



Mestrado em Agricultura Tropical

**Avaliação do comportamento agronómico da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd),
em diferentes regimes hídricos e níveis de fertilização azotada, nas condições
agroecológicas de Trás-os-Montes**

José Luís Pires

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestrado
em Agricultura Tropical*

Orientador

Professor Doutor António Castro Ribeiro

Co-orientador

Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Bragança

2017

DEDICATÓRIA

“Aos meus pais, Luís José Pires e Ana Luís Jone, que dignamente me mostraram à importância da família e o caminho da honestidade e persistência”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objectivos e não desanimar com as dificuldades. Agradeço por manter o meu filho, com saúde e alegria.

Agradeço aos meus irmãos e principalmente aos meus pais Luís Pires e Ana Jone, que sempre me motivaram, entenderam as minhas faltas e momentos de afastamento e me mostraram o quanto era importante estudar, mesmo não tendo eles a mesma oportunidade no passado.

Meu muito obrigado ao meu orientador e co-orientador, Professor Doutor António Castro Ribeiro e Professor Doutor Manuel Ângelo Rodrigues pela paciência, orientação e oportunidade em desenvolver este trabalho, e por não ter medido esforços para o seu sucesso.

Uma palavra de apreço a minha família, minha esposa e filho. Resumi-los a sua importância para mim é muito pouco e apesar de ter estado longe e ausente durante este tempo, tenho a certeza que eles entenderam que não foi por querer, mas sim em busca do melhor para nós.

Aos meus professores do curso de Mestrado em Agricultura Tropical, em especial ao Professor Doutor Carlos Aguiar, Professor Doutor Manuel Ângelo Rodrigues, Professor Doutor António Castro Ribeiro e Professor Doutor Tomás Figueiredo por me terem permitido ter um novo olhar sobre o mundo académico, na busca de conhecimentos científicos e iniciativas com vista a ter uma visão ampla ao nível do sector agrário.

Aos colegas do curso e toda malta amiga. Muitos amigos se fizeram nessa jornada que jamais terá fim, em especial: Pascual, Forquilha, Matembele, Decio, Nelson, Laurindo, Samora, Ladeira, Brito, Mauro, Joaquina, Xênia, Yara, Celina, Yolanda, Beta, Tiago e Francisco vai o meu *canimambo*.

Aos demais, agradecimentos académicos

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	x
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Quinoa.....	4
2.1.1 Origem e distribuição da quinoa.....	4
2.1.2 Utilizações	6
2.1.3 Classificação botânica, descrição da planta e fenologia.....	6
2.1.4 Exigências edafoclimáticas.....	10
2.2 Técnicas culturais.....	11
2.2.1 Preparação de solo	11
2.2.2 Seleção de variedades e sementeira	11
2.2.3 Adubação	12
2.2.4 Controlo fitossanitário	12
2.2.5 Colheita.....	12
2.3 Somatório térmico e fotoperíodo	13
2.4 Tolerância a seca	15

2.5 Tolerância à geada.....	16
2.6 Parâmetros de rega e necessidades hídricas das plantas	17
2.6.1 Evapotranspiração de referência.....	18
2.6.2 Evapotranspiração cultural em condições padrão	19
2.6.3 Balanço hídrico do solo e necessidades de água para rega.....	21
2.6.4 Gestão da rega baseada no balanço hídrico do solo	23
2.7 Produtividade da água	25
2.8 Potencial hídrico foliar	26
2.9 Efeito da irrigação sobre as características agronômicas da quinoa	27
III. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Caracterização do local	29
3.2 Condução da experiência	31
3.2.1 Preparação do solo.....	31
3.2.2 Demarcação da área.....	32
3.2.3 Adubação e sementeira.....	32
3.2.4 Rega	33
3.2.5 Controlo de infestantes e retanchar.....	34
3.2.6 Controlo de pragas e doenças	35
3.3 Delineamento experimental.....	35
3.4 Parâmetros e procedimentos de medição	36
3.4.1 Preparação de base de dados de cultivo.....	36

3.4.2 Cálculo do somatório térmico.....	37
3.4.3 Índice de área foliar	38
3.4.4 Teor de humidade do solo	38
3.4.5 Determinação de Evapotranspiração de referência (ET _o) e Evapotranspiração da cultura (ET _c).....	39
3.4.6 Balanço hídrico.....	40
3.4.7 Potencial hídrico foliar	40
3.4.8 Determinação da biomassa e produtividade da água.....	41
3.5 Análise estatística.....	41
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 Descrição e análise climatológica	42
4.1.1 Efeito das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento da quinoa.....	45
4.2 Índice de área foliar.....	47
4.3 Somatório térmico.....	50
4.4 Necessidades hídricas da cultura.....	51
4.4.1 Coeficiente cultural e evapotranspiração de cultura.....	52
4.5 Balanço hídrico	54
4.5.1 Balanço hídrico em sequeiro	54
4.5.2 Balanço hídrico a 50% de ET _c	55
4.5.3 Balanço hídrico 100% de ET _c	57
4.6 Teor de água no solo	59

