al., 2016).

2.2.1 Ventilação

A ventilação é o primeiro passo que foi dado para o arrefecimento das estufas, isto é uma substituição do ar quente com ar fresco do exterior passivamente (ventilação natural) ou mecanicamente (ventilação forçada) (Ganguly & Ghosh, 2011). Este processo desencadeia a remoção do calor acumulado da estufa, especialmente durante períodos quentes, e consiste na renovação do ar no interior. Atua sobre a temperatura, humidade, dióxido de carbono, e oxigénio existente na atmosfera interior (Cermeno, 1996). Se a humidade relativa do ar exterior for menor que no interior (que normalmente é o caso em uma estufa tropical), retira-se o ar húmido do interior e substitui-se por ar seco, até ao ponto de equilíbrio entre o interior e o exterior. Em relação à temperatura, valores muito altos no verão resultam na necessidade de remoção constante de calor, o que pode ser conseguido substituindo o ar interior com ar mais frio do exterior da estrutura (Perdigones, et al., 2008). Nos casos em que a temperatura exterior do ar for baixa o suficiente e dentro da estufa não for muito alta, o ar quente pode sair passivamente através das aberturas do teto. O movimento para cima e para fora do ar quente obriga o ar frio a entrar pelas aberturas laterais. Este sistema é mais eficaz no inverno, primavera e outono, sendo a sua eficácia limitada para o arrefecimento de verão, já que a carga térmica resultante da radiação solar aliada à elevada temperatura do ar exterior podem ser demasiado altas para as capacidades do sistema (Sethi & Sharma, 2007).

Bartzanas et al. (2004) consideram que os principais objetivos da ventilação são dissipar o calor excessivo, assim como aumentar as trocas gasosas nomeadamente de dióxido de carbono e oxigénio e manter níveis de humidade aceitáveis, tendo em conta que esses parâmetros afetam o desenvolvimento e a produção da cultura. A ventilação inadequada pode resultar em alta temperatura do ar da estufa, baixo déficit de pressão de vapor e distribuição desigual de CO₂ (Ghani et al., 2019).

De acordo com Seginer (1994) altas taxas de ventilação não são no primeiro momento, a melhor opção para reduzir o stresse hídrico em estufas em condições de verão porquê. A ventilação reduz o superaquecimento da estufa, mas aumenta o risco de stresse hídrico, pois geralmente aumenta a transpiração da planta considerando água fator limitante. As estufas sob sistema de arrefecimento com ventilação geralmente atingem altas temperaturas quando há altos níveis de radiação solar.

Ganguly & Ghosh (2011) e Ahemd et al. (2016) referem que a ventilação pode ser natural através de aberturas no telhado e/ou nas janelas laterais ou forçada, realizada usando ventiladores e exaustores. A ventilação mecânica ou forçada é a troca de ar originada pela diferença de pressão originada por ventiladores ou exaustores e que pode ser complementar à ventilação natural, quando necessário. Tal como a natural pode ser usada na construção em ambiente protegido em regiões tropicais como uma técnica de redução da temperatura do ar meramente se a temperatura do ar exterior da instalação for menor que a temperatura do ar interior e permite controlar a humidade, que é crucial nestas regiões, para melhorar o crescimento das plantas, absorver nutrientes e água e reduzir as doenças (Shamshiri & Ismail, 2013).

Na ventilação natural, o movimento do ar ocorre através de aberturas localizadas no telhado e/ou nas paredes laterais que permitem que o ar interior quente seja substituído pelo ar exterior mais frio, removendo também o vapor de água produzido pela transpiração das plantas e por conseguinte limita a humidade da estufa. As trocas de ar ocorrem devido a diferenças de pressão. As principais forças motrizes da ventilação natural responsáveis pela diferença de pressão são em primeiro lugar, o resultado da ação do vento, criando um campo de pressão originado pela interação da estrutura com o vento e em segundo lugar pela convecção natural originada pela diferença de

densidade do ar a diferentes temperaturas no interior e no exterior (Boulard et al., 1997; Bernard 2006; Baptista & Cruz, 2007)

Segundo Rigakis et al (2015) com base na aplicação da equação de Bernoulli, o caudal de ventilação pode ser derivado levando em consideração as duas principais forças motrizes da ventilação natural: o efeito do vento e da impulsão térmica. No entanto, quando a velocidade do vento é alta e as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior são baixas, o efeito da impulsão térmica pode ser ignorado. De acordo com Bartzanas et al (2004) sendo a força motriz da ventilação natural combinação da impulsão térmica e da ação do vento a sua importância relativa depende da velocidade do vento e da diferença de temperatura no interior e no exterior.

De acordo com Baptista & Cruz (2007) apesar de nos locais onde a velocidade do vento é elevada a ventilação por ação do vento ser dominante, noutras regiões onde o vento é fraco, a impulsão térmica é muito importante, afigurando-se como a única força motriz responsável pela ventilação nessa situação. Baptista & Cruz (2007) relatam que muitos autores que se dedicaram ao estudo da ventilação por impulsão térmica e à sua importância relativa em todo o processo da ventilação natural como Boulard & Baille (1995) e Kittas et al. (1995) sugerem que para velocidades do vento superiores a $1,5 \text{ ms}^{-1}$, o efeito do vento é dominante e podendo mesmo a impulsão térmica ser desprezada. Papadakis et al. (1996) sugerem que para velocidade de vento superior a $1,8 \text{ m s}^{-1}$ o vento torna-se a principal força motriz da ventilação, mas embora o efeito de flutuação térmica seja menor, não pode ser desprezado (Baptista & Cruz, 2007). Segundo Bernard (2006) a ventilação resulta da ação do vento quando a velocidade do vento excede $1-2 \text{ ms}^{-1}$.

Segundo Ghani et al. (2019) a direção do vento também pode desempenhar um papel importante no caudal de ventilação juntamente com a velocidade de vento. Embora não houvesse consenso sobre o efeito da direção do vento na ventilação de estufa e no microclima até uma década atrás, devido a recentes trabalhos experimentais com recurso a software de CFD (*Computational fluid dynamics*), a maioria dos autores atualmente concordam que pode afetar drasticamente o caudal de ventilação e distribuição clima (Bournet & Boulard, 2010). Também o tipo e a localização das aberturas e o tamanho da estufa são importantes para a determinação das trocas de ar por ventilação (Baptista & Cruz, 2007).

Em muitos casos, a ventilação natural de uma construção resulta do efeito combinado entre a ação das forças do vento e da impulsão térmica (Bernard, 2006 e Baptista & Cruz, 2007). Both & Wheeler (2002) propuseram métodos de cálculos detalhados dos requisitos de energia de estufa, juntamente com mecanismos para decisão sobre o dimensionamento do sistema de ventilação, a seleção de ventiladores e a localização da abertura de entrada e saída.

Em termos gerais o dimensionamento das aberturas de ventilação podem basear-se exclusivamente em função da ação do vento, enquanto outros preferem basear este cálculo apenas no efeito da impulsão térmica. Pode-se efetuar o dimensionamento com base no efeito combinado de ambas as forças (Baptista & Cruz, 2007).

Segundo Boulard et al. (1997) o caudal ventilação numa estufa equipada apenas com abertura no telhado ou laterais pode ser simulado com boa precisão por um modelo que combina os efeitos de vento e chaminé, sendo os coeficientes de descarga da aberturas de ventilação e o coeficiente global de efeito do vento ambos adimensionais que foram encontrados pela calibração *in situ* ajustando os dados experimentais ao modelo. No caso de uma estufa equipada com aberturas no telhado e nas laterais, o caudal de ventilação é dado por uma expressão similar à descrita por (Boulard & Baille, 1995).

2.2.2 Sombreamento

O sombreamento é uma das formas mais eficazes geralmente usadas pelos produtores para diminuir a carga de calor no cultivo sob coberto, reduzindo a radiação solar excessiva durante os períodos de verão e também pode ser usado como material isolante térmico durante o inverno (Ahmed et al., 2016). Em regiões quentes e ensolaradas, a temperatura ambiente e a intensidade da radiação solar são extremamente altas, isso faz com que o cultivo no campo aberto seja bastante difícil no verão (Ghani et al., 2019). Por conseguinte, o cultivo sob coberto com telas tornou-se uma alternativa para a produção agrícola. O sombreamento melhora o microclima da estufa, aumenta o efeito de arrefecimento e diminui a energia necessária para arrefecer em até 20% e diminui a água de rega em até 25% (Ahmed et al., 2016). O sombreamento permite a redução do stresse térmico da cultura, e logo pode contribuir para o aumento da produtividade e a melhoria da homogeneidade e qualidade das culturas. Comparando o sombreamento móvel externo com os sistemas de sombreamento interno e fixo, o móvel permite maior transmissão da radiação PAR e reduz a

emissão de energia térmica dentro da estufa. A combinação de redes móveis externas de sombreamento com o arrefecimento evaporativo é a técnica mais adequada para regiões áridas no verão (Teitel et al., 2015; Ahmed et al., 2016). Teitel et al. (2015) destaca que dependendo do material das telas e de suas propriedades, podem ser utilizadas para várias funções, como: exclusão de insetos e assim, redução do uso de pesticidas; absorção ou transmissão espectral seletiva de radiação solar para controle de pragas; redução do impacto de granizo e danos causados pelo vento; prolongar o período de crescimento e retardar o amadurecimento dos frutos; redução da perda de calor radiativo e consequente arrefecimento noturno.

Abdel-Ghany et al. (2012) enumera mais vantagens do sombreamento por redes além das descritas acima, referindo que as redes impedem que a energia entre na estufa e permitindo a entrada da radiação solar suficiente para os requisitos de crescimento da cultura. Redes de sombreamento dentro de estufas são capazes de difundir a radiação do feixe solar transmitida. Isto contribui na melhoria da distribuição da luz dentro da estufa através da dispersão dos raios solares, obtendo assim uma distribuição uniforme da temperatura e humidade relativa no interior das estufas; isso leva a melhorar a uniformidade de crescimento das plantas (Al-Helal & Abdel-Ghany, 2011)

Al-Helal & Al-Musalam (2003) refere que os métodos de sombreamento são utilizados, com o objetivo de reduzir os níveis internos de energia e modificar o microclima interno. Estes métodos geralmente são realizados por meio de materiais porosos, como telas, redes de plástico, telas parcialmente reflexivas e ainda com pulverização de tinta branca na superfície exterior do material de cobertura. Os métodos de sombreamento visam controlar a quantidade de luz distribuída, as taxas de crescimento e a qualidade da produção agrícola que são diretamente afetadas pela intensidade da radiação solar recebida durante o período de crescimento (Cockshull et al., 1992). As redes ajudam a uma mais uniforme distribuição da radiação solar, aumentando a radiação difusa, permitindo que as plantas recebam luz de todos os lados, melhorando assim a produção de frutos e tornando o processo de maturação mais uniforme. Além disso, as redes também podem ser usadas para mudar o período de produção regular, a fim de aumentar o valor de mercado do produto e distribuir mais uniformemente a disponibilidade de produtos frescos de alta qualidade durante um período prolongado (Briassoulis et al., 2007).

Os materiais de cobertura usados no sombreamento podem desempenhar um papel bifuncional, bloqueando a radiação infravermelha longa e permitindo a radiação solar necessária para o crescimento da planta (Ghoulem et al., 2019). O uso de redes de sombreamento tem uma grande contribuição na melhoria do ambiente interno da estufa, ajudando a reduzir a energia necessária para o funcionamento de sistemas de arrefecimento e reduz o consumo de água de rega (Al-Helal & Al-Musalam, 2003; Sethi & Sharma, 2007).

Em um estudo realizado por Kittas et al. (2012) sobre o efeito de redes de sombreamento no microclima da estufa, no crescimento e desenvolvimento de uma cultura de tomate concluíram que o sombreamento reduziu significativamente a diferença de temperatura entre a cultura e o ar e aliviou as condições de stresse que ocorrem sob altos regimes de radiação. O sombreamento com redes de sombra teve um efeito significativo na qualidade do tomate e aumentou 43% na produtividade total de tomate fresco em comparação com a produção em campo aberto, as redes de sombra aumentaram o rendimento de tomate comercializável em aproximadamente 50%. O sombreamento controla a intensidade da radiação solar e a qualidade do seu espectro de acordo com a taxa de sombreamento e a cor das redes.

Ahemd et al. (2016) afirmou que o sombreamento é um dos métodos promissores para controlar as características de crescimento das plantas e reduzir os custos económicos relacionados com a produção agrícola, como a quantidade de água utilizada para rega e o consumo de energia. A redução da radiação solar devido ao sombreamento reduz a temperatura da cultura e do ar, bem como a taxa de transpiração das plantas.

Em outra abordagem Gao et al. (2017) esclarece que o stresse devido a baixa luminosidade tem efeitos negativos sobre a fotossíntese e o rendimento em plantas. A alta produtividade destas plantas está intimamente relacionada com a diferenciação e desenvolvimento do parênquima, por conseguinte, elas são muito sensíveis à restrição de luz. É importante enfatizar que o objetivo de todos os métodos de sombreamento é controlar a quantidade de radiação solar que entra na estufa e reduzir a carga térmica no verão.

O sombreamento com tinta branca é um dos métodos mais usados pelos produtores agrícolas, devido ao seu baixo custo. Este método tem um grande impacto na melhoria do microclima de

estufa ao diminuir a quantidade de radiação solar transmitida para o interior (Baille et al., 2001). Realiza-se através de uma mistura de óxido de cálcio ou carbonato de cálcio com água para fazer uma solução que é usada para pintar a superfície exterior da cobertura (vidro ou polietileno) (Ahemd et al., 2016).

O sombreamento com tinta branca pode representar uma vantagem em relação a outros dispositivos ou métodos de sombreamento, especialmente em países quentes com alta carga de radiação durante o verão. O branqueamento não afeta a ventilação da estufa, enquanto que métodos que usam redes de sombreamento no interior afetam negativamente o desempenho da ventilação principalmente se as aberturas de ventilação se localizam no teto. O branqueamento também aumenta significativamente a fração de radiação difusa que é responsável por aumentar a eficiência do uso da radiação (Kittas et al., 1999). Portanto o branqueamento é a técnica mais simples e econômica que é usada como sistema de sombreamento. As principais desvantagens do branqueamento incluem a falta de uniformidade da camada de tinta branca aplicada que é difícil de remediar. Demasiada tinta branca pode reduzir a radiação solar que entra na estufa, afetando o crescimento (Bakker, 1991).

O sombreamento com redes de plástico é uma das principais aplicações agrícolas dos materiais plásticos que protege dos riscos meteorológicos, insetos e pequenos animais e reduz a radiação solar. O polietileno de alta densidade é o material plástico mais usado na agricultura por ser um material não tóxico, que pode ser utilizado em contato direto com plantas, é completamente reciclável, facilmente conversível, à prova de água, duradouro se estabilizado para os raios ultravioletas (UV) e possui boas características mecânicas (Castellano et al., 2008).

Al-Helal & Al-Musalam. (2003) e Abdel-Ghany et al. (2012) consideram que em condições naturais e estáveis os fatores mais importantes que afetam a emissividade das redes de sombreamento são a temperatura do ar, a cor, a porosidade e o tipo de textura da rede. A baixas temperaturas do ar, nenhum dos fatores anteriores tem um efeito significativo na emissividade das redes de sombreamento.

Em relação ao tipo de fio e textura, os fios de HDPE (polietileno de alta densidade) são produzidos em dois tipos principais: monofilamentos redondos e fitas planas. Os monofilamentos

redondos são extrudidos directamente, mas para obter fitas planas é necessário primeiro produzir o filme da espessura e cor pretendidas e finalmente cortá-lo. Dependendo do tipo de textura, existem três principais tipologias de redes para aplicações agrícolas comuns: tecido liso ou textura italiana fig. 5(a); tecido inglês ou textura de Leno fig. 5(b) e Malha ou textura Raschel fig. 5(c).

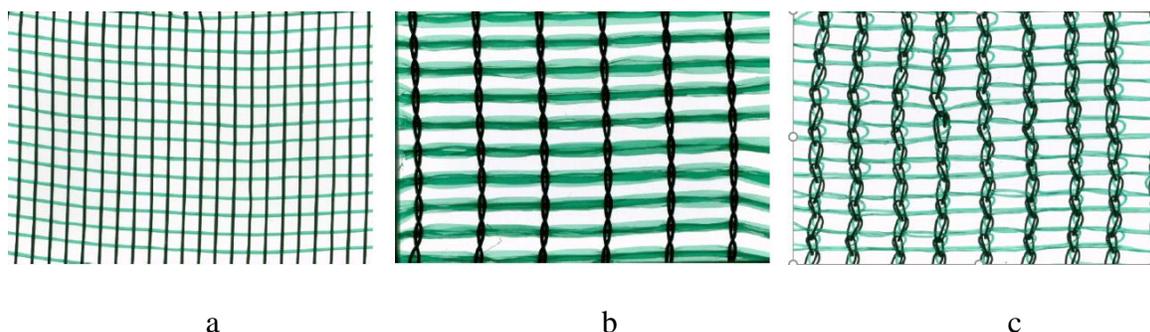


Figura 5. (a) tecido liso ou textura italiana; (b) tecido inglês ou textura de Leno; (c) Malha ou textura Raschel

Fonte: (Castellano et al., 2008)

Dependendo da textura, os segmentos individuais são ligados uns aos outros de tal forma que formam uma estrutura geométrica porosa regular, a malha. O tamanho da malha é a distância entre dois fios na direção da urdidura ou da trama. O tamanho da malha é expresso em mm e varia de 0,2 a 3,1 mm para redes anti insetos, de 1,7 a 7,0 mm para redes de sombreamento, de 2,5 a 4,0 mm para redes anti granizo, de 1,8 a 7,0 mm para redes quebra-vento, enquanto valores mais altos, de 3 a 4 cm, caracterizam as redes anti pássaros (Castellano et al., 2008). Uma rede com a mesma textura e a mesma cor, mas com menor porosidade, terá uma transmissão de luz menor e poderá resultar num nível de luz reduzido ao longo do ano (Hemming et al., 2008).

Xu et al. (2017) ao comparar a temperatura do ar em culturas ao ar livre e sob coberto (*screenhouse*) descobriram que, as telas diminuíam a temperatura do ar, a temperatura do solo e a intensidade da luz em 2,31%, 2,67% e 18,45%, respetivamente em 2014 e 2,47%, 2,44% e 21,34%, respetivamente em 2015. Além disso, a humidade relativa do ar no interior da construção foi superior à verificada no ar livre em 1,81% e 1,96% em 2014 e 2015, respetivamente. Estes resultados mostram claramente o potencial de sombreamento na redução da temperatura do ar.