4.7 Potencial hídrico foliar	60
4.8 Biomassa e produtividade da água	62
V. CONCLUSÕES	64
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
VII. ANEXO	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Características do solo da área experimental	31
Tabela 2. Descrição da variedade de quinoa utilizada.....	33
Tabela 3. Descrição dos tratamentos	36
Tabela 4. Etapas de desenvolvimento e características do cultivo para quinoa. Valores desenvolvidos para guias publicadas pela FAO e calibrados para a Equação de ETo de FAO-Penman-Monteith (Allen <i>et al.</i> , 1998).....	37
Tabela 5. Normais climatológicas de Bragança (1971-2000) e medidas obtidas no local do ensaio em 2016, temperatura média mensal (°C), precipitação acumulada mensal (mm) e humidade relativa média do ar (%)......	42
Tabela 6. Duração das fases do ciclo da quinoa, evapotranspiração de referência (ETo), coeficientes culturais e evapotranspiração da cultura (ETc) obtidas durante o ensaio.....	51
Tabela 7. Precipitação efectiva e água aplicada nos tratamentos regados	53
Tabela 8. Parâmetros básicos de irrigação determinados através de CROPWAT 8.0 para parcelas não irrigadas.....	55
Tabela 9. Parâmetros básicos de irrigação determinados através de CROPWAT 8.0 para parcelas irrigadas a 50 % da evapotranspiração da cultura.....	57
Tabela 10. Parâmetros básicos de irrigação determinados através de CROPWAT 8.0 para parcelas irrigadas a 100% da evapotranspiração da cultura.....	59
Tabela 11. Produtividade da água.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Produção e distribuição mundial de quinoa (FAO, 2011).....	5
Figura 2. Área de produção mundial de quinoa e rendimento médio durante o período 1961-2009 (FAO, 2011).....	5
Figura 3. Evolução do coeficiente cultural (KC) ao longo do ciclo de crescimento de uma cultura (Allen <i>et al.</i> , 2006).....	21
Figura 4. Balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes, (Shahidian 2012).....	22
Figura 5. Exemplo de um balanço hídrico do solo com o método da FAO, (Shahidian 2012)....	24
Figura 6. Número médio de dias com temperatura máximas superiores a 25°C e mínimas inferiores a 0°C e superior a 20°C e Variação mensal da temperatura máxima e mínima e da precipitação mensal.....	30
Figura 7. Controlo de infestante e retanchar aos 30 dias após a sementeira.....	34
Figura 8. Plantas atacadas por pulgões e aplicação do insecticida.....	35
Figura 9. Posicionamento da sonda do ceptómetro durante a medição do IAF.....	38
Figura 10. Tubo de acesso para medição de teor de humidade.....	39
Figura 11. Temperatura máxima, mínima e radiação solar médias diárias registadas durante o ensaio.....	43
Figura 12. Precipitações diárias registadas durante o ensaio.....	44
Figura 13. Humidade relativa máxima e mínima diária registada durante o ensaio.....	45
Figura 14. Inflorescência da quinoa com estruturas de frutos chochos, abortos florais e permanência do fenómeno verde nas plantas.....	46

Figura 15. Índice de área foliar (IAF) e os respectivos desvio padrão, em função dos dias após a sementeira (DAS), (a) N0 de azoto, (b) N1 de Azoto, (c) N2 de Azoto, (d) N3 de 100% de Azoto.	49
Figura 16. Duração das fases de desenvolvimento da quinoa, Sementeira-Emergência (S-EME), Emergência-Floração (EME-FLO), Floração-Frutificação (FLO-FRUT) e Frutificação (FRUT) com tempo expresso em dias (a) e em tempo térmico usando uma temperatura de base (Tb) de 2°C (b).	50
Figura 17. Curso da evapotranspiração da cultura (ETc) e de referência (ETo)	52
Figura 18. Curva de Kc da quinoa	53
Figura 19. Balanço hídrico simulado através de CROPWAT 8.0 para parcelas não irrigadas. CC - capacidade de campo; ADT - água total disponível e AFD - água facilmente disponível.	54
Figura 20. Balanço hídrico simulado através de CROPWAT 8.0 para parcelas irrigadas a 50% da evapotranspiração da cultura. CC - capacidade de campo, ADT - água total disponível e AFD - água facilmente disponível.	56
Figura 21. Balanço hídrico simulado através de CROPWAT 8, para parcelas irrigadas a 100% da evapotranspiração da cultura. CC - capacidade de campo, ADT - água total disponível e AFD - água facilmente disponível.	58
Figura 22. Variação do teor de água no solo, Cc – Capacidade de campo e Ce – Coeficiente de emurchimento.....	60
Figura 23. Potencial hídrico foliar da quinoa.....	61
Figura 24. Produção de Biomassa em função dos níveis de rega e azoto. Letras iguais, médias estatisticamente iguais para níveis de Rega e Azoto (p<5%)	62

RESUMO

A quinoa é uma cultura andina muito importante ao nível mundial devido ao seu elevado valor proteico (14%) e ausência de glúten no seu grão. As perspectivas de poder ser introduzida na agricultura europeia tem levado à realização de várias experiências com o objetivo de avaliar a sua adaptação às condições climáticas de várias regiões.

Este estudo teve como principal objectivo avaliar o comportamento agronómico da quinoa em diferentes regimes hídricos e níveis de fertilização azotada, nas condições agroecológicas na região de Trás-os-Montes, nordeste de Portugal. Para o efeito foi conduzida uma experiência na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança (Latitude, 41° 47' 52.06" N, Longitude, 6° 45' 58.65" W e Altitude de 693m), utilizando o Delineamento Split-Block com três regimes hídricos (sequeiro, regas com 50% da ETc e 100% de ETc) e 4 níveis de azoto (0; 67; 133 e 200 kg/ha) aplicados na forma de Nitromagnésio.

Para avaliar o comportamento da cultura foram consideradas as variáveis do clima durante o período em que decorreu o ensaio. Foi determinado o tempo térmico, a evapotranspiração da cultura, o balanço hídrico e o teor de água no solo. Na cultura foi medido o índice da área foliar, o potencial hídrico, determinada a biomassa e a produtividade da água.

O comportamento da quinoa foi influenciado pelas condições agroecológicas da região Trás-os-Montes. Os resultados mostram que o clima, em particular as elevadas temperaturas e baixa precipitação, e o fotoperíodo influenciaram o desenvolvimento e crescimento da quinoa. As plantas, em meados de Setembro, nas parcelas sem rega estavam em stresse hídrico muito severo (potencial hídrico de -2,3 MPa). Os tratamentos com rega deficitária (50% ETc), mantiveram-se com valores próximos de potencial hídrico de -1,7 MPa em Setembro, revelando uma condição de stresse hídrico menos severo que as plantas não regadas.

O balanço hídrico foi influenciado pelo regime hídrico aplicado. Nos tratamentos com rega as dotações aplicadas foram de 259,1 (50% ETc) e 518,21 mm. Na testemunha não regada a precipitação efectiva foi de 60,5 mm. A biomassa aumentou com o aumento do nível de fertilização azotada até a dose N2 proporcionando um aumento significativo de 485,75% em relação às parcelas não fertilizadas. A produtividade da água foi influenciada significativamente

pela irrigação deficitária e pelo azoto que proporcionou um aumento de 3,04 a 7,44 kg/m³ gerando um incremento na ordem de 144,7% do N0 para N3.

Palavras-chave: Clima, Irrigação, Fertilização azotada

ABSTRACT

Quinoa is a very important Andean culture worldwide due to its high protein content (14%) and the absence of gluten in its grain. The perspectives of being introduced in European agriculture has led to a number of various experiments in order to assess their adaptation to climatic conditions of different regions.

This research aimed to evaluate the effect of the agronomic behavior of quinoa in different water regimes and levels of nitrogen fertilization in the agro-ecological conditions of Trás-os-Montes. In order to reach the objectives, an experiment was conducted at the Higher Agricultural School of the Polytechnic Institute of Bragança (Latitude, 41 ° 47 '52.06 "N, Longitude, 6 ° 45' 58.65" W and 693m Altitude), using the Split-Block with three irrigation regimes (rainfed, irrigation with 50% ET_c and 100% ET_c) and 4 nitrogen levels (0, 67, 133 and 200 kg/ha).

To evaluate the behavior of the crop, the climatic variables were analyzed during the period of the experiment. Thermal time, crop evapotranspiration, water balance and soil water content were determined. The leaf area index, the water potential were measured, and the biomass and water productivity were determined.

The quinoa response was influenced by the agroecological conditions of the Trás-os-Montes region. The results show that the climate, in particular the high temperatures and low precipitation, and the photoperiod influenced the development and growth of quinoa.

The plants in mid-September in plots without irrigation were in very severe water stress (water potential of -2.3 MPa). The treatments with deficit irrigation (50% ET_c), maintained close values of -1.7 MPa water potential in September, revealing a condition of water stress less severe than the non-irrigated plants.

The water balance was influenced by the applied water regime. In irrigated treatments the applied amounts were 259.1 (50% ET_c) and 518.21 mm. In the non-irrigated control the precipitation was 60.5 mm. Biomass increased with increasing nitrogen fertilization up to the N₂ dose, giving a significant increase of 485.75% over unfertilized plots. Water productivity was significantly influenced by deficit irrigation and nitrogen, which increased from 3.04 to 7.44 kg / m³ with a 144.7% increase from N₀ to N₃.

Keywords: Climate and irrigation, nitrogen fertilization

I. INTRODUÇÃO

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) é uma cultura conhecida pela sua ampla adaptação e alto valor nutricional. Seu centro de origem é a Cordilheira dos Andes da América do Sul, perto do lago Titicaca, no Peru e na Bolívia. O grão da quinoa é livre de glúten, rico em proteínas e contém um perfil de aminoácidos equilibrado comparado com grãos de cereais comuns. A quinoa contém todos os aminoácidos essenciais para o ser humano, incluindo lisina, isoleucina, leucina, fenilalanina, tirosina, treonina, triptofano, valina, histidina e metionina (Walters *et al.*, 2016).

Para forragem, utiliza-se o grão e a planta inteira, os quais apresentam boa palatabilidade e considerável quantidade de proteína e valor energético. Devido à presença de saponina, a quinoa contribui para a prevenção de algumas doenças das articulações dos cavalos, além de eliminar vermes e protozoários presentes no trato digestivo, tornando-se importante para a indústria de alimentos e rações (Rêgo, 2015).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2017), no período entre 1994 a 2014, o Peru e a Bolívia representaram cerca de 90% da produção mundial de quinoa. Os principais importadores de quinoa incluem Estados Unidos (45%), França (16%) e Holanda (13%), seguidos da Alemanha, Canadá, Israel, Brasil e Reino Unido.

Actualmente a quinoa tem despertado interesse nos Estados Unidos da América, Europa e Ásia, onde a sua demanda é estimada em vários milhares de toneladas por ano, acima dos níveis actuais de produção. Essa demanda actualmente não pode ser satisfeita devido à insuficiente produção de produtos alimentícios que atendam aos padrões de qualidade exigidos. O grande potencial desta cultura ainda não foi fortemente explorado, principalmente devido à falta de pesquisas sobre sistemas de cultivo sustentáveis e sobre a gestão de restrições de factores bióticos e abióticos à sua produção (Jacobsen, *et al.*, 2003).

A quinoa é considerada como uma cultura resistente a vários factores bióticos e abióticos adversos que limitam a produção agrícola, incluindo a seca, geada e salinidade. No entanto, pesquisas sobre os mecanismos fisiológicos para esses tipos de resistência e sua resposta aos

níveis reais de stress conferidos pelo ambiente só recentemente foram iniciadas (Miranda *et al.*, 2010).

Devido a sua capacidade de se adaptar as condições climáticas adversas, foi seleccionada e indicada pela FAO como uma das culturas destinadas a oferecer a segurança alimentar neste século. A quinoa apresenta elevada capacidade de adaptação aos mais variados ambientes, em consequência da elevada variabilidade genética da espécie, podendo ser cultivada em diferentes zonas agro-ecológicas. As plantas suportam humidades relativas entre 40% e 88% e temperaturas entre -4°C e 35°C, podendo resistir a défice hídricos, geadas e solos salinos (FAO, 2011).

Portanto, a planta tolera estas adversidades através da sua plasticidade de crescimento, elasticidade do tecido, e baixo potencial osmótico. A planta também evita os efeitos negativos da seca através do seu sistema radicular profundo e denso; redução da área foliar, por queda foliar; glândulas vesiculares especiais; pequenas paredes espessas, adaptadas a grandes perdas de água sem perda da turgidez; e o seu comportamento estomático (Jensen *et al.*, 2000).

As perspectivas de introduzir a quinoa na agricultura europeia têm sido discutidas em vários artigos. Jacobsen (1997) afirma que em 1994 foi iniciado um projecto da União Europeia (UE), abrangendo 11 organizações em seis Estados-Membros, para examinar os usos industriais da quinoa e investigações sobre a melhor época e densidade de sementeira, fertilidade, necessidade de irrigação, produção de sementes e tecnologias pós-colheita (Ruiz e Bertero, 2008 e Walters *et al.*, 2016). A quinoa é tida como uma cultura para a diversificação da agricultura europeia (Bois, *et al.*, 2006).

Neste âmbito entre vários elementos, a irrigação constitui um dos factores de grande importância quer seja para a sua introdução na agricultura europeia assim como para o aumento da produtividade. No entanto, a água é essencial para a produção vegetal, pois tanto o défice quanto o excesso prejudica o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Estudos relatam que o stress hídrico reduz sensivelmente a produção vegetal e limita a actividade agrícola. Mesmo a quinoa apresentando boa resistência ao défice hídrico, o fornecimento de água em quantidade ideal irá favorecê-la ao desempenho máximo das suas funções fisiológicas, o que pode proporcionar uma maior produtividade (Jacobsen, 2003). Segundo, Garcia *et al.* (2003),

demonstraram que uma baixa dotação de água pode resultar em consideráveis aumentos do rendimento da quinoa.