As propriedades radiométricas dos materiais de cobertura são geralmente definidas por meio de coeficientes calculados como valores médios de transmitância para diferentes intervalos de

comprimento de onda: a faixa ultravioleta (UVA e UVB) UVA (320–400 nm, também chamada de luz negra ou onda longa), UVB (280-320 nm, também chamada de onda média), a radiação fotossinteticamente ativa PAR (400-700), a faixa solar e a faixa de radiação infravermelha de onda longa LWIR maior que 2500 nm (Scarascia-Mugnozza et al., 2004).

A cor da rede tem uma influência importante no nível de luz dentro da construção. Segundo Hemming et al. (2008) uma construção coberta com a rede branca do Scirocco 50 (grupo de rede agrícolas produzidas pela Arrigoni) transmite mais radiação PAR que a rede preta com a mesma textura e porosidade. As redes de sombreamento pretas ou verdes são usadas sobre ou sob o material de revestimento da estufa durante os períodos mais quentes, principalmente nos países mediterrâneos, a fim de reduzir as temperaturas do ar dentro da estufa (Briassoulis et al., 2007; Kittas et al., 2012).

Redes com fios transparentes e pretos possuem diferentes valores de transmissividade. Esse valor pode ser um parâmetro na escolha da rede, dependendo das condições climáticas da região e do desempenho requerido para o sistema de compensação. A cor de uma rede influencia a distribuição espectral da radiação que passa através da rede, e conseqüentemente, a escolha da cor da rede combinada com as exigências de radiação da planta poderia ser estratégica para otimizar a produção e de forma mais geral, o desempenho exigido para a rede (Baille et al., 2001; Castellano et al., 2008). Por outro lado, a refletividade da rede está estritamente envolvida na avaliação estética da rede na paisagem rural. Neste caso, redes com menores valores de refletividade devem ser escolhidas para reduzir o impacto visual da construção (Castellano et al., 2008).

A transmissibilidade à radiação fotossinteticamente ativa é a propriedade radiométrica mais importante dos materiais de cobertura do ponto de vista agronômico, visto que o PAR é necessário para a fotossíntese e o crescimento das plantas (Castellano et al., 2008).

Um parâmetro comercial muito comum que define uma rede é o fator de sombreamento (SF,%) que descreve a capacidade de uma rede para absorver ou refletir uma certa parte da radiação solar. Isto depende da cor, do tamanho da malha e da textura da rede (Pearson et al., 1995; Castellano et al., 2008). Este parâmetro é atualmente utilizado pelos fabricantes para caracterizar o impacto na luz, que corresponde à quantidade relativa de radiação que é absorvida e refletida na

faixa visível ou na radiação PAR (Castellano et al., 2008). Deste modo, SF representa uma estimativa da perda de luz devido à rede, mas não informa sobre as mudanças qualitativas (espectrais).

Em relação às propriedades físicas destacam-se a permeabilidade ao ar que é a capacidade da rede de transmitir o ar através dela, característica esta relacionada com o transporte de fluídos através da rede. A permeabilidade ao ar é fortemente influenciada por parâmetros como a viscosidade do ar e a velocidade do vento, dimensão e forma dos fios, espaços entre os fios e a textura da malha (Miguel et al., 1997; Castellano et al., 2008).

A permeabilidade e a porosidade são parâmetros básicos que influenciam tanto os coeficientes de pressão na rede quanto o clima sob as redes, em termos de velocidade do ar, humidade e temperatura. A porosidade de uma estrutura geométrica porosa representa a percentagem de área aberta da rede dividida pela área total da rede. Neste contexto surge outro conceito designado por solidez que é o oposto da porosidade e que representa a percentagem de área sólida das redes dividida pela área total da rede (Castellano et al., 2008). Cohen & Fuchs (1999) no seu trabalho sobre medição e previsão de propriedades radiométricas de redes de sombreamento reflexivas e telas térmicas sugeriu que a porosidade pode ser avaliada por meio de três métodos: balanço de radiação, interceção da radiação solar e análise de imagens de materiais.

Alguns materiais possuem características que permitem que sejam usados em redes com dupla função, durante os meses frios do ano, a fim de reduzir a perda de calor durante a noite (telas térmicas) e ao mesmo tempo podem ser usadas para sombreamento nos dias quentes de verão. As telas térmicas são usadas dentro das estufas para limitar tanto as perdas de calor por convecção quanto por radiação térmica, especialmente durante as noites frias de inverno. Normalmente, este tipo de aplicação requer redes de cor de alumínio para aumentar a reflexão da radiação térmica emitida no interior da estufa (Castellano et al., 2008; Ahemd et al., 2016). Permitem reduzir os custos de aquecimento e são eficientes na redução da incidência de geada (Teitel, 2007). Um desenvolvimento recente é o uso de telas de absorção ultravioleta (UV), que reduzem as populações de pragas cuja visão é limitada à porção UV do espectro (Antignus et al., 1998; Tanny et al., 2003).

2.2.3 Arrefecimento

O arrefecimento de uma infraestrutura de cultivo protegido é uma tarefa bastante difícil e complicada, muito mais complexa do que o aquecimento, já que os dispositivos de arrefecimento usados em outros tipos de edifícios exigem enormes investimentos e alto consumo de energia (Baille, 1999). Em vários estudos são destacadas técnicas de arrefecimento que podem ajudar a manter de uma forma eficiente a temperatura e a humidade do ar numa estufa em níveis adequados durante os períodos quentes, não obstante muitas vezes necessitem de modelos fidedignos para estimar cargas de arrefecimento e gerir adequadamente o equipamento de controlo climático (Kittas et al., 2003). Em termos gerais, tal como já referido, a ventilação natural, as telas de sombreamento e sistemas de arrefecimento evaporativo são as técnicas mais comuns.

Os sistemas de arrefecimento evaporativo com ventiladores e painéis humidificados localizados em paredes opostas, baseiam-se no princípio de que a evaporação consome energia. De facto, o arrefecimento é explicado pela passagem do ar quente através da corrente de água nos painéis, impulsionando pela ação dos ventiladores extratores localizados no lado oposto, que obrigam o ar exterior a entrar através dos painéis, onde o ar é arrefecido e humidificado (Sethi & Sharma, 2007; Ghoulam et al., 2019). A eficiência deste sistema depende em grande parte dos valores da temperatura e humidade relativa do ar verificado no exterior da estufa (Ahemd et al., 2016).

No que concerne às desvantagens do uso deste sistema, este método cria condições de heterogeneidade na distribuição da temperatura ao longo do comprimento da construção, bem como pode ocorrer o entupimento dos painéis, o que leva a diminuir a eficiência do sistema e aumentar o stress da cultura. Além deste aspeto os altos custos iniciais e a necessidade de fornecimento de energia elétrica ininterruptamente para acionar os ventiladores e a bomba de água pode ser um problema em algumas áreas rurais (Kittas et al., 2005; Ahemd et al., 2016).

O sistema por aspersão consiste na pulverização de água na superfície da cobertura, levando ao aumento da superfície de água livre e logo da taxa de evaporação. O processo de evaporação causa o arrefecimento da cobertura e do ar nas proximidades imediatas (Arbel et al., 1999). Apesar deste método apresentar uma grande vantagem relacionado ao seu baixo custo tem algumas desvantagens que não podem ser descartadas como o baixo efeito de arrefecimento em comparação

com os sistemas de painéis (Cohen & Fuchs, 1999) e a criação de condições favoráveis ao desenvolvimento de doenças fúngicas, bem como o elevado consumo de água (Arbel et al., 2003).

O sistema de arrefecimento por nebulização é um método baseado no fornecimento de água na forma de microgotas (na faixa de neblina-diâmetro de 2 a 60 μm) de modo a aumentar a troca de calor e massa entre a água e o ar. Isso ocorre porque (para uma dada quantidade de água) a área da superfície da água em contato com o ar aumenta em relação direta com a diminuição do diâmetro das gotas (Arbel et al., 2003). Também uma das características de gotas nesta faixa de tamanho é que as forças de atrito decorrentes do movimento das gotas através do ar são relativamente grandes, de modo que a velocidade terminal das gotas que caem é baixa (até a ordem de $0,1 \text{ m s}^{-1}$ em ar parado), o que resulta em um longo tempo de permanência, permitindo a evaporação completa das gotas (Arbel et al., 1999). Ademais, devido ao seu pequeno tamanho, essas gotas são adequadamente transportadas pelo fluxo de ar. Estas características combinadas garantem uma evaporação altamente eficiente da água, mantendo a folhagem seca. De acordo com Arbel et al. (1999), a maioria dos sistemas de nebulização é baseada em bicos de alta pressão, caracterizados por baixo custo e com níveis de eficiência em arrefecimento elevado em relação a outros sistemas.

2.3 Modelos de balanço térmico e de massa

O balanço energético (ou balanço térmico) consiste no balanço entre ganhos e perdas de calor durante um determinado período (Harmanto et al., 2006). As condições resultam de mecanismos complexos envolvendo os processos de troca de calor e de massa, sendo fortemente dependente das condições exteriores especialmente em estufas não aquecidas. Parâmetros de microclima interno tais como, temperatura do ar, temperatura do solo e das culturas e a humidade do ar podem ser estimados utilizando os balanços de energia e de massa (vapor de água) para os vários componentes do sistema (Baptista et al., 2010). O balanço energético baseia-se no princípio da conservação de energia, ou seja, os ganhos de calor são iguais às perdas de calor num dado momento. Ganhos e perdas de calor afetam a energia interna, que determina a temperatura. As trocas de calor entre o interior e o exterior da infraestrutura é um mecanismo complexo conforme corroborado por autores acima citados, envolvendo trocas de calor sensível por radiação, condução, convecção e calor latente (Harmanto et al., 2006).

De acordo com Walker et al. (1983) e Carrasco et al. (1984) a equação geral do balanço térmico é a seguinte:

$$Q_I + Q_R + Q_P + Q_f = \pm(Q_{cc} + Q_g) + Q_{SV} + Q_{LV} + Q_i + Q_{IF} + Q_{FO} \quad (1)$$

sendo Q_I os ganhos de calor devido à radiação solar, Q_R os ganhos de calor devido à respiração das plantas, Q_P os ganhos de calor devido ao aquecimento, Q_f os ganhos de calor devido ao equipamento, Q_{cc} as perdas por condução-convecção através do material de cobertura, Q_g as perdas de calor através do solo, Q_{SV} as perdas de calor sensível devido à ventilação, Q_{LV} as perdas de calor latente devido à ventilação, Q_i as perdas de calor por infiltração, Q_{IF} as perdas por radiação térmica e Q_{FO} as perdas de calor devido à fotossíntese, todos expressos em W.

Alguns dos termos desta equação são pouco significativos comparativamente aos outros e por isso são normalmente desprezados. É o caso do calor de respiração, que representa cerca de 1/8 a 1/10 da energia associada à fotossíntese, que é apenas cerca de 3 % da radiação solar que incide nas folhas, pelo que também é considerada nula (Walker et al., 1983; Carrasco et al., 1984a).

As transferências de calor com o solo podem ser ganhos ou perdas, dependendo se a temperatura do ar é menor ou maior que a do solo. De qualquer das formas, é sempre um valor muito baixo quando comparado com as trocas pela envolvente, podendo assumir-se como nulas. A infiltração é o movimento natural do ar através de pequenas aberturas nas junções dos elementos da envolvente devido à ação do vento e da impulsão térmica e são, de uma forma geral, muito pequenas quando comparadas com as perdas de calor devido à ventilação e através da envolvente, razão pela qual são na maior parte das situações consideradas nulas. Em resumo, na equação simplificada do balanço térmico para o período diurno, os ganhos de calor são sobretudo devido à radiação solar e as perdas de calor por ventilação e através do material de cobertura.

De acordo com Harmanto et al (2006) a equação do balanço de energia de uma estufa ventilada naturalmente têm a seguinte formula:

$$Q_{sun} - (Q_c + Q_l) - Q_v - Q_{gr} - Q_p = 0 \quad (2)$$

Onde Q_{sun} é a radiação solar absorvida dentro da estufa; Q_c é o calor transferido através do revestimento e cobertura; Q_i é a perda de calor devido a infiltração; Q_v é o calor removido pela ventilação; Q_{gr} é o fluxo de calor no solo; Q_p é a energia usada na fotossíntese. Estes autores referem que a equação anterior pode ser simplificada em:

$$Q_{\text{sun}} = Q_v + Q_{\text{gr}} \quad (3)$$

Modelos de balanço de massa podem ser usados para estimar taxas de ventilação a partir de dados recolhidos diretamente em estufas. O cálculo do balanço de massa, recorrendo a modelos simplificados que relacionam o caudal de ventilação com a massa de vapor de água a retirar (que resulta da evapotranspiração) e com a diferença de humidade do ar no interior e no exterior (Baptista, 2018; Stanghellini et al., 2019).

A evapotranspiração (transpiração da cultura e evaporação do solo) é a principal fonte de vapor de água numa estufa enquanto a remoção do vapor ocorre através da condensação e ventilação (Stanghellini & de Jong, 1995).

Segundo Montero et al. (1998) os modelos climáticos são conjuntos de expressões matemáticas que descrevem o comportamento climático das infraestruturas de cultivo protegido. Estes modelos têm múltiplos objetivos:

- Permitem compreender como se formam as condições ambientais dentro da construção em função das condições meteorológicas exteriores;
- Servem para interpretar as condições ambientais e do comportamento das culturas;
- Fornecem informações básicas para o projeto de infraestruturas de cultivo protegido e dimensionamento de equipamentos de climatização;
- Servem como base para obter sistemas de controlo climático automático.

Conjugar os fluxos ou trocas energéticas mediante uma expressão matemática é complexo devido a numerosos fatores que intervêm e pelo facto de estarem relacionados entre si, (González & Camacho, 1989). A maioria dos modelos é específica para uma combinação particular do tipo da infraestrutura, cultura, região e condições meteorológicas. São formulados e validados para

determinadas condições e não é simples extrapolá-los diretamente para outras condições diferentes. Para serem utilizados os coeficientes precisam ser calibrados pelo trabalho experimental, seguido da validação do modelo adaptado (Baptista et al., 2010). A maior dificuldade de usar o balanço energético é devido ao grande número de variáveis envolvidas e a necessária precisão em suas medições (Baptista et al., 2001).

2.4 Modelos de previsão de produção para culturas hortícolas

A horticultura precisa de modelos de culturas para uma ampla gama de aplicações, incluindo previsão de produção. Os modelos de previsão são ferramentas poderosas para testar hipóteses, sintetizar e transmitir conhecimento, descrever e compreender sistemas complexos e comparar diferentes cenários. Podem ser usados para previsão e planeamento de produção, em sistemas de apoio à decisão e controlo do clima de estufa, abastecimento de água e fornecimento de nutrientes. Modelos de previsão de crescimento e rendimento foram desenvolvidos para um grande número de culturas, incluindo tomate (Marcelis et al., 2009).

O sucesso do sistema de previsão de produção depende fortemente da capacidade do modelo para quantificar a influência do clima, do solo e das condições de manejo no rendimento das culturas e na capacidade do sistema de integrar adequadamente os resultados da simulação de modelo (Wit & Van Diepen, 2008).

A temperatura é uma das principais variáveis climáticas que influenciam o crescimento das culturas e, para manter a confiabilidade de um modelo, é necessário estar ciente das variações de temperatura dentro de uma estufa. Por exemplo, o rendimento de uma cultura de tomate dentro de uma estufa com ventilação natural é fortemente afetado pela variabilidade da temperatura, isto é, o microclima vai definir a qualidade da produção e a quantidade produzida e de recursos necessários (Bojacá et al., 2009).

Em relação aos modelos de previsão de culturas Marcelis et al. (1998) concluíram que as características fortes dos modelos explicativos de crescimento das culturas são a simulação da intercetação luminosa e da fotossíntese bruta, enquanto as características fracas são a simulação do desenvolvimento da área foliar, respiração de manutenção, aborto de órgãos, conteúdo de MS e qualidade do produto.

Os modelos são compostos por vários submodelos, que podem ser validados separadamente e podem ser modificados com muita facilidade para descrever uma situação diferente. Também podem ser adaptados alterando os valores dos parâmetros, ou podem ser alterados mais drasticamente substituindo um submodelo por outro.

Em resumo, pode-se afirmar que um modelo matemático para uma cultura consiste em um conjunto de expressões matemáticas que descrevem as mudanças em uma variável de estado em resposta a processos fisiológicos ativos na planta (por exemplo, mudanças de biomassa resultantes da fotossíntese e respiração) (Medina-Ruíz et al., 2011).

Ittersum et al (2003) descreve uma serie de abordagens de modelos abrangentes para as principais situações de produção, apresentando uma visão geral da maioria dos modelos. Em relação aos modelos de previsão para cultura de tomate enumeram-se seguintes modelos: TOMGRO, TOMSEED e o modelo apresentado por Challa e Bakker. Estes modelos usam uma abordagem da fotossíntese em que se considera uma relação linear entre a produção de biomassa e a quantidade de radiação interceptada (capturada) pela cultura em condições de rega e nutrientes não limitante, na ausência de pragas, doenças e ervas daninhas. Essa relação estabelece um limite finito no potencial de rendimento que pode ser modelado sem entrar em descrições detalhadas dos processos de fotossíntese e respiração (Ittersum et al., 2003).

2.4.1 Modelo TOMGRO

A primeira versão deste modelo foi desenvolvida por Jones et al. (1991) e posteriormente adaptada e melhorada por vários por vários autores como por exemplo Gary (1999), Abreu et al. (2001). Neste modelo consideram-se os principais processos fisiológicos da cultura. A intercetação de luz pelas folhas, é calculada principalmente em função da área foliar e da incidência de luz na cultura. Posteriormente, a taxa de fotossíntese é calculada seguida de cálculos do uso de fotoassimilados para respiração, conversão em matéria seca estrutural, distribuição da matéria seca pelos diferentes órgãos da planta e, finalmente, o peso fresco do peso seco. Também a taxa de transpiração e as necessidades e a absorção de nutrientes são calculadas (Marcelis et al., 2009).

De acordo com Medina-Ruíz et al. (2011) o modelo TOMGRO pode ser facilmente adaptado, e a maioria das suas sub-rotinas podem ser substituídas facilmente por outras, à medida que as

descrições melhoradas se tornam disponíveis. Pode também ser combinado com um modelo mais abrangente que descreva o clima da estufa e apresenta evidências de ser robusto suficiente para uso na otimização económica de condições e gestão do clima de estufa.

Em suma este modelo descreve o crescimento da cultura do tomate quantitativamente, tanto pelo número de frutos como pelo acumular de matéria seca nos vários componentes da planta (raízes, caule, folhas e frutos). Os números de órgãos são derivados da ordem e taxa de aparecimento, envelhecimento, morte e desaparecimento. O acumular de matéria seca é derivado do balanço de carbono e da partição da matéria seca entre os órgãos da planta (Van & Dayan, 1993).