Dessa forma, a irrigação realizada no momento correcto, aplicando-se a quantidade adequada de água, proporciona índices de produtividade acima das médias normais. Dada a limitação dos recursos hídricos e os actuais desafios face as mudança climáticas, a irrigação realizada no momento correcto, aplicando-se a quantidade adequada de água constitui uma das melhores opções. No entanto, ao restringir as aplicações de água de acordo com as condições edafoclimáticas e da planta, os rendimentos podem ser significativamente aumentados e estabilizados em anos de baixa precipitação (Geerts *et al.*, 2008).

A falta de pesquisas sobre as necessidades de irrigação e a resposta ao rendimento a diferentes níveis de rega, tem dificultado o dimensionamento dos sistemas de irrigação, nesse sentido segundo Garcia *et al.* (2003) , torna-se necessário determinar o efeito de diferentes níveis de irrigação em função da Evapotranspiração da Cultura (ETc) na produção da quinoa. Assim, objectivou-se pelo presente estudo: Avaliar do comportamento agronómico da quinoa, em diferentes regimes hídricos e níveis de fertilização azotada, nas condições agroecológicas de Trás-os-Montes.

Estruturalmente o trabalho encontra-se dividido em 6 secções distintas. No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica, onde são destacados aspectos referente a cultura da quinoa e efeitos das variáveis climáticas, rega e adubação na cultura. O capítulo 3 é destinado à descrição dos materiais e métodos utilizados para a execução do trabalho bem como o tratamento de dados. No capítulo 4 apresentam-se os resultados e discussão onde se faz uma análise geral dos resultados e faz-se a discussão tendo em conta os resultados de outros estudos. No capítulo 5, apresentam-se as principais conclusões de acordo com os objectivos propostos no trabalho e finalmente no capítulo 6 são apresentados as referências bibliográficas.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Quinoa

2.1.1 Origem e distribuição da quinoa

A quinoa é uma espécie nativa da América do Sul, cultivada na região andina há pelo menos 5000 anos durante a época dos Incas. As principais culturas produzidas nessa época foram o milho, batata e a quinoa. Enquanto o milho e a batata conseguiram uma distribuição cosmopolita, a quinoa não se espalhou para fora das montanhas andinas. Após a conquista espanhola, houve um declínio acentuado no crescimento e uso da quinoa, devido à introdução de culturas europeias, como o trigo e a cevada. Os espanhóis também desencorajaram activamente o cultivo da quinoa por causa de seu *status* religioso na sociedade Incas. No entanto, continuou a ser cultivada pela população indígena em regiões de montanha, onde passou a ser a cultura de grãos mais importante devido à sua tolerância à seca e aos solos pobres (Jacobsen e Stolen, 1993).

A quinoa foi recentemente redescoberta pela comunidade científica, em razão do seu alto valor biológico e alimentar. É uma ótima opção granífera para o cultivo em todo o mundo, por apresentar uma grande diversidade de genótipos e por permitir o seu cultivo em diferentes regiões, sendo ainda tolerante a condições adversas, como a seca e solos salinos. A quinoa tem sido cultivada, especialmente nos Andes, em países como a Colômbia, Chile, Bolívia, Equador e Peru (Jacobsen *et al.*, 2003).

A Bolívia e o Peru (Figura 1) destacam-se como os principais produtores e exportadores de quinoa, sendo responsáveis por 88% da produção mundial (Ruiz *et al.*, 2014), onde de 1980 a 2011 aumentou em cerca de 300%, seguidos pelo Equador, EUA e Canadá. Para países como o Chile, Argentina, Colômbia e México produzem principalmente para consumo doméstico. Os outros países estão desenvolvendo projectos (ensaios de campo) com vista a melhorar a produção e produtividade desta cultura nos seus países (Ruiz *et al.*, 2014).

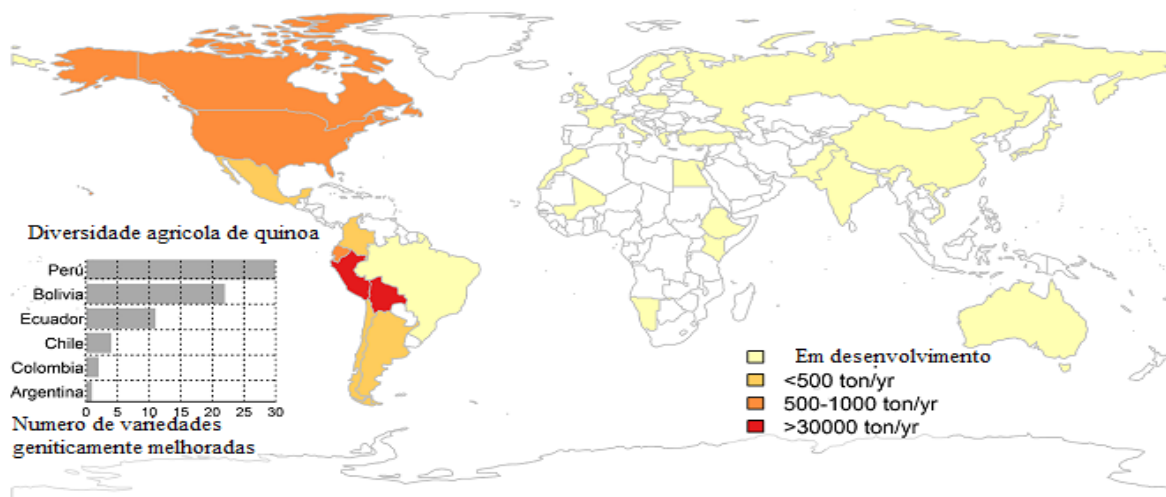


Figura 1. Produção e distribuição mundial de quinoa (FAO, 2011)

O cultivo da quinoa tem-se expandido também na Europa, América do Norte, Ásia e África, tendo, os americanos e europeus, realizado testes que demonstraram o potencial da quinoa como graminífera para alimentação humana nestas regiões (Jacobsen *et al.*, 2003).