2.4.2 Modelo TOMSEED

É um modelo que simula a produção de matéria seca de acordo com o modelo de Gijzen (1992) e a distribuição da matéria seca com base na taxa de crescimento potencial da planta vegetativa como um todo. Em muitas situações este modelo é usado para prever a necessidade de assimilação instantânea.

A taxa de assimilação bruta diária da cultura é calculada pela integração das taxas de assimilação da folha ao longo do dia para a área foliar total da cultura. O modelo assume canópia uniforme e as características fotossintéticas das folhas individuais são consideradas idênticas para toda canópia (Heuvelink, 1999). É um modelo que mostrou elevada precisão na previsão do crescimento de plantas de tomateiro em função da radiação PAR, da temperatura do ar e da concentração de CO₂. As variáveis simuladas incluem o peso seco de folhas, raízes e caules, índice de área foliar, número de folhas por planta e espessura e comprimento dos caules (Katsoulas et al., 2015).

Os resultados da validação do modelo mostraram que o modelo foi capaz de simular satisfatoriamente a maioria das características das plântulas, como comprimento e espessura da parte aérea, número de folhas por planta e distribuição de peso seco, enquanto outras características como peso seco das folhas, parte aérea e raiz bem como o índice de área foliar, foram modelados com menos sucesso. No entanto, mesmo com pequenas diferenças entre valores medidos e simulados, o modelo oferece a oportunidade de usá-lo para desenvolver e ajustar sofisticados sistemas de controle e gerenciamento climático para o desenvolvimento de plantas de alta qualidade (Katsoulas et al., 2015).

2.4.3 Modelo de Challa e Bakker

É um modelo simplificado para o cálculo da produção potencial de uma cultura desde que água e os nutrientes das plantas não sejam fatores limitantes. É em grande parte baseado em secções do modelo abrangente BACROS que simula a produção de matéria seca de uma cultura em função da radiação solar total diária e da temperatura do ar. A matéria seca produzida é dividida em raízes, folhas, caules e órgãos de armazenamento (Van Keulen et al., 1982).

Por ser um método de previsão baseado na fotossíntese é importante discriminar os componentes de radiação solar direta e difusa. Uma equação é apresentada para estimar a participação de ambos os componentes da radiação global diária medida. A taxa de fotossíntese pode ser calculada a partir da quantidade de luz absorvida pelas folhas e da sua resposta (Spitters et al., 1986).

Segundo Challa & Bakker (1998) a **Estimativa de produção** potencial de matéria seca diária (GTW) baseia-se na relação linear entre o GTW e a radiação global diária média (AVRAD). O AVRAD influencia GTW em várias maneiras porque depende das variações na duração do dia que pode modificar fortemente a taxa de desenvolvimento na fase vegetativa, elevação do sol e a transmissão da radiação através da atmosfera. Devido a essas variações a relação entre o GTW e AVRAD pode apresentar desvios

Segundo estes autores o modelo apresentou grande melhoria pela introdução de um segundo fator, a proporção de radiação difusa (FRDIF).

$$GTW = A + (B + C \times FRDIF) \times AVRAD \quad (4)$$

Os coeficientes A, B e C são constantes que variam em função da pressão de CO₂ (tabela 7). O problema prático em utilizar a equação 4 é pelo facto de dados sobre a radiação difusa não estarem sempre disponíveis, e nesse caso pode-se derivar FRDIF a partir da radiação média diária para um certo local e período.

Tabela 7. Coeficiente de equação 7 a baixa e alta pressão de CO₂

Parâmetro	CO ₂ (Pa)	
	34.0	100.0
A	-1.2	-1.04
B	0.57	0.79
C	0.86	1.00

Fonte: (CHALLA & BAKKER, 1998)

Em resumo, de acordo com Challa & Bakker (1998) este método geral apresentado, é utilizado para fazer predições sobre a produção potencial e rendimento (produtividade) das culturas na estufa, tendo em consideração a radiação global e a localização geográfica. Obviamente este âmbito de aplicação muito amplo precisa de muitas suposições e simplificações, as suposições mais básicas são que a produção é limitada só pela fotossíntese mantendo a pressão de CO₂ como constante, e todas as variações na fotossíntese da cultura são atribuídas a condições da radiação. Importa referir que os autores recomendam cautela para se chegar a uma interpretação realista das premissas obtidas no modelo. No entanto, esta abordagem tem valor para a investigação em horticultura, sempre dependente da validação com dados obtidos experimentalmente.

2.5 Análise de investimento de projetos agrícola

De modo geral, um projeto agrícola pode ser entendido como uma proposta de aplicação no presente de um conjunto de recursos relativamente escassos diretamente associados a combinações mais ou menos diversificadas de atividades exclusiva ou predominantemente agrícolas, feita com a intenção de gerar no futuro um fluxo de bens e serviços de valor bem determinado e por intermédio do qual se visa atingir objetivos de natureza empresarial e social (Avillez, et al., 2006). Considerando a produção em ambiente coberto um projeto agrícola para sua execução é fundamental avaliar a viabilidade económica da atividade.

Segundo Avillez et al. (1988) os projetos agrícolas podem ser classificados em duas grandes categorias, as quais diferem entre si, essencialmente quanto à área de influência e aos tipos de efeitos esperados com a sua realização: 1) projetos de investimento no âmbito da empresa agrícola

que são, usualmente, classificados em projetos de criação de uma nova empresa, investimentos de substituição, investimentos de modernização ou inovação e investimentos de expansão da capacidade instalada e 2) projetos de desenvolvimento agrícola e rural, que se entendem como proposta de aplicação de recursos com uma área de influência que integra um conjunto mais ou menos numeroso de explorações agrícolas destinada à criação de diferentes tipos de bens duradouros e de serviços de interesse individual e coletivo por intermédio do qual se procura possibilitar quer transformações de natureza produtiva e tecnológica quer ajustamentos de natureza estrutural, com a intenção de criar condições favoráveis não só à melhoria dos resultados futuros de cada uma das empresas agrícolas abrangidas como também à promoção do desenvolvimento socioeconómico regional integrado das zonas rurais.

Segundo Soares et al. (1999) investimentos para projetos agrícolas podem ser distinguidos entre duas óticas de avaliação dos investimentos: 1) a económica e social aplicável a investimentos públicos; (2) a empresarial ou financeira que é uma ótica de análise que respeita a determinação da rentabilidade de um projeto na perspetiva estritamente empresarial.

Esta avaliação empresarial ou financeira de projetos empresariais contempla duas etapas, a primeira, económica que visa determinar a rentabilidade dos investimentos independentemente de como sejam financiadas assumindo-se que o são exclusivamente por capitais próprios e a segunda de financiamento, que engloba o esquema particular de endividamento a adotar naquilo que possa afetar a rentabilidade previamente calculada.

A avaliação de projetos de investimento no âmbito da empresa agrícola por intermédio de orçamentos de exploração de tipo global baseia-se no apuramento dos resultados de exploração anual da empresa para as situações «antes» e «depois» da realização dos investimentos. Quando a análise visa a avaliação da rentabilidade empresarial o tipo de orçamento plurianual a adotar é usualmente designado por *cash-flow* do projeto, com base no qual se procede ao estabelecimento dos diferentes tipos de critérios de rentabilidade empresarial (Avillez et al, 1988). A separação do *cash-flow* para as situações antes e após financiamento apresenta grande vantagem prática, na medida em que permite uma nítida diferenciação entre os elementos necessários para a análise da rentabilidade empresarial do conjunto dos capitais investidos e da fração correspondente aos capitais próprios (Avillez et al., 2006).

De acordo com Soares et al. (1999) a análise da rentabilidade empresarial de projetos de investimento com um período de maturação relativamente longo terá de se basear em critérios que levam em consideração o fator tempo. Os critérios de avaliação mais usualmente utilizados no âmbito da empresa agrícola são o VLA (valor líquido atualizado), a TIR (taxa interna de rentabilidade), o PR (Período ou tempo de recuperação) e o RBC (Cálculo do Rácio Benefício-Custo), sendo ainda de referir o ABL (acréscimo de benefício líquido), cuja determinação se baseia nos VLAs do projeto e da situação sem projeto, e que é adequado para análise de investimentos nas empresas de tipo familiar.

O VAL corresponde ao somatório atualizado dos fluxos periódicos, normalmente anuais. VAL positivo significa que o projeto é gerador de mais valor do que a melhor aplicação alternativa dos recursos para um risco equivalente. O VAL é considerado um indicador de rentabilidade por excelência de um projeto de investimento (Soares et al., 1999). Outro indicador usualmente calculado a par do VAL corresponde ao TIR que é uma taxa de desconto hipotética que, quando aplicada a um fluxo de caixa, faz com que o valor das despesas, a valores atuais, seja igual aos valores dos retornos dos investimentos, também relativos ao valor atual (Avillez et al., 2006). Dos principais critérios, por último destaca-se o PR que corresponde ao tempo de recuperação de um investimento e é dado pelo número de anos do seu período de vida útil necessários para que o fluxo de benefícios líquidos positivos iguale o montante total investido (Soares et al., 1999). Segundo (Avillez et al., 1988) trata-se de uma medida de rentabilidade assente fundamentalmente no fator tempo, à qual se apontam duas importantes limitações: não ter em conta os benefícios líquidos proporcionados depois do período de recuperação e até ao fim da vida útil do investimento, nem o modo como evoluem durante aquele período os valores dos benefícios líquidos nele gerados. Os inconvenientes que decorrem destas limitações para efeitos de comparação de investimentos alternativos são, portanto, os de resultarem penalizados aqueles que proporcionam benefícios líquidos significativos para além do período de recuperação e, por outro lado, não serem devidamente valorizados os que durante este período originam benefícios líquidos mais elevados logo desde os primeiros anos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização geográfica das regiões selecionadas

Para o presente trabalho foram escolhidas quatro regiões (cidades) de Moçambique: Beira, Chimoio, Maputo e Nampula, conforme a figura 6. Essa seleção foi baseada no facto de que essas cidades são os maiores centros urbanos do país, correspondendo aos maiores centros de consumo, pelo que a maior parte das hortícolas importadas são canalizadas para essas regiões. Além disso, existe potencial para a produção nestas zonas, uma vez que há disponibilidade de terra, de água, de mão-de-obra, de energia, sendo esses requisitos essenciais para o estabelecimento de qualquer atividade agrícola.

Duas das quatro regiões selecionadas localizam-se na zona centro, uma na zona sul e uma na zona norte do país, tal como mostra o mapa de localização geográfica abaixo. A cidade de Maputo localiza-se na Província de Maputo, 25° 58' S 32° 35' E, a cidade da Beira na província de Sofala, 19° S 34° 45' E, a cidade de Chimoio na província de Manica, 19° 30' S 33° 15' E e a cidade de Nampula na província de Nampula, 15° 15' S 39° 30' E.

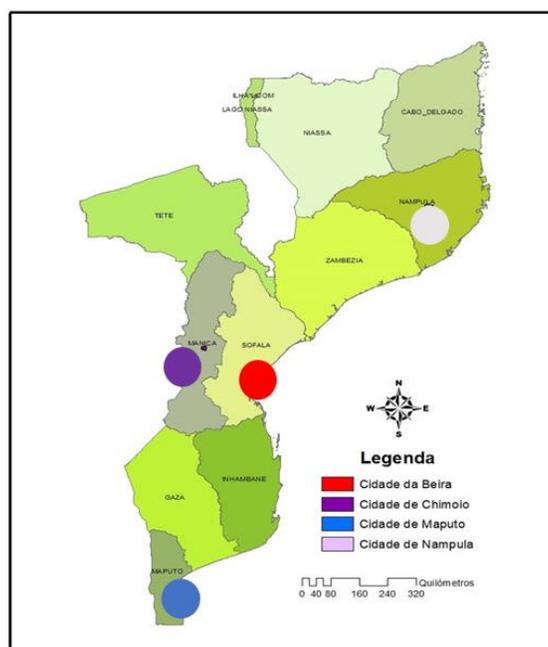


Figura 6. Localização geográfica das regiões selecionadas para o trabalho, Mapa adaptado do original de Berta Cumbana.

3.2 Caracterização climática das regiões selecionadas

A caracterização climática das regiões selecionadas foi realizada a partir de dados climatológicos de 30 anos recolhidos a partir do banco de dados da NASA (Surface Meteorology and Solar Energy, 2019). Foram recolhidos dados relativos à temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, para as 4 cidades. Em relação ao valor médio considerado para o número de horas do sol recorreu-se ao trabalho de Nijegorodov et al (1983), que refere como valor médio 7,8 h de sol por dia. Este valor foi utilizado para a conversão de kWh dia⁻¹ para W. Os dados climáticos recolhidos encontram-se nas tabelas 8 a 11.

Tabela 8. Dados de caracterização climática da localidade da Beira

PARÂMETROS	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa (%)	74,62	75,77	75,44	72,42	68,38	66,52	66,96	65,23	63,49	63,84	64,88	70,82
Temperatura máxima do ar (°C)	31,49	31,05	30,73	29,63	28,54	27,03	26,54	28,18	30,79	31,99	32,82	31,98
Temperatura mínima do ar (°C)	24,81	24,58	23,94	22,14	19,95	18,15	17,52	18,27	20,21	22,04	23,6	24,43
Temperatura média do ar (°C)	27,76	27,43	26,94	25,45	23,74	22,08	21,47	22,57	24,71	26,23	27,55	27,77
Velocidade do vento (ms ⁻¹)	2,79	2,83	2,62	2,58	2,35	2,36	2,55	2,8	3,27	3,53	3,33	2,89
Radiação solar diária-horizontal (kWh/m2dia)	6,08	5,87	5,47	4,96	4,49	4,02	4,16	4,89	5,62	5,87	6,07	5,99
Radiação solar diária (Wm ⁻²) se 7,8 h dia ⁻¹ de sol	779,49	752,56	701,28	635,90	575,64	515,38	533,33	626,92	720,51	752,56	778,21	767,95

Tabela 9. Dados de caracterização climática da localidade de Nampula

PARÂMETROS	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa (%)	83,36	85,9	86,25	84,86	82,15	79,61	76,07	69,62	59,82	55,16	57,15	71,68
Temperatura máxima do ar (°C)	29,53	28,98	28,87	28,25	27,01	25,73	25,84	28,08	31,91	34,5	35,23	32,3
Temperatura mínima do ar (°C)	21,97	21,69	21,12	19,59	17,35	15,39	14,73	15,29	17,39	19,71	21,37	21,95
Temperatura média do ar (°C)	25,32	24,93	24,5	23,35	21,56	19,89	19,56	20,92	23,85	26,34	27,57	26,55
Velocidade do vento (ms ⁻¹)	1,74	1,67	1,61	1,79	1,76	1,84	2	2,18	2,65	2,96	2,81	2,01
Radiação solar diária-horizontal (kWh/m2dia)	5,64	5,6	5,41	4,94	4,52	4,11	4,24	5,01	6,01	6,42	6,38	5,94
Radiação solar diária (Wm ⁻²) se 7,8 h dia ⁻¹ de sol	723,08	717,95	693,59	633,33	579,49	526,92	543,59	642,31	770,51	823,08	817,95	761,54

Tabela 10. Dados de caracterização climática da localidade de Maputo

PARÂMETROS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa (%)	74,5	75,0	74,3	72,7	70,5	67,7	67,9	66,2	65,8	68,8	71,5	73,3
Temperatura máxima do ar (°C)	29,9	29,8	29,5	28,0	26,6	24,9	24,3	25,7	27,4	28,0	28,7	29,5
Temperatura mínima do ar (°C)	23,4	23,6	22,9	21,0	18,6	16,4	16,0	16,8	18,5	19,9	21,1	22,4
Temperatura média do ar (°C)	26,2	26,3	25,8	24,0	22,1	20,2	19,7	20,7	22,4	23,5	24,5	25,6
Velocidade do vento (ms ⁻¹)	3,7	3,6	3,4	3,3	3,2	3,4	3,5	3,8	4,2	4,2	4,0	3,7
Radiação solar diária-horizantal (kWh/m2dia)	6,2	5,8	5,2	4,6	4,1	3,7	3,9	4,4	5,0	5,1	5,5	6,0
Radiação solar diária (Wm ⁻²) se 7,8 h dia ⁻¹ de sol	791,03	739,74	665,38	583,33	521,79	478,21	498,72	558,97	638,46	651,28	706,41	764,10

Tabela 11. Dados de caracterização climática da localidade de Chimoio

PARÂMETROS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa (%)	77,43	79,55	79,67	76,47	70,03	66,93	65,06	58,72	52,88	55,97	61,17	73,64
Temperatura máxima do ar (°C)	29,17	28,44	27,95	26,56	25,44	23,87	23,76	26,6	30,53	32,02	32,07	29,79
Temperatura mínima do ar (°C)	19,41	19,07	18,21	15,81	13,36	11,41	10,93	12,09	14,66	16,82	18,39	19,14
Temperatura média do ar (°C)	23,83	23,29	22,58	20,61	18,69	16,9	16,55	18,48	21,75	23,63	24,58	23,99
Velocidade do vento (ms ⁻¹)	1,89	1,94	1,81	1,72	1,54	1,62	1,78	1,92	2,29	2,44	2,17	1,88
Radiação solar diária-horizantal (kWh/m2dia)	5,98	5,74	5,44	5,07	4,61	4,1	4,27	5,11	5,79	5,99	6,01	5,75
Radiação solar diária (Wm ⁻²) se 7,8 h dia ⁻¹ de sol	766,67	735,90	697,44	650,00	591,03	525,64	547,44	655,13	742,31	767,95	770,51	737,18

3.3 Exigências climáticas da cultura do tomate

Após uma breve análise das principais culturas hortícolas cultivadas em Moçambique, a cultura do tomate foi escolhida, uma vez que o tomate é um produto muito apreciado. A procura é elevada e a produção nacional não é suficiente, o que contribui para altos níveis de importação e elevado preço de mercado. Por outro lado, a cultura de tomate é uma grande fonte de receita para a população. Em relação às exigências climáticas da cultura, teve-se em consideração os valores apresentados por Cermenon (1990) para a temperatura (quadro 2) e humidade relativa, que constam no capítulo da revisão bibliográfica.

Para procedimentos de análise dos requisitos microclimáticos da cultura dentro da infraestrutura de cultivo coberto, relacionando em termos cronológicos as etapas de crescimento da cultura de tomate, recorreu-se a descrição ilustrativa das etapas de crescimento com a respetiva exigência climática. Com os parâmetros relativos à temperatura crítica, humidade relativa e radiação

solar ótima relacionando com a fenologia da cultura de tomate, foi possível analisar a influência do material de cobertura na modificação do microclima interno e consequentemente no crescimento e desenvolvimento da cultura.

3.4 Caracterização da construção

Para a construção modelo considerada neste trabalho, usou-se a infraestrutura localizada no Instituto Agrário de Chimoio (Figura 7), cujas dimensões se encontram na tabela seguinte e que foram consideradas para os cálculos do balanço térmico. Os materiais de estrutura consistem em arco metálico, postes e barrotes de madeira, neste caso de eucalipto e de pinho. Estes materiais estão disponíveis em Moçambique e o seu custo é acessível aos produtores familiares, que representam a realidade atual do sector.