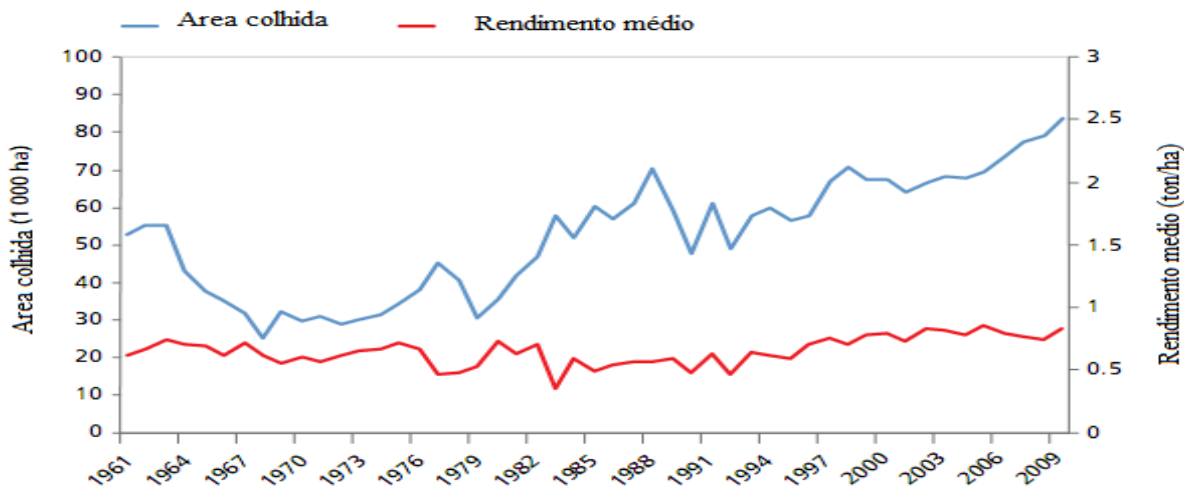


Figura 2. Área de produção mundial de quinoa e rendimento médio durante o período 1961-2009 (FAO, 2011).

2.1.2 Utilizações

A quinoa é altamente nutritiva e pode ser usada para fazer farinha, vitaminas, flocos e álcool. É vendida também na forma de grãos crus, que podem ser cozidos como o arroz ou em combinação com outros pratos. Ainda pode ser usada na fabricação de cerveja, por meio da fermentação do malte produzido da germinação dos seus grãos. Pode ser usada como forrageira para alimentar bovinos, suínos e aves. O uso medicinal da quinoa foi relatado para combater inflamações, como analgésico e para a desinfecção do trato urinário. Há também referências ao seu efeito protector da hemorragia interna e ao uso como repelente de insectos (Maximiano, 2014).

Em regiões de baixas altitudes, a quinoa é cultivada como uma monocultura ou em rotação com batata e cevada e às vezes com trigo e milho. Quando cultivada como monocultura, os campos são deixados em pousio por 1 a 3 anos, às vezes até mais, para controlo de pragas e permitir a regeneração da fertilidade do solo e acumulação da reserva de água do solo. Tradicionalmente, a quinoa é cultivada em consociação, embora para fins de exportação é geralmente preferido o monocultivo (Christiansen *et al.*, 2010).

2.1.3 Classificação botânica, descrição da planta e fenologia

Segundo Bhargava *et al.* (2006) a quinoa é uma planta dicotiledónea e botanicamente é classificada como:

Subclasse - Dycotiledoneae,

Grupo - Thalamiflorae,

Ordem - Caryophyllales,

Família - Amaranthaceae,

Género - *Chenopodium*,

Espécie - *Chenopodium quinoa*

O género *Chenopodium* apresenta-se distribuído pelo mundo com várias espécies, existindo cerca de 250 identificadas. Dessas, destacam-se a *C. quinoa*, *C. palidicaule* (de origem andina) e

C. berlandierisp. nutaliae (de origem mexicana) como pseudocereais da América. Na Ásia, cultiva-se o *C. album*, onde se utilizam as suas folhas e os grãos na alimentação, como o espinafre. Essa espécie constitui uma infestante em regiões temperadas e subtropicais do mundo. O número diferente de cromossomas faz com que haja um isolamento natural entre essa espécie e a *C. quinoa*, sem risco de ocorrerem híbridos naturais (Spehar, 2006).

A quinoa é uma planta anual monóica, com um eixo erecto e folhas alternas, pecioladas e coloridas devido à presença de beta cianinas. A sua altura varia entre 0,5 a 3,0 m, com uma média de 1,0 a 1,5 m. Ela exhibe um alto grau de ramificação que é controlado por factores genéticos e ambientais. As folhas apresentam polimorfismo, e as superiores são lanceoladas enquanto as inferiores são romboidais (Bhargava *et al.*, 2006; Jacobsen e Stolen, 1993).

A quinoa possui um sistema radicular pivotante, bem desenvolvido, profundo e ramificado, que pode penetrar até 1,5 m abaixo da superfície, protegendo a planta contra estiagens. Devido o baixo nível de dormência das sementes, a emergência da plântula e alongamento da raiz, ocorre rapidamente com a presença de humidade adequada no solo. O surgimento de raízes profundas e ramificadas na quinoa pode ser uma das razões para o alto grau de resistência à seca da cultura (Jacobsen e Stolen, 1993).

Dentro da haste existe uma medula sem fibras, de cor branca a creme, que nas fases iniciais do crescimento é maciça e macia, mas que se torna oca e esponjosa à medida que a maturação se aproxima. Em contraste, o córtex é firme e compacto. A haste externa pode ser verde, verde com axilas coloridas (principalmente vermelhas), verde com listras roxas ou vermelhas, ou vermelha (Jacobsen e Stolen, 1993).

Os ramos originam-se nas axilas de cada folha no eixo. O seu comprimento varia de acordo com o cultivar e as condições ambientais. A ramificação é indesejável para a produção de grãos e é minimizada através de técnicas de cultivo ou respeitando a densidade ideal da planta, pois em situações em que a densidade é baixa favorece a ramificação (Jacobsen e Stolen, 1993).

As folhas possuem várias adaptações morfológicas que ajudam a suportar a seca durante o crescimento. Entre estas adaptações estão a cera cuticular, estomas protegidos por uma epiderme espessa e papilas em ambos os lados. As folhas jovens, o caule e as flores jovens são

normalmente cobertos em ambos os lados com a cera de cor branca, roxa ou vermelha. A seca tem demonstrado, nas experiências dinamarquesas, ser a mais perigosa para a quinoa quando ocorre durante a fase vegetativa, que felizmente é a fase com a distribuição mais abundante de papilas, que é a maior protecção contra a seca (Jacobsen e Stolen, 1993).

A inflorescência é uma panícula, com um comprimento que varia de 15-70 cm surgindo no topo da planta e nas axilas das folhas inferiores. Tem um eixo principal de onde surgem eixos secundários que podem ser de dois tipos: amarantiformes e glomerulate. Uma característica importante da quinoa é a presença de flores femininas hermafroditas e unissexuais. As hermafroditas localizam-se nas extremidades e possuem cinco lobos de perianto, cinco anteras e um ovário superior com dois ou três ramos estigmáticos. Algumas variedades mostraram esterilidade masculina em algumas ou todas as flores femininas (Bhargava *et al.*, 2006).

O fruto é um aquénio, podendo ser cónico, cilíndrico ou elipsoidal, com saponinas concentradas no pericarpo (Bhargava *et al.*, 2006). Segundo Jacobsen e Stolen (1993), as saponinas podem exercer os efeitos negativos devidos à actividade hemolítica e amargor, e um efeito positivo, devido à capacidade de ligação ao colesterol.

De acordo com Gandarillas, (1967) citado por Maximiano (2014), a duração das fases fonológicas da quinoa depende fortemente do genótipo, das condições de solo e dos factores ambientais na área de cultivo, apresentando as seguintes fases fenológicas:

- I. Emergência, esta fase ocorre na segunda semana após a sementeira, quando a plântula emerge do solo e se estendem as folhas cotiledonares.
- II. Duas folhas verdadeiras, ocorre após 10 a 15 dias da sementeira, com o aparecimento de folhas opostas já lanceoladas, mostrando um rápido crescimento das raízes.
- III. De quatro a seis folhas verdadeiras, entre os 25 a 30 dias após a sementeira, ocorre o desenvolvimento das folhas na gema apical e o início da formação de gemas axilares. Nos 35 a 45 dias após o plantio são observadas três pares de folhas verdadeiras expandidas e as folhas cotiledonares começam a possuir uma coloração amarelada.

- IV. Ramificações - observam-se oito folhas verdadeiras expandidas com presença da folha axilar observada até ao terceiro nó, as folhas cotilédones caem e deixam cicatrizes no caule, também ocorre a presença de inflorescência protegida por folhas, sem expor a panícula. Estes eventos ocorrem 45-50 dias após a sementeira. Durante esta fase pode ser feita a amontoa e adubação orgânica.
- V. Início do desenvolvimento da panícula - ocorre entre 55-60 dias após a sementeira. A inflorescência surge a partir do ápice da planta, envolvida por pequenas folhas aglomeradas, também podem ser vistas as primeiras folhas amarelecidas verdadeiras (folhas que não são fotossinteticamente activas) e o aumento do alongamento e espessura da haste da planta. Entre 65-75 dias após a sementeira, a inflorescência fica claramente acima das folhas, podendo-se observar a forma das aglomerações da planta.
- VI. Início da floração - ocorre em aproximadamente 75 a 80 dias após a sementeira, quando a flor hermafrodita apical se abre mostrando os estames separados. Esta fase é bastante sensível à seca e à geada. Podem-se notar os glomérulos das anteras protegidos por um perigónio de coloração verde limão. Considera-se que a cultura esteja na fase de floração, quando 50% das flores nas panículas encontram-se abertas, podendo ocorrer aproximadamente entre 80 a 90 dias após a sementeira.
- VII. Grão pastoso - ocorre aproximadamente 100 a 130 dias após a sementeira, quando o fruto liberta um líquido leitoso quando pressionado. Nesta fase o défice hídrico é extremamente prejudicial para o enchimento de grãos.
- VIII. Maturação fisiológica - ocorre aproximadamente 160 a 180 dias após a sementeira, quando o grão, pressionado pelas unhas, apresenta resistência à penetração. O teor de humidade dos grãos varia de 14 a 16%. Nesta fase também ocorre o amarelecimento e desfolha completa da planta.

2.1.4 Exigências edafoclimáticas

A quinoa é uma planta originária da região andina que possui condições edafoclimáticas extremas. Tendo evoluído nestas condições, adquiriu altos níveis de tolerância à geada, salinidade do solo, seca e outras condições adversas (Sanchez *et al.*, 2003).

As temperaturas ótimas para o crescimento e desenvolvimento, dependendo da espécie, estão na gama de 15 a 25°C. Pode tolerar geadas e altas temperaturas durante as fases de desenvolvimento vegetativo e inflorescência mas não na fase pastosa do grão. As temperaturas extremas levam à esterilidade do pólen e afectam o desenvolvimento e o crescimento da planta, o que leva à infertilidade ou à formação de grãos enrugados imaturos ou de baixo peso, dependendo de quando ocorre o stresse térmico (Melorose *et al.*, 2016).

A quinoa pode ser cultivada dentro de um intervalo de precipitação entre 300 mm e 1000 mm. Porém, o intervalo de precipitação óptimo é de 500 a 800 mm (Melorose *et al.*, 2016). As fases susceptíveis ao défice de água são a floração e enchimento do grão. A humidade excessiva provoca a podridão do sistema radicular enquanto o excesso de humidade afecta a floração e maturação fisiológica (López, 2012).

A quinoa pode crescer em diversos tipos de solos, incluindo solos marginais (Jacobsen *et al.*, 2003). Ela desenvolve-se melhor em solos francos, com uma boa drenagem e com alto teor de matéria orgânica, sendo uma planta exigente em azoto e cálcio. Em relação ao pH do solo, a cultura desenvolve-se relativamente bem em solos com pH na faixa entre 4,5 a 9. Devem ser evitados solos com problemas de alagamento ou inundação porque dificultam o estabelecimento inicial da cultura e, ao longo do ciclo, são propícios à ocorrência de podridão radicular (Melorose *et al.*, 2016).

Segundo Sanchez *et al.* (2003) a quinoa é uma planta halófita que pode crescer e desenvolver-se em solos com alto conteúdo de sais. No entanto, essa característica depende da variedade utilizada. A quinoa possui diferentes mecanismos para contornar os efeitos de deficiência hídrica, apresentando mecanismos de escape e de tolerância à seca, para crescer e desenvolver-se em situações de elevado potencial de água no solo.

2.2 Técnicas culturais

2.2.1 Preparação de solo

A lavoura deve ser realizada com uma humidade do solo adequada e a uma profundidade acima dos 30 cm. Uma boa lavoura tem efeitos positivos para a cultura de quinoa, pois permite maior penetração de água da precipitação ou irrigação, facilita o enterramento das ervas daninhas, resíduos vegetais e estrume de pastoreio melhorando, desse modo, os níveis de matéria orgânica no solo, retira os ovos e larvas de alguns insectos nocivos às culturas e promove maior desenvolvimento das raízes.