Figura 7. Infraestrutura de cultivo coberto do instituto agrário de Chimoio

Tabela 12. Dimensões da infraestrutura de cultivo protegido do Instituto Agrário de Chimoio

Comprimento (m)	30
Largura (m)	10
Altura média (m)	4
Área coberta (m ²)	300
Área total do material de cobertura (m ²)	584

Relativamente ao material de cobertura, inicialmente pretendeu-se avaliar vários materiais com características distintas e principalmente recorrendo a materiais locais, disponíveis em Moçambique. No entanto, por limitação de tempo para a realização desta dissertação e também pela dificuldade em obter dados relativos às características dos materiais desde Moçambique, considerou-se somente um material de cobertura. A escolha recaiu sobre uma rede de sombra de cor verde, muito semelhante à usada na infraestrutura do Instituto Agrário, e que, por haver sido estudada anteriormente, se encontram publicadas todas as características necessárias para os cálculos de balanço térmico. Trata-se, de rede de sombreamento de cor verde (Thrace Plastics C SA Xanthi, Grécia), com transmissão à radiação solar média de 64%, o que significa um fator de sombra de 36%, malha de tamanho e arranjo irregular e porosidade de 63% (Rigakis et al, 2015).

3.5 Metodologia de cálculo

3.5.1. Balanço energético e Balanço de massa

Para estimar a temperatura do ar recorreu-se à técnica do balanço energético (ou balanço térmico), que permite estimar a temperatura do ar interior conhecendo a temperatura do ar no exterior, o nível de radiação solar e as características do material de cobertura e dos equipamentos de controlo ambiental existentes. Utilizou-se a equação simplificada do balanço de energia, equação 5.

$$QI = QCC + QLV + QSV \quad (5)$$

Onde QI representa os ganhos de calor devido à radiação solar, QCC as perdas de calor por condução-convecção através do material de cobertura, QSV as perdas de calor sensível devido à ventilação, QLV as perdas de calor latente devido à ventilação, todas expressas em W. As componentes relativas às perdas de calor através do material de cobertura e perdas de calor sensível devido à ventilação podem representar um ganho de calor, sempre que a temperatura do ar no exterior seja superior à temperatura do ar no interior da construção. De acordo com Rigakis et (2015) no caso de construções totalmente cobertas com rede sombra, toda a área de cobertura pode ser assumida como área de ventilação, razão pela qual o balanço é novamente simplificado (equação 6).

$$QI = QLV + QSV \quad (6)$$

Os ganhos de calor devido à radiação solar (QI) foram calculados usando a equação 7 (Walker et al., 1983):

$$QI = \tau I A F \quad (7)$$

Sendo τ o coeficiente de transmissão à radiação solar, que é função do material de cobertura (%), e que para a rede de sombra verde usada é de 64%, como antes referido. I representa a intensidade da radiação solar (Wm^{-2}), que varia com a latitude e durante o dia à medida que o sol sobe no horizonte, e cujos dados foram recolhidos da base de dados da NASA. A_F é a área da construção em planta (m^2).

As perdas de calor latente resultam da transpiração das plantas e evaporação do solo (evapotranspiração), e determinaram-se usando a equação 8, em que E representa a relação entre a energia associada à evapotranspiração das plantas em crescimento e a radiação solar, sendo em estufas normalmente recomendado o valor de 0,5 (Walker & Short, 1983) e F (%) é o nível de ocupação da estufa, que varia ao longo do ciclo cultural.

$$QLV = EFQI \quad (8)$$

Relativamente às perdas de calor sensível pela ventilação, estas foram calculadas recorrendo à equação 9, onde CV é o caudal de ventilação (m^3s^{-1}), μ a massa volúmica do ar à temperatura interior (kgm^{-3}), C_p o calor específico do ar seco ($\text{Jkg}^{-1}\text{°C}^{-1}$) e ΔT é a diferença da temperatura do ar no interior e no exterior (°C).

$$QSV = CV\mu C_p \Delta t \quad (9)$$

Neste caso pretendia-se estimar a temperatura no interior da construção totalmente coberta com rede de sombra, assumindo que a temperatura interior será menor que a temperatura verificada no exterior, de acordo com os resultados obtidos anteriormente por vários autores (Haijun et al., 2015; Rigakis et al., 2015; Xu et al., 2015).

$$t_i = t_e - \Delta t \quad (10)$$

$$\Delta t = \frac{(1-EF)QI}{CV\mu C_p} \quad (11)$$

A diferença de temperatura foi assim estimada usando a equação do balanço térmico, mas antes foi necessário proceder ao cálculo do caudal de ventilação. Para tal, recorreu-se ao modelo apresentado por Rigakis et al. (2015) que permite estimar o caudal de ventilação para construções totalmente cobertas com rede (equação 12).

$$CV = \frac{AT}{2} \times Cd\sqrt{C_w} \times v + G_{sc,0} \quad (12)$$

Em que AT é a área total de ventilação, C_d o coeficiente de descarga das aberturas de ventilação, C_w é o coeficiente de pressão do vento, v é a velocidade do vento e $G_{sc,0}$ o caudal de ventilação mínimo, que ocorre se a velocidade do vento for zero. Os valores considerados para o coeficiente global de ação do vento ($Cd\sqrt{C_w}$) e para o caudal mínimo foram determinados por Rigakis et al. (2015) para o mesmo tipo de estrutura e material de cobertura, respetivamente $0,072 \pm 0,008$ e $2,532 \pm 2,385$.

No que se refere à previsão da humidade relativa do ar interior, esta teve como base o cálculo do balanço de massa, usando um modelo simplificado (equação 13) referido por Stanghellini et al. (2019), que relaciona o caudal de ventilação com a massa de vapor de água a retirar (MV) e com a diferença de humidade do ar no interior e no exterior ($\Delta\rho$, em gm^{-3}). A partir desta equação é possível determinar a diferença de humidade entre o interior e exterior, uma vez que o caudal de ventilação foi previamente estimado, e que é possível determinar a massa de vapor de água a partir de QLV . De facto, QLV representa a energia associada à evapotranspiração, sendo possível determinar a massa de vapor de água em gs^{-1} , usando a equação 14, onde Qlv representa o calor latente de vaporização (Jkg^{-1}).

$$CV = \frac{MV}{\rho_i - \rho_e} \quad (13)$$

$$MV = \frac{EFQI}{Qlv} * 1000 \quad (14)$$

Desde modo, ao determinar a diferença entre a humidade absoluta interior e exterior ($\Delta\rho$), e conhecendo a humidade absoluta exterior (ρ_e), foi possível estimar a humidade absoluta interior (ρ_i) e finalmente a humidade relativa (HR, %), recorrendo às equações 15 a 17. Sendo e_s a tensão de saturação (hPa), e_a a tensão actual (hPa) e T a temperatura do ar (Kelvin). Considerou-se que a humidade do ar interior esperada é superior à verificada no exterior, tal como ocorrido em trabalhos similares (Haijun et al., 2015; Rigakis et al., 2015; Xu et al., 2015).

$$\rho = \frac{217 \times e_s \times HR}{T} \quad (15)$$

$$\rho_i = \rho_e + \Delta\rho \quad (16)$$

$$HR = \frac{e_a}{e_s} \times 100 \quad (17)$$

3.5.2 Previsão da produção

A produção potencial foi estimada recorrendo ao modelo simplificado de Challa e Bakker, (1998). Neste modelo a produção potencial de matéria seca (GTW, equação 18), expressa em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, é estimada em função da radiação solar global diária média no interior (AVRAD, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), da proporção de radiação difusa (FRDIF) e das constantes A , B e C , que variam em função da concentração do CO_2 . Para o presente trabalho assumiu-se que a proporção de radiação difusa é 45% da radiação global (Meek et al., 1984 *cit in* Challa & Bakker, 1998) e que a concentração de CO_2 é a mínima que deve ser mantida para produção em estufa, correspondendo a 34 Pa em condições de pressão atmosférica normais (Nerderhoff, 1990 *cit in* Challa & Bakker, 1998). As constantes A , B e C tomam neste caso os valores de -1,20; 0,57 e 0,86, respetivamente (Challa & Bakker, 1998).

$$GTW = A + (B + C \times FRDIF) \times AVRAD \quad (18)$$

Para estimar a produção total esperada, considerou-se que o ciclo da cultura será de 8 meses, ocorrendo a primeira colheita, em média aos 45 dias, pelo que o ciclo de produção é de 195 dias. A equação 19 foi usada para estimar a produção expressa em kg m^{-2} , em função da produção total de matéria seca (TDMP, gm^{-2}), do índice de colheita (HI) e do teor de matéria seca do produto

comercializável (DMC). De acordo com a mesma publicação, para a cultura de tomate, o índice de colheita é em média 70% e a matéria seca no fruto é em média 6%.

$$\text{Produção estimada} = (\text{TDMP} \times (\text{HI}/\text{DMC}))/1000 \quad (19)$$

3.5.3 Análise económica

Sendo o objetivo deste trabalho a avaliação do potencial de produção de tomate em ambiente protegido em Moçambique, importa além de estimar o potencial de produção de tomate também avaliar a sua viabilidade económica, com vista a determinar a rentabilidade do uso deste tipo de infraestrutura de produção.

Depois da estimativa de produção houve necessidade de se estimar os custos de produção. Pretende-se analisar tendo em conta o preço de mercado dos produtos importados e os custos de produção em ambiente protegido. O objetivo central é perceber se a produção local é viável do ponto de vista económico. Pesquisou-se sobre a produtividade da cultura de tomate no ar livre em Moçambique, bem como os custos de produção associados em bases de dados estatísticos para as quatro regiões em estudo.

Para a produção sob coberto, os custos de produção foram estimados, englobando os custos de investimento na construção (materiais de estrutura e de cobertura e instalação), e os custos de produção propriamente ditos (fatores de produção, mão-de-obra, energia, etc.).

Usaram-se métodos de cálculo financeiro propostos por Avillez et al. (2006) e selecionaram-se 3 critérios de análise de rentabilidade com vista a avaliar a viabilidade económica do uso de infraestrutura de cultivo coberto nas 4 regiões selecionadas para trabalho.

Devido à dificuldade de obter valores exatos do custo de produção sob coberto, a análise da viabilidade económica fez-se a partir de custos médios de produção de tomate em estufa em Moçambique apresentadas por Malia et al. (2015), onde lista uma série de materiais e o custo para instalação. Neste trabalho o custo médio para instalação de uma construção de cultivo em ambiente protegido (investimento no material de estrutura e de cobertura, bem como a instalação, It) é de cerca de 250.000 MZN (3 700 €), para uma área coberta de 100 m², tendo em conta que a área do cultivo coberto idealizado no trabalho é de 300 m², o investimento total (It) é de 750.000 MZN

(11.000 €). De acordo com BOM (2014) em Moçambique a cultura de tomate ao ar livre tem um custo médio por hectare de 20.000 MZN (296 €) e tendo como referência o mesmo autor, os custos anuais de exploração (Ct) para uma cultura de tomate sob coberto, são de aproximadamente 1.776 € para uma área coberta de 300 m².

De modo a estimar as receitas, considerou-se o preço de mercado médio por quilograma para o tomate nacional variando entre 25,00 MZN a 30,00 MZN (0,37 - 0,44 €) e para o tomate importado de 50,00 MZN (0,74 €) (BOM, 2014).

Com a informação acima referida determinaram-se os benefícios anuais líquidos da exploração (equação 20), considerando as receitas anuais (Bt) e os custos anuais de exploração (Ct). As receitas anuais foram determinadas a partir da produção estimada anteriormente e considerando o preço de 0,44 € por kg de tomate.

$$Bt_{\text{liquido}} = Bt - Ct \quad (20)$$

Determinou-se o fator de atualização a partir de uma taxa de atualização, que por escolha do autor considerou 5%. Essa determinação teve como objetivo reportar ao momento atual a quantia futura prevista no investimento. Procedimento necessário quando se pretende fazer algum investimento perante várias alternativas de aplicação do capital disponível.

$$(1 + 0,05)^{-t} \quad (21)$$

A análise de viabilidade teve em conta a vida útil do material de estrutura, que é de 10 anos (t). O investimento inicial do projeto é de 750.000 MZN, valor para aquisição da estufa. O investimento e os custos de exploração e as receitas ou benefícios atualizados foram calculados a partir das equações 22 a 24. Portanto a equação faz o somatório do VAL anual de todos anos da vida útil do projeto de investimento.

$$It(1 + 0,05)^{-t} \quad (22)$$

$$Ct(1 + 0,05)^{-t} \quad (23)$$

$$Bt(1 + 0,05)^{-t} \quad (24)$$

Os Benefícios líquidos anuais atualizados a partir da equação 24. Portanto esses valores representam o valor temporal do dinheiro investido como custo de oportunidade.

$$(Bt - Ct) (1 + 0,05)^{-t} \quad (25)$$

Com os benefícios mencionados no parágrafo acima, foi possível determinar os principais indicadores necessários para avaliação da viabilidade económica do projeto com vida útil de 10 anos.

Com todos estes elementos determinou-se o valor atualizado líquido (VAL), tendo em conta o valor temporal do capital financeiro e por isso os fluxos foram sujeitos a um fator de atualização a uma taxa de 5%.

$$VAL = \sum_{t=0}^n (Bt - Ct)(1 + i)^{-t} - \sum_{t=0}^n It(1 + i)^{-t} \quad (26)$$

Para o cálculo da taxa de rendibilidade interna (TIR), que representa a taxa de atualização para a qual se anula o valor líquido atualizado, determinou-se o somatório dos custos de investimento (it) e benefícios líquidos anuais, e de seguida aplicou-se a fórmula abaixo para o cálculo final da TIR, para a taxa de atualização (r) de 5%.

$$\sum_{t=0}^n [Bt - (It + Ct)](1 + r)^{-t} = 0 \quad (27)$$

Por último, o período de recuperação é o tempo de recuperação do investimento, que é dado pelo número de anos de vida útil necessários para que o fluxo de benefícios líquidos positivos iguale o montante total investido. Determinou-se a partir da equação 28 que tem como base de cálculo os Benefícios líquidos anuais atualizados do projeto.

$$PR \gg \sum_{t=1}^{Pr} \frac{Bt}{(1+i)^t} = 0 \quad (28)$$

Deste modo, fez-se a análise da viabilidade económica da produção de tomate sob coberto. Também se comparou o custo total de produção e o custo unitário da produção em ar livre com a produção sob coberto, tendo em consideração a produção estimada neste trabalho e a produção referida nos dados estatísticos para as 4 regiões em estudo. As unidades monetárias consideradas

no trabalho foram a moeda de Moçambique (Metical) e o Euro. Os custos de produção e preços de mercado para o tomate são apresentados em várias obras em Metical, por isso efetuou-se o cálculo de análise financeira com valores em Metical e os resultados passíveis de análise foram convertidos em Euro a partir da taxa de câmbio do dia 23 de Agosto de 2019 (Banco de Portugal, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Temperatura do ar

A Tabela 13 apresenta, para as 4 regiões estudadas, os resultados obtidos para a diferença de temperatura entre o ar exterior e o ar interior (estimada através de cálculos de balanço térmico). Tal como mencionado foi assumido que a presença de rede de sombra permite a redução da temperatura interior tal como nos trabalhos de Tanny (2013), Haijun et al. (2015), Rigakis et al. (2015) e Xu et al. (2015). Tal como mencionado anteriormente, o objetivo é avaliar se a redução de temperatura do ar no interior de estruturas cobertas com rede de sombra permite criar as condições adequadas à produção de tomate durante os meses de verão em Moçambique, altura em que as condições no exterior dificultam a produção ao ar livre.

Tabela 13. Diferenças de temperatura do ar (temperatura exterior – temperatura interior estimada)

Regiões	Média (°C)	Máxima(°C)	Mínima (°C)
Beira	1,4	1,5	1,1
Chimoio	2,0	2,2	1,6
Maputo	1,0	1,1	0,8
Nampula	1,9	2,3	1,4

Como se pode verificar na tabela 13, é em Nampula e Chimoio que se espera conseguir a maior redução da temperatura do ar, de 2,3 e 2,2, °C, respetivamente. Maputo é a região onde o efeito de sombreamento é mais reduzido, estimando-se como redução potencial máxima da temperatura do ar em 1,1 °C e na Beira em 1,5 °C. As diferenças de temperatura podem não ser muito grandes, mas podem influenciar significativamente no desenvolvimento fisiológico da cultura (crescimento, desenvolvimento e produção de tomate), tendo em conta que o desenvolvimento e o rendimento inicial dependem muito da temperatura média ao longo de 24 h, de acordo com Darawsheh & Bouranis (2006).

A radiação solar global apresenta valores muito semelhantes nas regiões da Beira, Chimoio e Nampula (entre 678 e 686 W m⁻²) sendo a velocidade média do vento da mesma ordem de

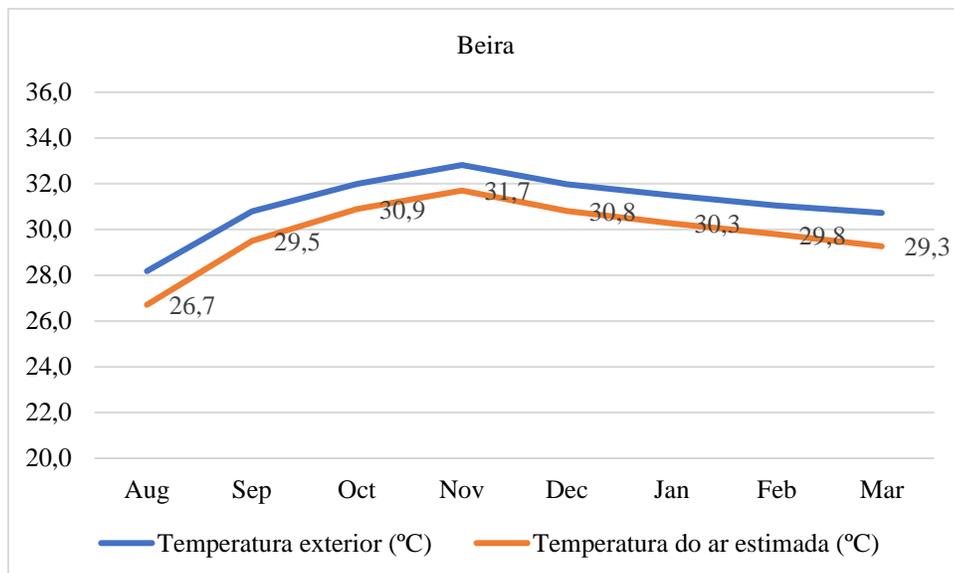
grandeza em Chimoio e Nampula, correspondendo aos menores valores, intermédio na Beira e a maior velocidade do vento ocorre em Maputo (tabela 14).

Os resultados do balanço térmico resultam dos componentes considerados, que neste estudo foram a radiação solar e a ventilação. Além do calor ganho devido à radiação solar, reduzido com recurso à rede de sombra, também os ganhos de calor devido à ventilação parecem ser muito importantes para o resultado do balanço energético. De facto, como se pode verificar na tabela 14, p.e. para Maputo, onde a radiação solar global média é a menor das 4 regiões, e a velocidade média do vento é maior que nas outras regiões (e logo também o caudal de ventilação e o correspondente ganho de calor), é precisamente a região onde se estima o menor potencial de redução da temperatura do ar no interior, o que mostra a importância da componente ventilação. Estes resultados parecem não coincidem com os resultados de Ahmed et al. (2016) que considerou a radiação solar como o principal fator que influencia os parâmetros microclimáticos no interior de uma construção coberta com rede. No entanto, uma vez mais há que salientar, que os resultados apresentados resultam de um estudo teórico que necessita ser validado em condições reais.

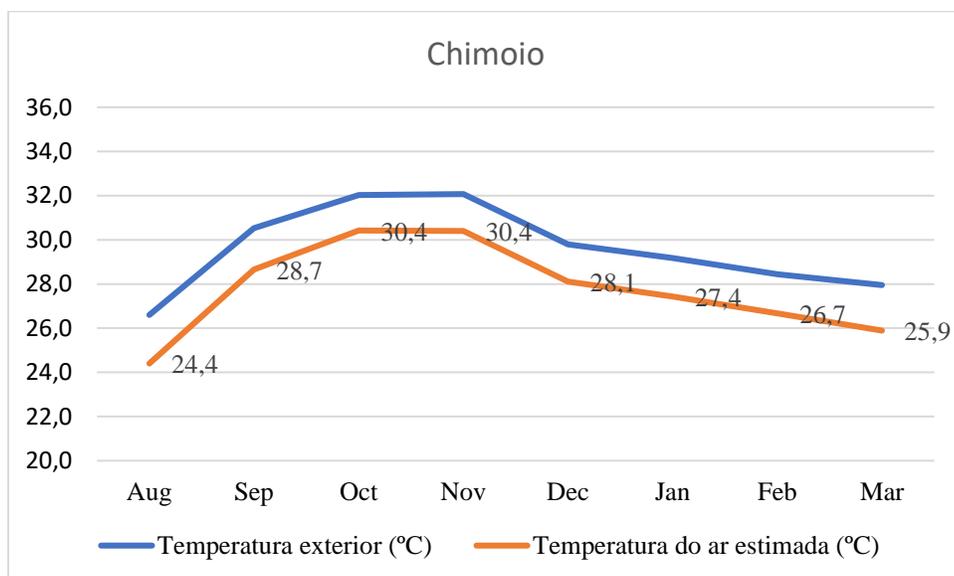
Tabela 14. Valores médios para a radiação solar global, velocidade do vento, caudal de ventilação e diferença de temperatura calculada para as regiões em estudo

Regiões	Radiação global média ($W m^{-2}$)	Velocidade média do vento ($m s^{-1}$)	Caudal de ventilação médio ($m^3 s^{-1}$)	Δt médio ($^{\circ}C$)
Beira	678	2,8	61,9	1,4
Chimoio	682	1,9	42,8	2,0
Maputo	633	3,7	79,6	1,0
Nampula	686	2,1	46,4	1,9

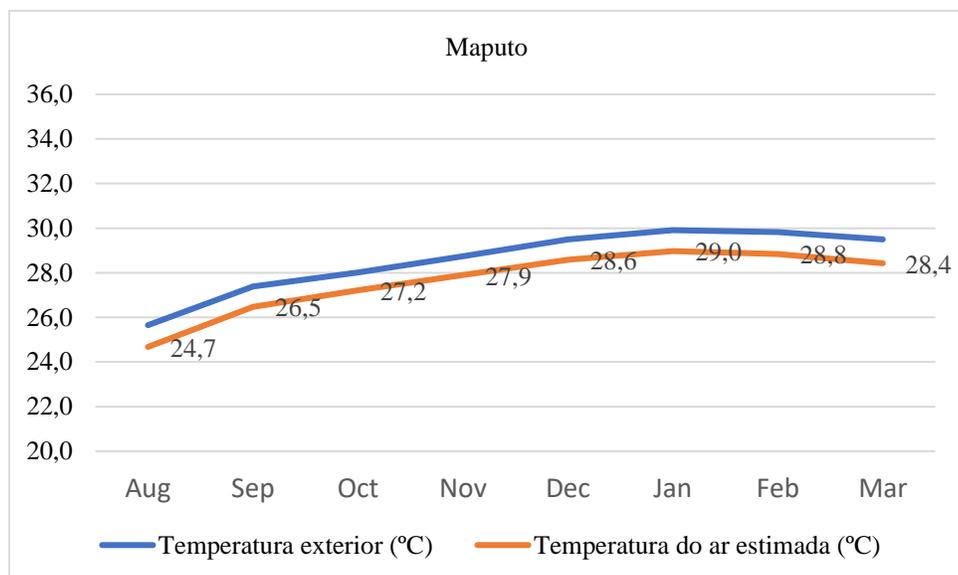
O gráfico 3 (a, b, c, d) mostra a comparação da temperatura do ar interior estimada e da temperatura do ar exterior para as várias regiões em estudo. É visível que das regiões estudadas Nampula é a que apresenta valores de temperatura do ar mais elevadas e onde o efeito da rede de sombra é mais acentuado.



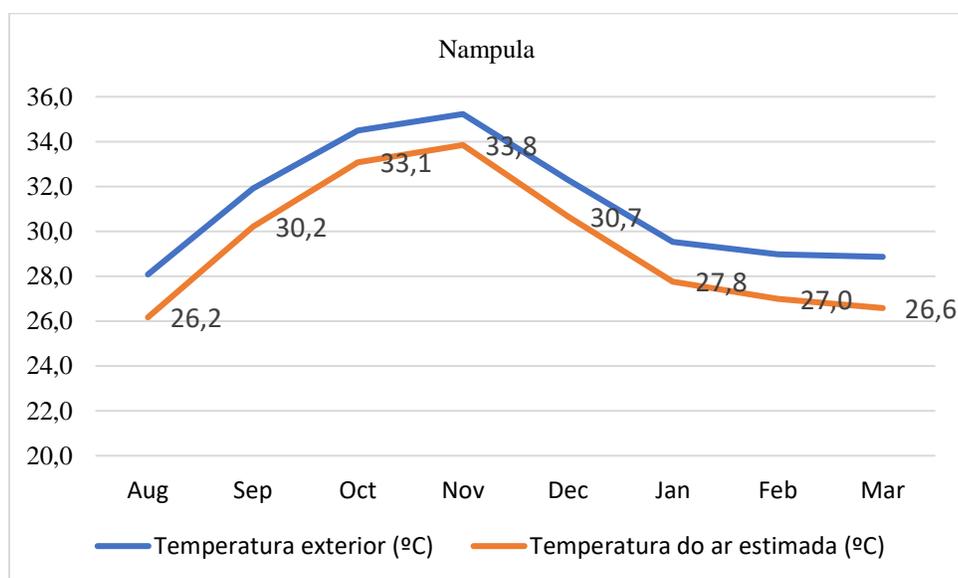
(a)



(b)



(c)



(d)

Gráfico 3. Temperatura do ar interior estimada e temperatura do ar exterior para as regiões estudadas. (a) Beira, (b) Chimoio, (c) Maputo, (d) Nampula

Tal como referido antes para o presente trabalho considerou-se um período médio de 45 dias para a primeira colheita. Tentando relacionar a temperatura ótima indicada para cada etapa do desenvolvimento da cultura do tomate (quadro 2), verificou-se que as temperaturas estimadas apresentam um comportamento diferenciado para cada região, não obstante essas diferenças não serem

muito grandes de acordo com a tabela 13. Assumiu-se que a cultura foi plantada no mês de agosto. A temperatura do ar estimada para o mês de agosto foi 26,7 °C para a Beira, 24,4 °C para Chimoio, 24,7 para Maputo e 26,2 °C para Nampula (gráfico 3 a, b, c, d). Este é o período de estabelecimento da cultura que é uma fase preponderante para a produção, necessitando nessa etapa a temperatura entre 25 a 30 °C, pelo que se verifica que o efeito da rede propícia a redução da temperatura até níveis adequados para a cultura nesta fase. Beira e Nampula apresentam valores de temperatura do ar estimada dentro das condições ótimas, o que de certa maneira pode influenciar na produção tendo em conta que esta fase é crucial para a cultura. As outras regiões apresentam valores de temperatura do ar ligeiramente abaixo do ótimo, mas dentro do padrão tolerável para o estabelecimento da cultura descrito por Cermeno (1990). Por outro lado, é preciso ter em conta a diferença da temperatura diurna e noturna que pode também influenciar o desenvolvimento vegetativo segundo Fayad et al. (2001).

Depois do estabelecimento da cultura segue-se a fase do desenvolvimento vegetativo, que em cultivo ao ar livre dura entre 20 a 25 dias, mas que em ambiente protegido é bastante mais curto, considerando que a primeira colheita ocorre em média 45 dias após a plantação. Em condições de culturas sob coberto todas as etapas do ciclo produtivo são reduzidas, com exceção da fase de produção propriamente dita. Tal significa que esta etapa se inicia ainda em agosto, sendo a temperatura ideal entre 18°C e 21 °C de acordo com Cermeno (1990). A temperatura que se encontra dentro do aceitável é neste caso a estimada para a região de Chimoio (24,4 °C) seguida da região de Maputo com 24,7 °C, sendo a Beira a região que apresenta temperatura do ar interior estimada mais longe das condições ótimas. Apesar dos valores da temperatura média do ar estimada nesse período não estarem dentro do ótimo, importa referir que nesta fase a cultura tolera temperaturas máximas até 32 °C de acordo com Almeida (2006). Este autor refere que para temperaturas abaixo de 16°C a taxa de crescimento é muito reduzida, o que não ocorre em nenhuma das regiões estudadas. A temperatura ótima para a floração varia entre 23 e 26 °C sendo Maputo a região que globalmente apresenta as melhores condições, sendo que todas apresentam temperatura acima do valor ótimo. De notar que a floração vai ocorrer ao longo do ciclo cultural, uma vez que a planta vai estar ao mesmo tempo em crescimento, floração e frutificação. Mais isso pode não ter muita influência para a cultura, conforme relatado por Almeida (2006) uma vez que as plantas não exigem condições ambientais particulares, com valores muito rigorosos para iniciar a floração, que ocorre em

quaisquer condições que possibilitem o crescimento embora a viabilidade do pólen seja comprometida para temperatura acima de 35 °C. Tal não se verifica nos resultados obtidos. Por outro lado, é de referir que a temperatura do ar estimada é favorável para o processo de polinização em todas as regiões tendo em conta que a polinização é deficiente se as temperaturas forem inferiores a 10 °C ou superiores a 37 °C, o que nunca se prevê que ocorra nas regiões estudadas. O vingamento frutos irá ocorrer ao longo de vários meses, sendo que a temperatura média do ar estimada para as várias regiões se encontra dentro do intervalo favorável para o processo de vingamento do tomate de acordo Cermeno (1996).

O gráfico 4 mostra a diferença de temperatura (Δt , °C) estimada em função do caudal de ventilação para as 4 regiões em estudo. Observa-se no gráfico que para todas regiões, quando maior é o caudal de ventilação menor é a diferença de temperatura, o que confirma que a temperatura do ar (bem como outros parâmetros importantes no microclima) é fortemente influenciada pelo fluxo de ar, conforme concluído por Teitel et al. (2015). A região de Chimoio apresenta valores de Δt mais elevados em relação a todas regiões o que se pode explicar pelo menor caudal de ventilação estimado para essa região. Tal deve-se à menor velocidade média do vento nesta região ($1,9 \text{ ms}^{-1}$) comparativamente aos $2,1 \text{ ms}^{-1}$ para Nampula, $2,8 \text{ ms}^{-1}$ para a Beira e $3,7 \text{ ms}^{-1}$ para Maputo.

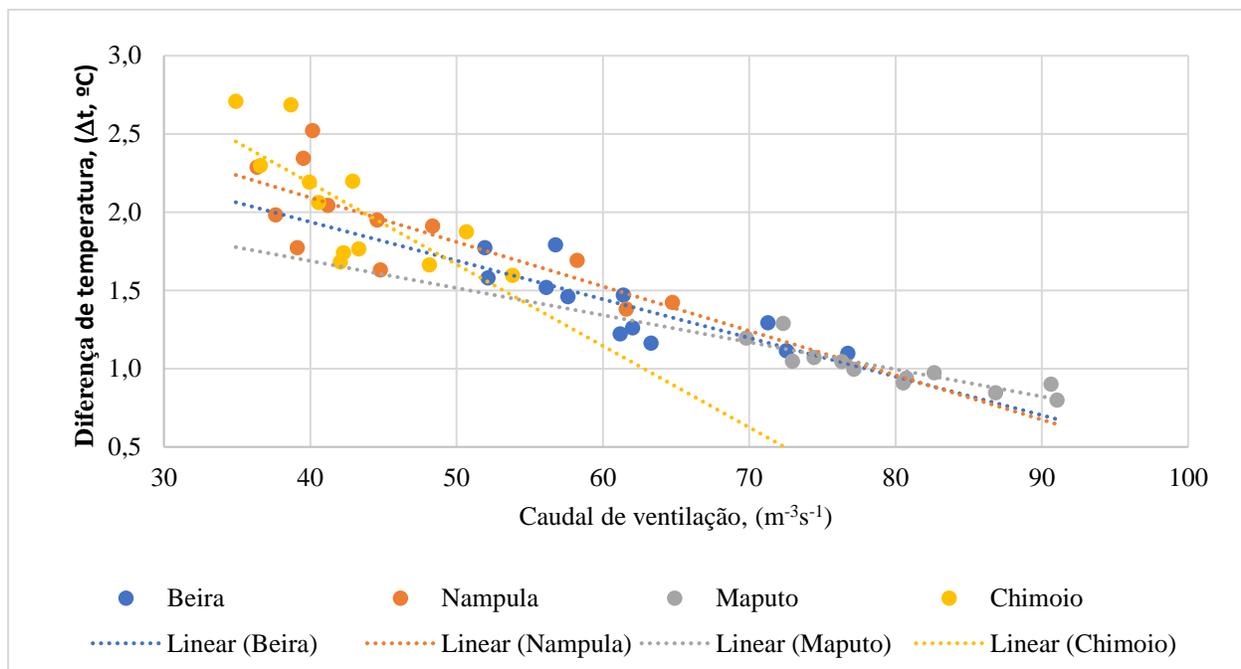


Gráfico 4. Diferença de temperatura estimada em função do caudal de ventilação estimado para as 4 regiões

Relativamente ao gráfico 5, que mostra a diferença de temperatura estimada em função do caudal de ventilação, mas neste caso englobando todos os dados das 4 regiões e que mostra a relação linear entre o caudal de ventilação e a diferença de temperatura. O cenário descrito acima também foi verificado por Rigakis et al. (2015) que refere o facto de a velocidade do ar nas construções cobertas com redes de sombra ser relativamente alta, proporcionando caudais de ventilação também altos, pelo que as diferenças de temperatura do ar no exterior e no interior serão relativamente baixas. $\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}$

Nesta figura podemos ver a linha de tendência que mostra que existe uma relação muito forte entre a diferença de temperatura e o caudal de ventilação ($R^2=0,85$) e que indica que se não houver ventilação a diferença de temperatura do ar interior será de cerca de $3,2\text{ }^\circ\text{C}$ inferior à temperatura do ar exterior. Este resultado, interessante do ponto de vista do potencial de redução da temperatura, não é no entanto, benéfico para a produção de plantas uma vez que é fundamental manter a concentração do CO_2 a níveis adequados para a fotossíntese. De facto, a ventilação permite manter essa concentração a valores idênticos ao ar exterior.

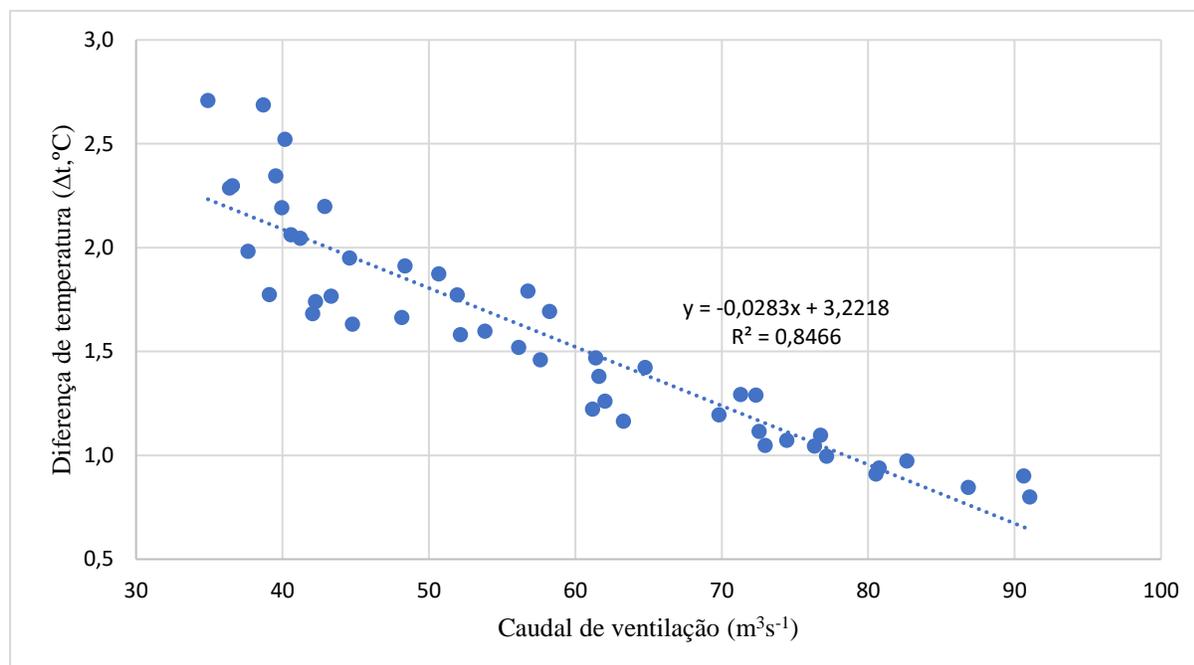


Gráfico 5. Diferença de temperatura estimada em função do caudal de ventilação

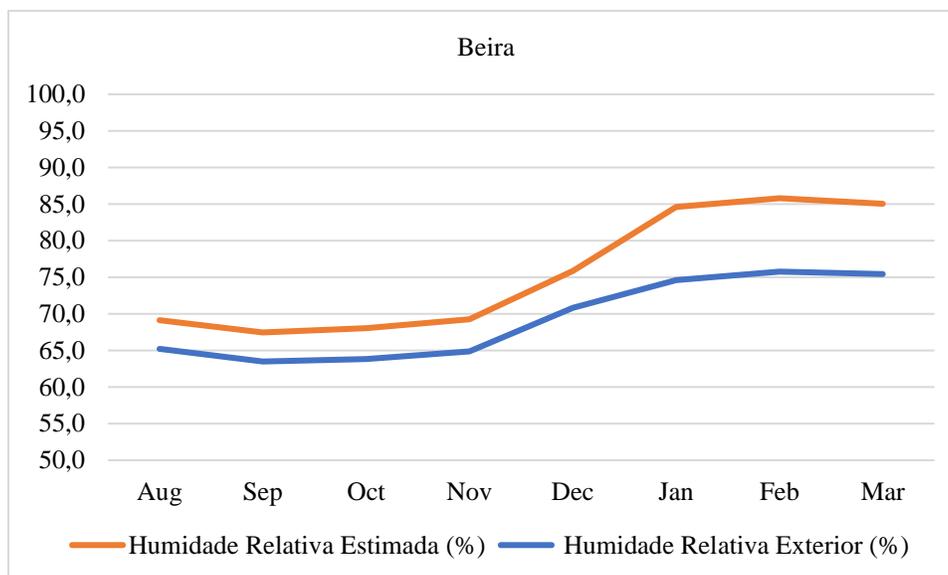
4.2 Humidade relativa do ar

Apesar da rede ter uma influência considerável na redução da temperatura interior em relação ao exterior, o mesmo não acontece com a humidade relativa. A humidade relativa exterior é relativamente alta, e a existência de um material de cobertura, neste caso a rede de sombreamento conduz a que a humidade relativa interior aumente, para o que também contribui a evapotranspiração da cultura e solo tal como referido por Castilla (2007). Em situações de saturação ocorre condensação, o que é prejudicial para a cultura uma vez que favorece a ocorrência de doenças fúngicas.