2.2.2 Selecção de variedades e sementeira

Antes de se proceder à sementeira é importante seleccionar a variedade que deve deverá ter as seguintes características: rapidez de crescimento, ausência de acamamento, insensibilidade ao fotoperíodo, baixa ramificação, indeiscência do perigónio (estrutura derivada do cálice que envolve o fruto) e das sementes (frutos), maturação uniforme, ciclos variados (entre precoce a tardio), elevado rendimento de grãos e biomassa, sementes com qualidade e elevado peso específico, de 2,0 a 3,5 g/1000 (Spehar, 2006).

A sementeira é a chave para o sucesso da produção da quinoa. Ao realizar uma sementeira superficial ocorre o risco de desidratação das sementes ou queimaduras solares, enquanto a sementeira profunda reduz a emergência. Em ambos os casos, um suporte deficiente e cobertura de dossel irregular ocorre com efeitos prejudiciais sobre o rendimento final. A prática comum é semear entre 8 a 15 kg de sementes por hectare em fileiras de 0,4 a 0,8 m de distância, no topo do leito ou no sulco, com plantas espaçadas a cerca de 10 cm de distância na linha após o desbaste.

Terreno nivelado e bem drenado é mais adequado para o cultivo, sendo que as sementes devem ser colocadas a uma profundidade que varia de 1 a 2 cm, com leve substrato por cima, em sementeiras com solo húmido e argiloso (Jacobsen *et al.*, 2003).

O espaçamento entre linhas para a quinoa varia muito. Em experiências na Inglaterra, os maiores rendimentos foram observados para o espaçamento entre linhas de 20 cm semeado com 20 kg de

sementes/ha. Com base nas considerações de colheita e competição de infestantes, recomenda-se uma sementeira de 6 kg/ha com densidades de 100 a 150 plantas/m² para o cultivo de quinoa no norte da Europa. Não é recomendado um espaçamento entre linhas definido, embora haja referências a que um espaçamento maior que 36 cm seja benéfico e que o aumento da densidade possa causar uma diminuição na quantidade de ramificação das plantas e resulte em maturações mais precoces (Peterson, 2013).

2.2.3 Adubação

A quinoa responde à fertilização azotada, porém, níveis elevados de azoto, favorecem a diminuição da produtividade, em razão do retardamento da maturação e intensa assimilação desse nutriente (Maximiano, 2014).

O fósforo é requerido em doses de 30 a 60 kg/ha, nas condições ótimas de cultivo. O suprimento de potássio deve ser superior ao que se emprega na soja, com base na composição da planta. Para cada tonelada de grãos a planta retira cerca de 30 kg/ha de K₂O. Altas doses de fósforo e de potássio proporcionaram um prolongamento da fase vegetativa e não aumentaram o rendimento de grãos (Maximiano, 2014).

2.2.4 Controle fitossanitário

A ocorrência de infestantes, pragas e doenças depende em grande parte das condições do clima onde será produzida a quinoa. Porém, de um modo geral, as plantas daninhas de folha estreita e gramíneas são as principais infestantes que infestam a plantação de quinoa. Formigas e desfolhadores podem prejudicar o cultivo do grão, assim como as doenças de míldio e cercosporiose.

2.2.5 Colheita

A colheita é determinada pelo teor de humidade da semente, que deve ser inferior a 20%, para diminuir perdas no processo de colheita e na pós-colheita. Observações mostraram que sementes colhidas com níveis superiores ao indicado podem fermentar e perder rapidamente a germinação

e o vigor. A secagem, realizada sempre que o material colhido apresentar valores superiores a 20%, reduzindo a humidade para cerca de 12%. Neste nível podem-se armazenar as sementes por longo prazo. Entretanto, o uso de embalagens herméticas possibilita a manutenção da germinação por longos períodos, além de prevenir pragas do armazém (Spehar, 2006).

2.3 Somatório térmico e fotoperíodo

As condições de luz e temperatura, às quais as espécies vegetais são submetidas, apresentam uma relação intrínseca, sendo estes os principais factores ambientais que influenciam o desenvolvimento e produção das plantas em cada estado fenológico (Wallace *et al.*, 1991). O conhecimento do efeito do clima na cultura pode auxiliar na planificação agrícola, possibilitando a obtenção de maiores produtividades e diminuição de perdas por factores climáticos (Teixeira *et al.*, 2015).

A quantificação do efeito da temperatura do ar sobre as plantas, geralmente, é realizada utilizando o tempo térmico em graus-dia (GD) sendo uma melhor medida do tempo biológico que dias do calendário civil ou dias após a sementeira (Trentin *et al.*, 2008). Segundo este conceito, as plantas desenvolvem-se à medida que se acumulam unidades térmicas acima de uma temperatura base (T_b), abaixo da qual o desenvolvimento da planta cessa. Para a quinoa, da fase de emergência a floração, a temperatura de base (T_b) varia entre 1 a 3,4°C de acordo com a latitude de origem das variedades (Bertero, 2003, citado por Bois *et al.*, 2006).

A sensibilidade ao efeito da temperatura, assim como a resposta ao fotoperíodo durante o período de crescimento da cultura, determinam em grande parte a capacidade da adaptação da quinoa a novas zonas agro-ecológicas. Ambos os atributos foram descritos para vários conjuntos de variedades de diferentes origens e foram úteis para seleccionar variedades promissoras para uma determinada região agro-ecológica em combinação com o manejo da cultura (Ruiz e Bertero, 2008).

O consumo de água de diversas culturas tem sido estimado a partir de relações entre o coeficiente de médio da cultura (K_c) ou coeficiente de cultural basal (K_{cb}) e graus-dia acumulados, como verificado para o sorgo, algodão, milho e feijão (Maximiano, 2014).

Para realizar o acompanhamento do desenvolvimento da cultura pelo método de graus-dia (GD), associado à exigência de água, é estabelecido, de início, a temperatura mínima exigida pela cultura em prol do desenvolvimento (temperatura de base), e os valores de Kc durante as suas diferentes fases fenológicas. Abaixo dessa temperatura, a planta não se desenvolve e, se o fizer, será a uma taxa muito reduzida. Com uma curva de Kc em função do tempo térmico pode-se determinar, com maior rigor, o momento certo de irrigar e a lâmina mais adequada, permitindo acompanhar o desenvolvimento e as necessidades da cultura ao longo do seu ciclo vegetativo (Maximiano, 2014).