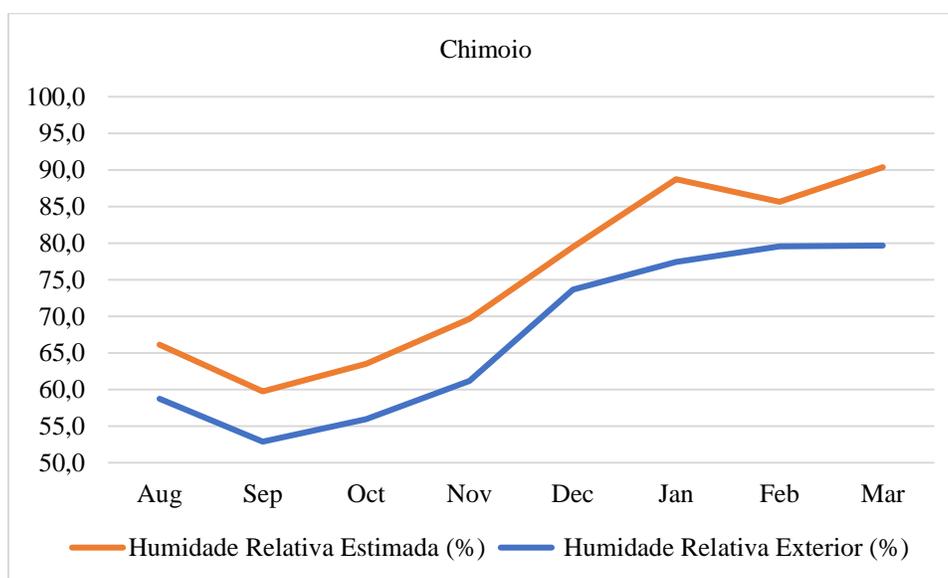
Segundo Cermeno (1990) a humidade relativa ótima para a cultura de tomateiro é 50%, mínima 40% e máxima 60%, enquanto que para Almeida (2006) o ideal é que a humidade relativa se situe na ordem dos 70 a 80%. O gráfico 6 (a, b, c, d) mostra a comparação da humidade relativa do ar interior estimada e a humidade relativa do ar exterior, para as várias regiões em estudo. É visível que em todas das regiões com exceção de Nampula a humidade relativa do ar estimada se encontra entre 60 e 90 % ao longo de todo o ciclo cultural. No caso de Nampula a humidade relativa atinge valores acima de 90% entre janeiro e março.

A humidade relativa prevista, apresenta valores que se encontram fora dos limites definidos como ótimos para o crescimento e desenvolvimento da cultura segundo Ceremeno (1990). Humidade relativa demasiado elevada pode promover menor desenvolvimento vegetativo a partir da diminuição da transpiração, deficiente fecundação, incremento de doenças e condensação no interior da construção. Nestas situações é preciso uma atenção especial no caudal de ventilação com vista à remoção do excesso de humidade. O ideal seria que a rede tivesse o efeito de reduzir a humidade relativa para níveis adequados para a cultura, mas não é o que se verifica, em média para todas regiões o aumento da humidade relativa é de cerca de 5,2 pontos percentuais para Maputo, 8,5 para Chimoio, 6,2 para a Beira e 9,4 para Nampula. Portanto as regiões de Chimoio e Nampula, são onde a humidade relativa prevista atingiu valores mais elevados, o que também reflete as condições de humidade relativa no exterior da infraestrutura.

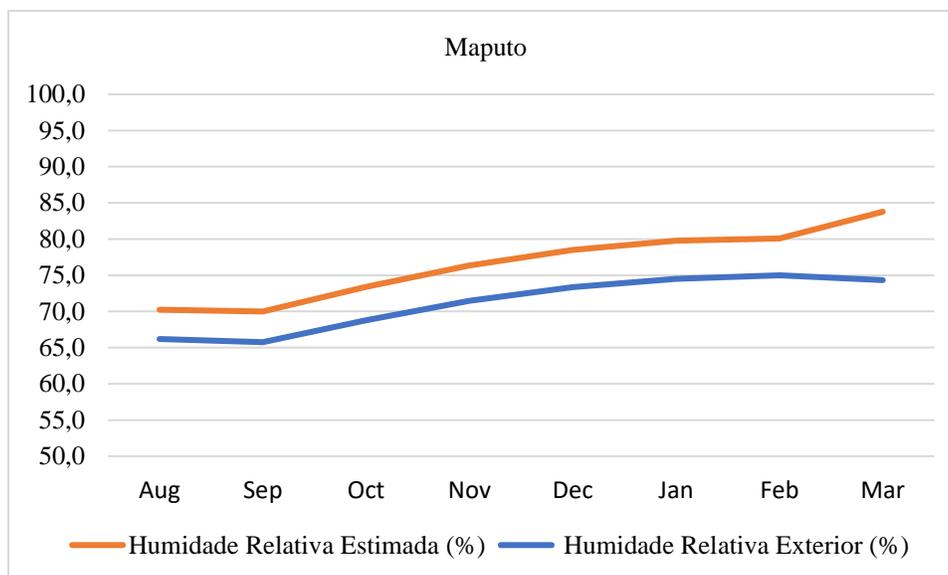
Além da evapotranspiração (cultura e solo), e das condições exteriores também o caudal de ventilação tem influência na humidade relativa estimada. O caudal de ventilação é influenciado pela porosidade da rede, uma vez que é um fator importante na determinação do coeficiente de descarga das aberturas de ventilação. De acordo com Harmanto et al. (2006) quando menor for a porosidade menor a taxa de ventilação. Consequentemente alta porosidade melhora a eficiência da ventilação natural responsável pela retirada da humidade no interior da infraestrutura de cultivo protegido. No entanto, a temperatura do ar e a humidade relativa no interior são o resultado dos balanços de energia e de massa, que envolvem processos complexos de trocas de calor sensível e latente. Rigakis et al. (2015) mostrou também a influência da transmissividade do material de cobertura na humidade relativa, uma vez que impacta na taxa de transpiração da cultura. Valores mais altos de taxa de transpiração verificaram-se nas infraestruturas de cultivo coberto em que a cobertura apresentava maior transmissividade à radiação solar.



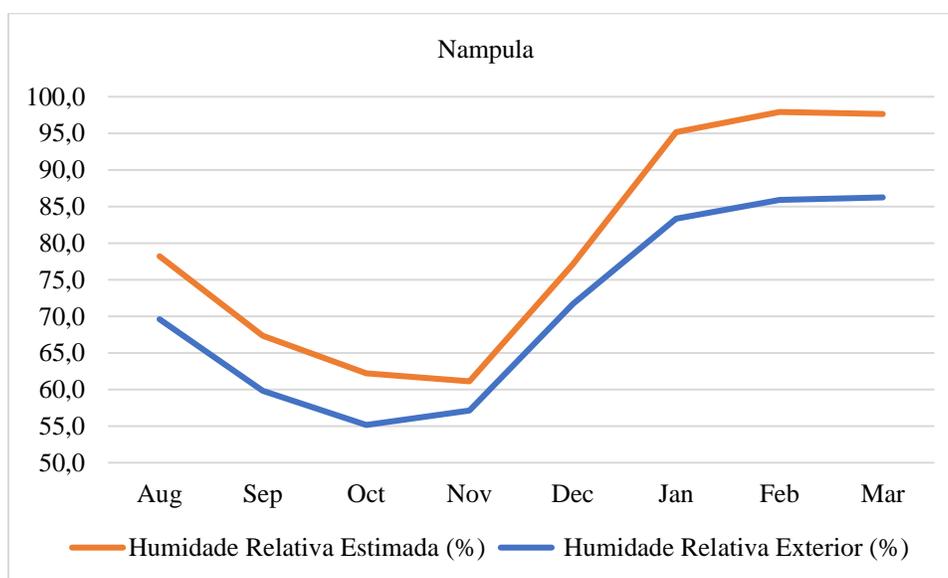
(a)



(b)



(c)



(d)

Gráfico 6. Humidade relativa do ar interior estimada e humidade relativa do ar exterior para as regiões estudadas. (a) Beira, (b) Chimoio, (c) Maputo, (d) Nampula

Na tabela 15 encontram-se os valores da humidade relativa estimada para as 4 regiões. De acordo com Almeida (2006) a situação ideal é que a humidade relativa se situe entre 70 a 80%, enquanto que segundo Cermeno (1990) se situa entre 40 e 60%. Se assumirmos que a humidade relativa poderá estar entre 40 e 80%, verifica-se que para todas as regiões os valores estão dentro

dos limites estabelecidos entre agosto e dezembro, sendo que entre janeiro e março a humidade atinge valores superiores ao desejado. Estes resultados indicam uma dificuldade potencial que poderá existir neste sistema de produção em zonas de clima quente e húmido. De facto, a maior dificuldade será conseguir a redução da temperatura do ar, conjugando a redução da radiação solar com a redução do caudal de ventilação e ao mesmo tempo controlar a humidade, sabendo que para isso necessitaria de ventilar mais. Será necessário avaliar experimentalmente que soluções se adequam às condições climáticas locais e que sejam sustentáveis do ponto de vista económico e ambiental.

Tabela 15. Humidade relativa do ar interior estimada para regiões em estudo

Região	Humidade relativa estimada, %							
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
Beira	69,1	67,5	68,1	69,3	75,9	84,6	85,8	85,0
Chimoio	66,1	59,7	63,5	69,6	79,5	88,7	85,7	90,4
Maputo	70,2	70,0	73,4	76,4	78,5	79,8	80,1	83,8
Nampula	78,2	67,4	62,2	61,1	77,1	95,2	97,9	97,6

4.3 Produção estimada

A tabela 16 apresenta os resultados da produção de tomate estimada, e podemos ver que varia entre 24,2 a 26,4 kg m⁻², sendo a região de Nampula a que apresenta maior potencial produtivo relativamente às outras regiões. O modelo de Challa e Bakker (1998) utilizado para estimar a produção tem em consideração a radiação solar direta e difusa no interior da construção tal como referido no capítulo 3.

Os valores expostos na tabela 16 evidenciam um potencial muito alto para o aumento da produtividade, principalmente levando em consideração a baixa produtividade obtida para o cultivo de tomate no ar livre. Na verdade, esta baixa produtividade pode não ser causada apenas por fatores ambientais, mas também por práticas culturais desadequadas e o fraco acesso aos fatores de produção como sementes/plantas de qualidade e fertilizantes tal como referido por (Mosca, 2014). Por outro lado, um aspeto que importa referir é o facto do ciclo de produção considerado neste estudo

ser maior (195 dias de fase produtiva) do que a duração do ciclo produtivo no sistema de produção ao ar livre (entre 90 a 100 dias de fase de produção). Não obstante a produção de tomate sob coberto mostra-se como tendo elevado potencial.

Fazendo a estimativa do potencial produtivo considerando 100 dias para a fase produtiva, o que permite a comparação com a produção de tomate média dos últimos anos em Moçambique ($2,16 \text{ kg m}^{-2}$, tabela 5) verifica-se que a produção sob coberto poderá ser seis vezes superior que no ar livre (tabela 16). Este resultado está de acordo com trabalhos de outros autores que mostraram o aumento da produtividade sob coberto comparativamente com o ar livre (Ahmed, et al., 2016). No entanto, é preciso salientar que são numerosos os fatores que interferem na produtividade das culturas que resulta de complexos mecanismos fisiológicos, climáticos e agronómicos. Deste modo, é absolutamente fundamental que se realizem ensaios no local que permitam validar o estudo teórico.

Tabela 16. Produção estimada de tomate no sistema de cultivo protegido para as regiões em estudo

Regiões	Produção estimada	
	kg m^{-2} (195 dias)	kg m^{-2} (100 dias)
Beira	26,0	13,4
Chimoio	26,0	13,3
Maputo	24,2	12,4
Nampula	26,4	13,5

Para todas as regiões a redução da radiação solar no interior da infraestrutura coberta com rede, não influencia negativamente a produção, o que se pode explicar pelo facto da radiação solar no interior não ser um fator limitante para a cultura, pois as necessidades mínimas são satisfeitas em todas as regiões, como se pode ver na tabela 17 ($> 8,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ de acordo com Nielsen (2002) e Castilla & Baeza (2013).

Tabela 17. Resumo dos valores médios para a radiação solar global no interior da construção com rede sombra

Regiões	Radiação global média no interior (MJ m⁻² dia⁻¹)
Beira	12,2
Chimoio	12,3
Maputo	11,4
Nampula	12,3

4.4 Análise económico-financeira

A análise económica foi realizada para as quatro regiões para aferir a viabilidade económico-financeira do uso da infraestrutura do cultivo coberto. Os resultados mostram para todas as regiões que a produção de tomate sob coberto é viável economicamente, o que se justifica pela muito alta produtividade. Estes resultados são corroborados por Ahemd et al. (2016) que considera o sombreamento um método promissor para controlar as características de crescimento das plantas. No entanto, a produção sob coberto exige o investimento na construção que não é necessário na produção em ar livre.

Tabela 18. Resultado dos indicadores de análise económica

Indicadores económicos	Beira	Chimoio	Maputo	Nampula
Valor atualizado líquido (EUR)	1.610,01	1.610,01	1.387,01	2.864,05
Taxa de rentabilidade (%)	7,9	7,9	5,6	10,4
Período de recuperação	Ano 9	Ano 9	Ano 10	Ano 8

Conforme os indicadores económicos determinados e expostos na tabela 18, todas as regiões apresentam um VAL positivo para a taxa de 5%. Analisando a viabilidade económica a partir deste indicador para todas as regiões, o investimento neste método de cultivo de tomate mostra-se viável economicamente, tendo em conta que o VAL é maior que zero conforme estipulado por Avillez et al. (2006) logo o investimento é viável. A região de Nampula destaca-se por apresentar maior VAL, o que se justifica pelo facto dessa região apresentar maior produção estimada uma vez que os custos

de produção se consideraram igual para todas as regiões. A mesma tendência verifica-se com os outros indicadores, tal como a taxa de rendibilidade interna (TIR) que indica a taxa de atualização para a qual se anula o VAL e o período de recuperação do investimento (PRI) considerando a vida útil do projeto de 10 anos. Os resultados mostram que num período de 10 anos é possível recuperar o capital investido em 9 anos para a Beira; Nampula 8 anos; Chimoio 9 anos e Maputo 10 anos, o que é aceitável para um projeto de investimento. Importa referir que para esta análise de viabilidade económica não se consideraram alguns fatores importantes que segundo Avillez et al. (2006) podem influenciar a viabilidade económica de um projeto agrícola de investimento. Portanto não basta só analisar a viabilidade económica do projeto, houve a necessidade de comparar os custos por unidade na produção ao ar livre e na produção sob coberto. Segundo as resultantes patentes na tabela 19, o custo de produção de tomate sob coberto mostra-se mais elevado em relação ao ar livre, mais obviamente que a produtividade é maior sob coberto.

Tabela 19. Custo de produção por unidade produzida para o tomate em Moçambique

Regiões	Custo por unidade € kg ⁻¹	
	Ar livre	Sob coberto
Beira	0,04	0,23
Chimoio	0,04	0,23
Maputo	0,01	0,25
Nampula	0,02	0,22

Claramente a partir da tabela acima verifica-se que os custos de produção ao ar livre são mais baixos comparados com a produção sob coberto o que se explica pelo facto do cultivo sob coberto exigir investimento para a infraestrutura e altos custos relacionados com a exploração e fatores de produção como água e energia elétrica. Apesar do cultivo ao ar livre apresentar custo por unidade produzida menor, a produção é muito baixa conforme já referido, o que deriva de a produção agrícola de Moçambique ser predominantemente do tipo familiar (CAP 2011), com baixo domínio das tecnologias de produção e não haver um acesso regular e atempado aos fatores de produção (Malia et al., 2015).

Se consideramos o preço de venda do tomate importado, $0,74 \text{ € kg}^{-1}$, existe uma margem bastante considerável para que a produção de tomate em ambiente protegido seja viável economicamente, uma vez que o custo ronda os $0,25 \text{ € kg}^{-1}$, o que significa que mesmo vendendo a $0,60 \text{ € kg}^{-1}$, com uma margem de 100% o que habitualmente não acontece com nenhum produto agrícola, ainda assim o preço do tomate no mercado seria inferior ao do mesmo produto importado. Este é um aspeto muito importante para a população rural e em geral para a população de Moçambique, já que tem um grande potencial para contribuir para a melhoria das condições de vida da população e também para a segurança alimentar.

5. CONCLUSÕES

Com o presente trabalho identificaram-se as principais culturas hortícolas praticadas em Moçambique e a sua respetiva importância, sendo a cultura do tomate uma das culturas hortícolas mais importante. É uma cultura que apresenta baixos índices de produtividade no ar livre, sazonalidade sendo produzida numa única época, e é a cultura hortícola que mais causa desequilíbrio na balança comercial causado pelo alto volume das importações. Existe défice deste produto no mercado, principalmente no verão que coincide com a quadra festiva onde a procura por este produto é elevada;

Estima-se que as infraestruturas de cultivo coberto com rede de sombreamento, permitem reduzir a temperatura interior relativamente à temperatura do ar exterior entre 0,8 a 2,3°C;

Estima-se um aumento da humidade relativa do ar no interior comparativamente com a humidade do ar no exterior entre 4 e 15%;

Estima-se que a cultura do tomate sob coberto com rede de sombra tem elevado potencial produtivo nas 4 regiões analisadas. A região que mostrou maior potencial foi a região de Nampula, mas no geral todas as regiões têm um grande potencial de aumento de rendimento;

A produção de tomate em ambiente protegido durante o verão (época das chuvas), mostra ter condições de viabilidade económica em todas regiões, destacando-se a região de Nampula com elevado VAL;

Conciliando a tecnologia de cultivo coberto com a mudança de práticas culturais e apostando numa correta incorporação e gestão adequada dos fatores de produção como os fertilizantes, a água de rega e os fitofármacos poderá conduzir ao aumento da produtividade, pode ter um grande impacto na redução da sazonalidade da produção de tomate em Moçambique, contribuindo para maiores rendimentos e melhores condições de vida da população, considerando que a produção de tomate é uma fonte de geração de receita na agricultura familiar;

Os resultados do presente trabalho resultaram de uma análise teórica baseada na utilização de modelos que permitiram estimar a temperatura e a humidade relativa do ar e a produção potencial de tomate em cultivo protegido com rede de sombra. Estes resultados devem ser vistos como

indicativos. antes de poderem ser usados na tomada de decisão por parte de políticos ou produtores, uma vez que necessitam de uma confirmação que requer trabalho experimental realizado nas regiões identificadas como tendo potencial para a produção de forma sustentável. Assim, julgamos que é aconselhável que, no futuro, seja realizado trabalho experimental de modo a recolher dados de forma metodológica, baseado em critérios científicos, para atestar os resultados obtidos neste trabalho. Só desse modo, se poderá considerar como uma medida adequada e aconselhar a classe decisora a apoiar os produtores no sentido de trazer para o setor produtivo este sistema de produção potenciador de melhores condições de vida da população e maior segurança alimentar.

Por outro lado, são necessários mais estudos para melhorar a configuração das infraestruturas de cultivo coberto, incluindo as dimensões, os materiais de estrutura e cobertura, a ventilação natural, entre outros que possam contribuir para otimizar a produção, levando em consideração aspectos ambientais, sociais e económicos. A criação de condições para o aumento da produção hortícola em Moçambique, poderá contribuir para a segurança alimentar e para a melhoria das condições de vida da população.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Ghany, A. M., Al-Helal, I. M., Alzahrani, S. M., Alsadon, A. A., Ali, I. M., & Elleithy, R. M. (2012). Covering Materials Incorporating Radiation-Preventing Techniques to Meet Greenhouse Cooling Challenges in Arid Regions: A Review. *The Scientific World Journal*, 2012(Article ID 906360), 4-11. doi:10.1100/2012/906360
- Abreu, P, Menses, JF and Gary, C. 2001. Tompousse: a model of yield prediction for tomato crops. Calibration study for unheated plastic greenhouse. *Acta Horticulturae*, 519: 141–150.
- Ahemd, H. A., Abdulelah, A. A., & Ahmed, A.-F. A. (2016). Shading greenhouses to improve the microclimate, energy and water saving in hot regions: A review. *Scientia Horticulturae*, 201, 36-45. doi:10.1016/j.scienta.2016.01.030
- Ahmed, H. A., Al-Faraj, A. A., Hegazy, M. A., & Abdel-Ghany, A. M. (2016). Effect Of Cooling Strategies On The Uniformity Of The Greenhouses Microclimate: A Review. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 31 (4), 248-288. <https://www.researchgate.net>
- Al-Helal, I. M., & Abdel-Ghany, A. M. (2011). Measuring and evaluating solar radiative properties of plastic shading nets. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(2), 677-683. doi:10.1016/j.solmat.2010.09.039
- Al-Helal, I. M., & Al-Musalam, I. M., I. M. (2003). Influence of shading on the performance of a greenhouse evaporative cooling system. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 21(1), 71-78.
- Almeida, D. (2006). *Manual de Culturas Hortícolas (Vol. II)*. Lisboa: Editorial Presença. 320 pp.
- Andrade, J., & Basch, G. (2017). Clima e estado de tempo. Fatores e elementos do clima. Classificação do clima. In S. Shahidian , R. C. Guimarães , C. M. Rodrigues, A. Chambel , C. A. Alexandre, F. L. Santos , . . . R. Coelho, *Hidrologia Agrícola* (2º ed., pp. 23-50).
- Antignus, Y., Lapidot, M., Hadar, D., Messika, Y., & Cohen, S. (1998). Ultraviolet-Absorbing Screens Serve as Optical Barriers to Protect Crops from Virus and Insect Pests. *Journal of Economic Entomology*, 91(6), 1401–1405. doi:10.1093/jee/91.6.1401
- Arbel, A., Barak, M., & Shklyar, A. (2003). Combination of Forced Ventilation and Fogging Systems for Cooling Greenhouses. *Biosystems Engineering*, 84(1), 45-55. doi:10.1016/s1537-5110(02)00216-7
- Arbel, A., Yekutieli, O., & Barak, M. (1999). Performance of a Fog System for Cooling Greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(2), 129-136. doi:10.1006/jaer.1998.0351
- Avillez, F., Da Silva, F. G., Carlos , P. T., Avillez, F., Salema, J. P., & Pereira, N. (2006). *Análise de Investimentos–Manual Técnico I. FZ AGRO.GESTÃO - Consultoria em Meio Rural, Lda*. 85 pp.
- Avillez, F., Estácio , F., & Neves, M. C. (1988). *Análise de projectos agrícolas no contexto da política agrícola comum*. Lisboa: Imprensa Nacional-Casa da Moeda. 171 pp.
- Baille, A. (1999). Greenhouse Structure And Equipment For Improving Crop Production In Mild Winter Climates. *Acta Hortic*, 491, 37-48. doi: 10.17660/ActaHortic.1999.491.4

- Baille, A., Kittas, C., & Katsoulas, N. (2001). Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107(4), 293-306. doi:10.1016/s0168-1923(01)00216-7
- Bakker, J.C.(1991). Analysis of humidity effects on growth and production of glasshouse fruit vegetables; Wageningen University & Research, Horticultural Supply Chains. 161 pp. <http://edepot.wur.nl/206443>
- Banco de Portugal. Conversor de Moeda. <https://www.bportugal.pt/conversor-moeda?from=MZN&to=EUR&date=1566514800&value=120000>
- Banco Mundial-AFTW, B. (2007). Estratégia Nacional de Assistência para Recursos Hídricos em Moçambique: Fazer a Água Actuar para o Crescimento Sustentável e a Redução de Pobreza. Banco Mundial-Região Africana, Maputo. 107 pp.
- Baptista, F. (2018). Balanço Térmico de Estufas. Texto de apoio às aulas de Condicionamento Ambiental e de Projectos de Engenharia Agronómica, Universidade de Évora, Engenharia Rural, Evora. 40 pp.
- Baptista, F. J., & Cruz, V. F. (2007). Ventilação Natural de estufas: Princípios físicos. *INGENIUM*(98), 46-52. <https://www.upload.engenhariacivil.com/files/98961496686211978510.pdf>
- Baptista, F. J., BAILEY, B. J., & MENESES, J. F. (2001). Ventilação natural de estufas. Comparação das taxas de ventilação medidas e previstas. Proc. do Agrupamento Simposium 2001, (pp. 136-151.). Brasil, Campinas. <http://hdl.handle.net/10174/3420>
- Baptista, F. J., Bailey, B. J., Randall, J. M., & Meneses, J. F. (1999). Greenhouse Ventilation Rate: Theory and Measurement with Tracer Gas Techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(4), 363-374. doi:10.1006/jaer.1998.0381
- Baptista, F., Bailey, B., Meneses, J., & Navas, L. (2010). Greenhouses climate modelling. Tests, adaptation and validation of a dynamic climate model. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(1), 285-298. doi:10.5424/sjar/2010082-1629
- Bartzanas, T., Boulard, T., & Kittas, C. (2004). Effect of Vent Arrangement on Windward Ventilation of a Tunnel Greenhouse. *Biosystems Engineering*, 88(4), 479-490. doi:10.1016/j.biosystemseng.2003.10.006
- Bernard, B. (2006). Natural and mechanical greenhouse climate control. *acta hortic*, 710, 43-54. doi:10.17660/actahortic.2006.710.2
- Bertin, N., & Heuvelink, E. (1993). Dry-matter production in a tomato crop: comparison of two simulation models. *Journal of Horticultural Science*, 995-1011. doi:10.1080/00221589.1993.11516441
- Beunk, D. (2016). Horticulture Market Development. BRIGHTHFACE-total agricultural consultants, Zimbabwe-Harare.3 pp.
- Bojacá, C. R., Gil, R., & Cooman, A. (2009). Use of geostatistical and crop growth modelling to assess the variability of greenhouse tomato yield caused by spatial temperature variations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65(2), 219-227. doi:10.1016/j.compag.2008.10.001
- Bolfe, E. L., Batistella, M., Ronquim, C. C., Holler, W. A., Martinho, P. R., Macia, C. J., & Mafalacusser, J. (2011). Base de dados geográficos do “Corredor de Nacala”, Moçambique. Simpósio Brasileiro

- de Sensoriamento Remoto - SBSR (pp. 3996-3997). Curitiba: IMPE. from <https://www.alice.cnptia.embrapa.br>
- BOM. (2014). Serviço de consultoria para conduzir um estudo de mercado sobre volumes, preços, novos produtos e produção sob contrato na cadeia de valor hortícola no Centro de Moçambique. MAPUTO. 98 pp.
- Both, A. J., & Wheeler, E. F. (2002). Instruments for monitoring the greenhouse aerial environment. The State University of New Jersey, New Brunswick, NJ. doi:10.7282/T3C82C3X
- Boulard, T., & Baille, A. (1995). Modelling of Air Exchange Rate in a Greenhouse Equipped with Continuous Roof Vents. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 61(1), 37-47. doi:10.1006/jaer.1995.1028
- Boulard, T., Feuilloley, P., & Kittas, C. (1997). Natural Ventilation Performance of Six Greenhouse and Tunnel Types. *Journal of Agricultural Engineering*, 67(4), 249-266. doi:10.1006/jaer.1997.0167
- Bournet, P.-E., & Boulard, T. (2010). Effect of ventilator configuration on the distributed climate of greenhouses: A review of experimental and CFD studies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74, 195-217. doi:10.1016/j.compag.2010.08.007
- Briassoulis, D., Mistriotis, A., & Eleftherakis, D. (2007). Mechanical behaviour and properties of agricultural nets—Part I: Testing methods for agricultural nets. *Chemistry: Materials Science*, 26(6), 822-832. doi:10.1016/j.polymertesting.2007.05.007
- Briassoulis, D., Mistriotis, A., & Eleftherakis, D. (2007). Mechanical behaviour and properties of agricultural nets. Part II: Analysis of the performance of the main categories of agricultural nets. *Polymer Testing*, 26(8), 970-984. doi:10.1016/j.polymertesting.2007.06.010
- Calima, J. S. (2015). Estudo Sobre a Cadeia de Valor de Hortícolas no Distrito de Mocuba e Cidade de Quelimane. 38 pp.
- CAP. (2011). Censo agropecuario 2009-2010. Resultados definitivos. INE, Maputo. 115 pp.
- Carrilho, J., Abbas, M., Júnior, A., Chidassicua, J., & Mosca, J. (2016). Desafios para a Segurança Alimentar e Nutrição em Moçambique. OMR, Maputo. 66 pp.
- Castellano, S., Hemming, S., & Russo, G. (2008). The Influence of Colour on Radiometric Performances of Agricultural Nets. *Acta Horticulturae*, 227-237.
- Castellano, S., Mugnozza, G. S., Russo, G., Briassoulis, D., Mistriotis, A., Hemming, S., & Waaijenberg, D. (2008). Plastic Nets In Agriculture: A General Review Of Types And Applications. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(6), 799-808. doi:10.13031/2013.25368
- Castilha, N. (2007). Invernaderos de plástico: Tecnología y manejo. (2º ed.). Madrid: Mundi-Prensa. 462 pp.
- Castilla, N., & Baeza, E. (2013). Greenhouse site selection. In *FAO, Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas* (pp. 21-33). Roma.
- Cermeno, Z. S. (1990). Estufas: Instalações e Maneio (2 ed., Vol. II). (M. F. Ripado, Trans.) Lisboa: Litexa Editora. 588pp

- Cermeno, Z. S. (1996). *Cultivo de Plantas Horticolas em Estufa (Vol. III)*. (B. R. Mario, Trans.) Barcelona: Litexa-Portugal. 301pp.
- CHALLA, H., & BAKKER, J. (1998). Potential production within the greenhouse environment. In E. Z., & S. G., *Ecosystems of the world. The greenhouse ecosystem* (pp. 333-348.). Amsterdam: Elsevier.
- Cockshull, K. E., Graves, C. J., & Cave, C. R. (1992). The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science*, 67(1), 11-24. doi:10.1080/00221589.1992.11516215
- Cohen, S., & Fuchs, M. (1999). Measuring and predicting Radiometric Properties of Reflective Shade Nets and Thermal Screens. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73(3), 245-255. doi:10.1006/jaer.1999.0410
- Cunguara, B. (2011). *O Sector Agrário em Moçambique: Análise situacional, constrangimentos e oportunidades para o crescimento agrário*. Michigan State University, IFPRI, Maputo. 86 pp.
- Darawsheh, M. K., & Bouranis, D. L. (2006). Season-Dependent Fruit Loading: Effect on Dry Mass, Water, and Nitrogen Allocation in Tomato Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 63(3), 347-359. doi:10.1080/14620316.1988.11515880
- de Vries, F. P., Teng, P., & Metselaar, K. (1993). Systems approaches for agricultural development. In K. J. Boote, W. D. Batchelor, J. W. Jones, & H. Pinnschmid, *Pest damage relations at the field level* (pp. 115-135). Berlin: Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-94-011-2842-1_16
- Doris, R. (2014). *Moçambique em Ascensão—Construir um Novo dia*. Fundo Monetário Internacional, Washington, D.C. 190 pp.
- Ecole, C. C., & Malia, H. A. (2015). Caracterização da horticultura em Moçambique. In L. L. Haber, C. C. Ecole, W. Bowen, & F. V. Resende, *Horticultura em Moçambique: características, tecnologias de produção e de pós-colheita* (1º ed., Vol. I, pp. 21-30). Brasília, DF, Brasil: Embrapa.
- EDNER. (2011). *Estratégia de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis*. República de Moçambique—Ministério da Energia., Maputo. 41 pp.
- Elsner, B. V., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistrionis, A., Zabeltitz, C. V., & Gratraud, J. (2000, Janeiro). Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements. *Agricultural Engineering*, 75(1), 1-16. doi:10.1006/jaer.1999.0502
- FAO, & GRM. (2009). *Quadro das Demandas e Propostas de Guiné-Bissau para o Desenvolvimento de um Programa Regional de Cooperação entre Países da CPLP no domínio da Luta contra a Desertificação e Gestão Sustentável das Terras*. Sector Ambiente – Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação, Maputo. 195 pp.
- FAO. (2005). *Irrigation in Africa in figures – AQUASTAT Survey*. Mozambique. 66 pp.
- FAO. (2007). *Promoting Integrated and Diversified Horticulture*. Maputo. 2 pp.
- FAOSTAT. (2019). *Revision of the agriculture production data domain*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

- Fayad, J. A., Fontes, P. C., Cardoso, A. A., Finger, F. L., & Ferreira, F. A. (2001). Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. *Horticultura brasileira*, 19(3), 232-237. <http://www.scielo.br/pdf/hb/v19n3/v19n3a16>
- FIPAG. (2017). *Mozambique Urban Water Supply in Major Cities*. Maputo. 58 pp.
- Ganguly, A., & Ghosh, S. (2011). A Review of Ventilation and Cooling Technologies in Agricultural Greenhouse Application. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 2 (1), 32-46. <https://pdfs.semanticscholar.org/465f/238738b50c79e962602baf5eb385a62e55b3.pdf>
- Ganguly, A., & Ghosh, S. (2011). A Review of Ventilation and Cooling Technologies in Agricultural Greenhouse Application. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 2(1), 32-46. pdfs.semanticscholar.org/465f/238738b50c79e962602baf5eb385a62e55b3.pdf
- Ganry, J. (2009). Current Status of Fruits and Vegetables Production and Consumption in Francophone African Countries-Potential Impact on Health. CIRAD-France, Montpellier. <http://www.globalhort.org/media/uploads/File/PROFEL/Current%20Status%20of%20Fruits%20>
- Gao, J., Zhao, B., Dong, S., Liu, P., Ren, B., Ren, B., & Zhang, J. (2017). Response of Summer Maize Photosynthate Accumulation and Distribution to Shading Stress Assessed by Using ^{13}C Stable Isotope Tracer in the Field. *Frontiers in Plant Science*, 8, 18-21. doi:10.3389/fpls.2017.01821
- Gary, C. 1999. Modelling greenhouse crops: state of the art and perspectives. *Acta Horticulturae* 495: 317–322
- Gente, M. P. (2007). Effect of shade on quality of greenhouse tomato. *J. Acta Hort (ISHS)*, 747, 107-112.
- Ghani, S., Bakochristou, F., ElBialy, E. M., Gamaledin, S. M., Rashwan, M. M., Abdelhalim, A. M., & Ismail, S. M. (2019). Design challenges of agricultural greenhouses in hot and arid environments – A review. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(1), 48-70. doi:10.1016/j.eaef.2018.09.004
- Ghoulem, M., Moueddeb, K. E., Nehdi, E., Boukhanouf, R., & Calautit, J. K. (2019). Greenhouse design and cooling technologies for sustainable food cultivation in hot climates: Review of current practice and future status. *Engenharia de Biosistemas*, 183, 121-150. doi:10.1016/j.biosystemseng.2019.04.016
- Gijzen, H. (1992). Simulation of photosynthesis and dry matter production of greenhouse crops. Simulation Report CABO-TT 28, Wageningen. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/216772>
- González, A. M., & Camacho, J. I. (1989). *Invernaderos. Diseño, Construcción y Ambientación*. Madrid: Mundi-prensa. 254 pp.
- GRM. (2017). *Balanço do Plano Economico e Social de 2017*. Maputo. 156 pp.
- Haijun, L., Cohen, S., Lemcoff, J. H., Israeli, Y., & Tanny, J. (2015). Sap flow, canopy conductance and microclimate in a banana screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 165-175. doi:10.1016/j.agrformet.2014.11.009
- Harmanto, N., Tantau, H. J., & Salokhe, V. M. (2006). Microclimate and Air Exchange Rates in Greenhouses covered with Different Nets in the Humid Tropics. *Biosystems Engineering*, 94(2), 239-253. doi:10.1016/j.biosystemseng.2006.02.016

- Hemming, S., Swinkels, G. L., Castellano, S., Russo, G., & Scarascia-Mugnozza, G. (2008). Numerical Model to estimate the Radiometric Performance of Net Covered Structures. *Agricultural and Biosystems Engineering*, 23-25. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/25149>
- Heuvelink, E. (1999). Evaluation of a Dynamic Simulation Model for Tomato Crop Growth and Development. *Annals of Botany*, 83(4), 413-422. doi:10.1006/anbo.1998.0832
- Hoguane, A. M. (2007). Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada*(7), pp. 69-82.
- Hussey, N. W. (1965). Possibilities for integrated control of some glasshouse pests. *Annals of Applied Biology*, 56, 347-350. doi:10.1111/j.1744-7348.1965.tb01253.x
- INE. (2019). Recenseamento geral da população e habitação-Resultados definitivos. Maputo: INE. Accessed 10 de Maio de 2019, from <http://www.ine.gov.mz/>
- ITC. (2019). Trade statistics for international business development. Accessed 20 April 2019, <https://www.trademap.org/countrymap/index.aspx>.
- Ittersum, M. K., Leffelaar, P. A., Keulen, H. V., Goudriaan, J., Kropff, M. J., & Bastiaans, L. (2003). On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy*, 18(3), 201-234. doi:10.1016/s1161-0301(02)00106-5
- Jones, J., Hwang, Y., & Seginer, I. (1995). Simulation Of Greenhouse Crops, Environments And Control Systems. *Acta Hort.*, 399, 73-86. doi:10.17660/ActaHortic.1995.399.6
- Jones, JW, Dayan, E, Allen, LH, Van Keulen, H and Challa, H. 1991. A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). *Transactions of the American Society for Agricultural Engineers*, 34: 663–672.
- Katsoulas, N., Peponakis, K., Ferentinos, K. P., & Kittas, C. (2015). Calibration of a growth model for tomato seedlings (TOMSEED) based on heuristic optimisation. *Biosystems Engineering*, 140, 34-47. doi:10.1016/j.biosystemseng.2015.09.004
- Kittas, C., Baille, A., & Giaglaras, P. (1999). Influence of Covering Material and Shading on the Spectral Distribution of Light in Greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73(4), 341-351. doi:10.1006/jaer.1999.0420
- Kittas, C., Baille, A., & Giaglaras, P. (1999). Influence of Covering Material and Shading on the Spectral Distribution of Light in Greenhouses. *Agricultural Engineering*, 73, 34-351. Retrieved Dezembro 22, 2018, from <http://www.idealibrary.com>
- Kittas, C., Bartzanas, T., & Jaffrin, A. (2003). Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. *Biosystems Engineering*, 85(1), 87–94. doi:10.1016/S1537-5110(03)00018-7
- Kittas, C., Draoui, B., & Boulard, T. (1995). Quantification du taux d'aération d'une serre à ouvrant continu en toiture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77(1), 95-111. doi:10.1016/0168-1923(95)02232-m
- Kittas, C., Karamanis, M., & Katsoulas, N. (2005). Air temperature regime in a forced ventilated greenhouse with rose crop. *Energy and Buildings*, 37(8), 807-812. doi:10.1016/j.enbuild.2004.10.009

- Kittas, C., Katsoulas, N., Rigakis, N., Bart, T., & Kitta, E. (2012). Effects on microclimate, crop production and quality of a tomato crop grown under shade nets. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 87(1), 7-12. doi:10.1080/14620316.2012.11512822
- Kleijnen, J. P. (1986). *Statistical tools for simulation practitioners* (1 ed.). (M. Dekker, Ed.) Nova York. 429 pp.
- Mahomed, A., Hua, Y., Tannyb, J., & Asantea, E. A. (2018, Novembro de 2018 , páginas 241-251 18). Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances. *Scientia Horticulturae*, 241, 241-251. doi:10.1016/j.scienta.2018.06.078
- Malia, H., Silva, H., & Resende, F. (2015). Estrutura para produção de mudas de hortícolas . In L. E. Haber, In *Horticultura em Moçambique:Características, Tecnologias de Produção e de Pós-Colheita* (pp. 78-84). Brasília: Embrapa.
- Marcelis, L. F., Heuvelink, E., & Goudriaan, J. (1998). Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*, 74(1), 83-111. doi:10.1016/s0304-4238(98)00083-1
- Marcelis, L., Elings, A., Visser, P. d., & Heuvelink, E. (2009). Simulating Growth And Development Of Tomato Crop. *Acta Hortic.*, 821, 101-110. doi:10.17660 / ActaHortic.2009.821.10
- MASA. (2017, Outubro 15). Interpretação da Previsão Climática para Agricultura. *Folhas verdes*, 13 pp.
- Medina-Ruíz, C. A., Mercado-Luna, I. A., Soto-Zarazúa, G. M., Torres-Pacheco, I., & Rico-García, E. (2011). Mathematical modeling on tomato plants: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 6(33), 6745-6749. doi:10.5897/AJARX11.001
- Melo, A. P. (2018, Novembro 22). Resposta Agronômica em Cultivares de Tomateiro Submetido a Redução da Irrigação. *Resumo*, pp. 1-3.
- MICOA. (2007). *Estratégia Ambiental para o Desenvolvimento de Moçambique*, aprovada na Ix.^a Sessão Ordinária do Conselho de Ministros de 24 de Julho. Maputo. 68 pp.
- Miguel, A. F., Braak, N. J., & Bot, G. P. (1997). Analysis of the Airflow Characteristics of Greenhouse Screening Materials. *Agricultural and Biological Sciences*, 67(2), 105-112. doi:10.1006/jaer.1997.0157
- Milder, J. C., Majanen, T., & Scherr, S. J. (2011). *Performance and Potential of Conservation Agriculture for Climate Change Adaptation and Mitigation in Sub-Saharan Africa. Final Report*, CARE International, Geneva. 91 pp.
- MINAG. (2010). *Plano estratégico para o desenvolvimento do sector agrário:pedsa 2010-2019*. Maputo: ministério da agricultura. 76 pp.
- MINAG. (2014). *Oportunidades do Agronegócio em Moçambique*. Centro de Promoção da Agricultura , Maputo. 22 pp.
- MINAG. (2014). *Zoneamento Agroecológico Resultados do País, excepto Maputo*. Maputo. 46 pp.
- Momade, I. (2017). Perfil Socio-Económico dos Pequenos Agricultores do sul de Moçambique: Realidades de Chokwé, Guijá e Kamavota. (48), pp. 3-7.

- Monteith, J., & Unsworth, M. (2008). *Principles Of Environmental Physics* (3° ed.). (J. Lawson, Ed.) Elsevier Inc.
- Montero, J. I., Anton, A., & Pere, M. (1998). Conceptos basicos de ransmisión de calor. In J. J. Parra, & I. M. Gomez, *Tecnologia de Invernaderos II* (pp. 255-266). Almeria: Arte grafica Gutenberg.
- Montero, J., Teitel, M., Baeza, E., Lopez, J., & Kacira, M. (2013). Greenhouse design and covering materials. In W. Baudoin, R. Nono-Womdim, N. Lualadio, A. Hodder, N. Castilla, C. Leonardi, . . . R. Duffy, In *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas*. (pp. 35-63). Roma: FAO.
- Mosca, J. (2014). *Agricultura Familiar em Moçambique: Ideologias e Políticas*. Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: Centros de estudos sobre Africa, Asia e America Latina. 34 pp.
- Muchangos, A. (1999). *Moçambique Paisagens e Regiões Naturais*. Maputo: A. dos Muchangos. <https://books.google.pt/books/about/Moçambique>. 167 pp.
- Nielsen, O. F. (2002). Natural Ventilation of a Greenhouse With Top Screen. *Biosystems Engineering*, 81(4). Retrieved Março 23, 2019, from <http://www.idealibrary.com> on
- Nijegorodov, N. I., Devan, K. R., Simao, H., & Mabbs, R. (1983). Comprehensive study of solar conditions in Mozambique: the effect of trade winds on solar components. *Renewable Energy*, 28, 1965–1983. doi:10.1016/S0960-1481(03)00038-7
- Papadakis, G., Briassoulis, D., Mugnozz, G. S., Vox, G., & Feuilleley, P. (2000). Review Paper (SE-Structures and Environment). *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(1), 7-38. doi:10.1006/jaer.2000.0525
- Papadakis, G., Mermier, M., Meneses, J. F., & Boulard, T. (1996). Measurement and Analysis of Air Exchange Rates in a Greenhouse with Continuous Roof and Side Openings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(3), 219-227.
- Pauw, K., Thurlow, J., Uaiene, R., & Mazunda, J. (2012, Novembro). *Agricultural Growth and Poverty in Mozambique: Technical Analysis in Support of the Comprehensive Africa Agriculture Development Program (CAADP)*. Mozambique-strategy Support Program, pp. 3.
- Pearson, S., Wheldon, A. E., & Hadley, P. (1995). Radiation Transmission and Fluorescence of Nine Greenhouse Cladding Materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62(1), 61-69. doi:10.1006/jaer.1995.1063
- Perdigones, A., García, J. L., Romero, A., Rodríguez, A., Luna, L., Plaza, S. d., & Raposo, C. (2008). Cooling strategies for greenhouses in summer: Control offogging by pulse width modulation. *Biosystems Engineering*, 99(4), 573-586. doi:10.1016/j.biosystemseng.2008.01.001
- Ploeg, A. v., & Heuvelink, E. (2005). Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: A review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80, 652-659. doi:10.1080/14620316.2005.11511994
- PNISA. (2013). *Plano nacional de investimento do sector agrário 2013-2017*. Ministerio de Agricultura, Maputo. 89 pp.

- Ribeiro, J., & Rulkens, T. (1999). *Cultura de Tomate*. Universidade Eduardo Mondlane-Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. Maputo: Imprensa aniversitaria da UEM. 92 pp.
- Rigakis, N., Katsoulas, N., Teitel, M., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2015). A simple model for ventilation rate determination in screenhouses. *Energy and Buildings*, 87, 293-301. doi:10.1016/j.enbuild.2014.11.057
- Scarascia-Mugnozza, G., Schettini, E., & Vox, G. (2004). Effects of Solar Radiation on the Radiometric Properties of Biodegradable Films for Agricultural Applications. *Biosystems Engineering*, 87(4), 479-487. doi:10.1016/j.biosystemseng.2004.01.008
- Segine, I., Gary, C., & Tchamitchian, M. (1994). Optimal temperature regimes for a greenhouse crop with a carbohydrate pool: A modelling study. *Scientia Horticulturae*, 60(1), 55-80. doi:10.1016 / 0304-4238 (94) 90062-0
- Seginer, I. (1994). Transpirational cooling of a greenhouse crop with partial ground cover. *Agricultural and Forest Meteorology*, 71(3), 265-281. doi:10.1016/0168-1923(94)90015-9
- Services, U. F. (2015). *Mozambique Agricultural Economic Fact Shee*. United States Embassy in Mozambique, Pretoria. 32 pp.
- Sethi, V. P., & Sharma, S. K. (2007). Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy*, 81(12), 1447-1459. doi:10.1016/j.solener.2007.03.004
- Shamshiri, R., & Ismail, W. I. (2013). A review of greenhouse climate control and automation systems in tropical regions. *J. Agric. Sci. Appl.*, 2(3), 176-183.
- Silici, L., Bias, C., & Cavane, E. (2015). *Sustainable agriculture for small-scale farmers in Mozambique: A scoping report*. Natural Resources research group. London: IIED. <http://pubs.iied.org/14654IIED>
- Siqueira, M. B., Katul, G. G., & Tanny, J. (2002). The Effect of the Screen on the Mass, Momentum, and Energy Exchange Rates of a Uniform Crop Situated in an Extensive Screenhouse. *Boundary-Layer Meteorol*, 142, 339-363. doi:DOI 10.1007/s10546-011-9682-5
- Sitoe, T. A. (2005). *Agricultura familiar em moçambique: Estratégias de desenvolvimento sustentável*. Maputo. 32 pp.
- Smith, C. V., & Kingham, H. G. (1971). A contribution to glasshouse design. *Agricultural Meteorology*, VII(71), 447-468. doi:10.1016/0002-1571(71)90132-4
- Soares, J. O., Fernandes, V. A., Março, A. A., & Marques, J. P. (1999). *Avaliação de projectos de investimento na óptica empresarial (1ª ed.)*. Lisboa: Edições SILABO. LDA. 185 pp.
- Spitters, C., Toussaint, H., & Goudriaan, J. (1986). Separating The Diffuse And Direct Component Of Global Radiation And Its Implications For Modeling Canopy Photosynthesis Part I. Components Of Incoming Radiation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 38, 217-229. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/217601>
- Stanghellini, C, van't Ooester, B. and Heuvelink, E. (2019). *Greenhouse horticulture. Technology for optimal crop production*. Wageningen Academics Publishers, The Netherlands. 311 pp.
- Stanghellini, C., & de Jong, T. (1995). A model of humidity and its applications in a greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 76(2), 129-148. doi:10.1016/0168-1923(95)02220-r

- Surface Meteorology and Solar Energy. (2019). accessed 12 Dezeembro 2018, from NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Tanny, J. (2013). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 1(14), 26-43. doi:10.1016/j.enbuild.2015.02.010
- Tanny, J., Cohen, S., & Teitel, M. (2003). Screenhouse Microclimate and Ventilation: an Experimental Study. *Biosystems Engineering*, 84(3), 331-341. doi:10.1016/s1537-5110(02)00288-x
- Tanny, J., Liu, H., & Cohen, S. (2006). Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in a banana screenhouse. *Agricultural and forest meteorology*, 105-118. doi:doi:10.1016/j.agrformet.2006.06.004
- Teitel, M. (2007). The effect of screened openings on greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 143, 159–175. doi:10.1016/j.agrformet.2007.01.005
- Teitel, M., Garcia-Teruel, M., Ibanez, P. F., Tanny, J., Laufer, S., Levi, A., & Antler, A. (2015). Airflow characteristics and patterns in screenhouses covered with fine-mesh screens with either roof or roof and side ventilation. *Biosystems Engineering*, 131, 1-14. doi:10.1016/j.biosystemseng.2014.12.010
- TIA. (2008). *Tratado de Inquérito Agrícola*. MINAG, Maputo. 34 pp.
- Uaiene, R. (2012). Maize and sorghum technologies and the effects of marketing strategies on farmers' income in Mozambique. Master's Thesis, Master's Thesis. Purdue University, West Lafayette. 120 pp.
- Uamusse, M. M., Aljaradin, M., Nilsson, E., & Person, K. M. (2017, May 25-26). 2017 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies. Climate Change observations into Hydropower in Mozambique, p. 2.
- USAID & MANAGE. (2014). Demand Analysis Report- Republic of Mozambique. Programme Management Unit (FTF-ITT), 12. Hyderabad, Hyderabad, India: National Institute of Agricultural Extension Management, 24 pp. www.manage.gov.in.
- Usaid/Mozambique. (2015). The electricity sector in Mozambique: an analysis of the power crisis and its impact on the business environment. Maputo.
- USDA. (2015). Mozambique Agricultural economic Fact sheet. Foreign Agricultural Service, Pretoria. 5 pp.
- Van Keulen, H., Penning de Vries, F. W., & Drees, E. M. (1982). A summary model for crop growth. In P. F.W.T, & V. H.H., *Simulation of Plant Growth and Crop Production* (pp. 87-97). Wageningen., from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/171942>
- Van, K., & Dayan, E. (1993). TOMGRO a greenhouse-tomato simulation model. Report CABO-TT , Wageningen University and Research Centre, Netherlands. Retrieved Julho 14, 2019, from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/216610>
- Vazquez-Cruz, M. A., Guzman-Cruz, R., Cornejo-Perez, O., Torres-Pacheco, I., Guevara-Gonzalez, R. G., & Lopez-Cruz, I. L. (2014). Global sensitivity analysis by means of EFAST and Sobol' methods and calibration of reduced state-variable TOMGRO model using genetic algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 1-12. doi:10.1016/j.compag.2013.10.006

- Villarreal-Guerreroa, F., Kaciraa, M., Fitz-Rodrígueza, E., Kubotab, C., Giacomellia, G., Linkerc, R., & Arbeld, A. (2012). Comparison of three evapotranspiration models for a greenhouse cooling strategy with natural ventilation and variable high pressure fogging. *Scientia Horticulturae*(134), 210–221. doi:10.1016/j.scienta.2011.10.016
- Walker, J., & Short, T. (1983). Quantify of air flow for greenhouse structures. In M.A. Hellickson and J.N. Walker, In *Ventilation of Agricultural Structures* (p. 257 277). ASAE. 372 pp
- Walker, T., Pitoro, R., Tomo, A., Siteo, I., Sale ncia, C., Mahanzule, R., and Mazuze, F. (2016). Estabelecimento de Prioridades para a Investigaçã o Agra ria no Sector Pu blico em Moçambique Baseado nos Dados do Trabalho de Inque rito Agrí cola (TIA). Relato rio de Pesquisa, Instituto de Investigaçã o Agra ria de Moçambique, Maputo. 85 pp.
- WFP. (2015). Moçambique: Análise do Clima. Vam-food security analysis, Maputo. 22 pp, https://fscluster.org/sites/default/files/documents/mozclimateanalysisl_pt.pdf
- Willits, D. H. (2003). Cooling Fan-ventilated Greenhouses: a Modelling Study. *Biosystems Engineering*, 84(3), 315-329. doi:10.1016/s1537-5110(02)00270-2
- Wit, A. J., & Van Diepen, C. A. (2008). Crop growth modelling and crop yield forecasting using satellite-derived meteorological inputs. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(4), 414-425. doi:10.1016/j.jag.2007.10.004
- World Bank. (2006). Mozambique Agricultural Development Strategy:Stimulating Smallholder Agricultural Growth. Africa Region-Country Department , Agriculture, Environment, and Social Development Unit. 163 pp.
- Xu, G., Liu, X., Wang, Q., Xiong, R., & Hang, Y. (2017). Effects of screenhouse cultivation and organic materials incorporation on global warming potential in rice fields. *Springer Berlin Heidelberg*, 24, 6581–6591. doi:10.1007/s11356-017-8397-7
- Zolnier, S., Gates, R. S., Mach, C., & Buxton, J. (2000). Psychrometric and ventilation constraints for vapor pressure deficit control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 26(3), 343-359. doi:10.1016/s0168-1699(00)00084-3