A temperatura óptima para a produção de quinoa indica que a quinoa suporta uma temperatura máxima no intervalo de 15 a 25°C. Por outro lado, Choque (2016) afirma que a ocorrência de temperaturas baixas afecta particularmente a fase de germinação e floração, causando baixa produtividade de pólen e, conseqüentemente, a esterilidade da planta. Em contrapartida, a ocorrência de altas temperaturas pode afectar os processos fisiológicos da planta, acelerando o processo de produção de grãos para garantir a sua sobrevivência, isto é, pode observar-se panículas e florações precoces. Em condições de temperatura muito elevada pode ocorrer o aborto de flores.

Hafid *et al.* (2005) constataram que o factor temperatura desempenhou um papel importante no rendimento de sementes de quinoa devido as altas temperaturas (36°C) que se verificaram durante a sua produção. Observou-se que a temperatura do ar superior a 35°C provoca a esterilização do pólen das plantas o que leva a uma fraca produção de sementes e conseqüentemente baixo rendimento.

Num estudo feito por Peterson (2013) observou-se que a ocorrência de altas temperaturas durante a fase da floração e formação de semente afectou significativamente o rendimento da quinoa nos tratamentos irrigados e não irrigados, uma vez que as inflorescências careciam de sementes ou continham sementes vazias. Isto levou à conclusão que a ocorrência de temperaturas acima de 35°C durante a fase de antese e enchimento do grão constitui o principal factor limitante da produtividade da quinoa.

O fotoperíodo é um dos factores mais importantes que afectam o desenvolvimento das culturas. Ele condiciona o desenvolvimento vegetativo, a formação, abscisão e queda de folhas, e outros

processos da planta. A sua principal influência está na indução da floração e, conseqüentemente, na data de ocorrência da floração. A resposta das plantas ao fotoperíodo é complexa, pois envolve também os efeitos da temperatura no seu desenvolvimento.

A quinoa é classificada como uma planta de dias curtos, que responde também a variações da temperatura. Estudando o efeito do fotoperíodo na duração de todas as fases do desenvolvimento de duas variedades de quinoa, Bertero *et al.* (1999) observaram que a cultura apresenta resposta fisiológica à ocorrência de dias curtos. As respostas foram relacionadas com a indução da floração e com a duração do período reprodutivo, afectando também o desenvolvimento das sementes. Num outro estudo, Bertero (2003) relaciona a resposta de diferentes cultivares ao fotoperíodo, de acordo com sua região de origem (latitude), indicando a importância dessa relação na selecção de variedades.

Estudando o efeito do fotoperíodo nas fases do desenvolvimento de duas variedades de quinoa, Bertero *et al.* (1999) observaram que a cultura apresenta resposta fisiológica à ocorrência de dias curtos. As respostas foram relacionadas à indução ao florescimento e à duração do período reprodutivo, afectando também o desenvolvimento das sementes.

2.4 Tolerância a seca

A quinoa é considerada uma cultura com uma capacidade notável de tolerância à seca. O efeito da seca sobre o rendimento varia dependendo do estado de desenvolvimento da planta. Geerts *et al.* (2006), citado por Peterson (2013), descobriu que a ocorrência de seca nos estados iniciais de desenvolvimento da quinoa melhorou a eficiência do uso da água. Quando a seca ocorreu durante o estado de pré-floração até ao estado pastoso, foram observadas reduções significativas no rendimento. Jensen *et al.* (2000) também encontraram baixos rendimentos em condições de seca durante a fase de floração e enchimento de grão. Adicionalmente, os aumentos de rendimento foram observados quando a seca simulada ocorreu durante a fase de crescimento vegetativo. Observaram que o rendimento não diminuiu significativamente quando a seca simulada foi aplicada durante a fase de enchimento de grão. Jacobsen e Stolen (1993) observam que o maior impacto da seca ocorre durante a fase de crescimento vegetativo.

A resistência à seca da quinoa é atribuída a características morfológicas, como um extenso e ramificado sistema radicular e à presença nas folhas de vesículas contendo oxalato cálcico, que são higroscópicas e reduzem a transpiração. Características fisiológicas que indicam resistência à seca são o baixo potencial osmótico, a baixa razão peso da planta e peso seco, a baixa elasticidade e a capacidade de manter a turgescência mesmo em reduzido potencial hídrico da folha (Filho, 2013).

2.5 Tolerância à geada

As informações sobre a tolerância à geada na quinoa são contrastantes. Risi e Galwey (1984), citado por Peterson, (2013), afirmam que ao analisarem relatórios de tolerância à geada de quinoa, algumas fontes indicavam pouca ou nenhuma resistência à geada e outras indicavam níveis altos de resistência à geada. Experiências realizadas em condições controladas mostraram uma tolerância superior à geada da cultivar do tipo Altiplano em comparação com uma variedade de tipo Valley. A tolerância à geada varia com as características genéticas, mas também está relacionada com a capacidade da quinoa de aumentar a prolina e os açúcares solúveis com exposição a temperaturas mais baixas (Jacobsen *et al.*, 2007).

A exposição a temperaturas baixas após o início da floração provou ser muito mais prejudicial do que a exposição durante as fases de crescimento anteriores. Jacobsen *et al.* (2005) observaram uma redução de rendimento de 66% quando as plantas na antese foram expostas a -4°C . Plântulas com duas folhas tiveram uma redução de 9% no rendimento para a mesma exposição. Existem alguns relatos de tolerância à geada em cultivares chilenas de planície. No Colorado, os estudos indicam que a quinoa poderia suportar geadas leves de -1°C a 0°C . De acordo com as constatações de Jacobsen *et al.* (2005), uma geada severa de -4.4°C durante a floração causou perdas superiores a 70%. Estes autores sugeriram que temperaturas abaixo de -2°C durante a floração causariam perdas significativas. Peterson (2013) refere que várias cultivares chilenas, em ensaios conduzidos em Inglaterra, toleraram geadas na primavera, uma das quais com temperatura de -5°C .

2.6 Parâmetros de rega e necessidades hídricas das plantas

A quantidade de água que é necessária fornecer às plantas para compensar a perda de água por evapotranspiração das culturas instaladas é definida como a necessidade hídrica das plantas (NH). Os valores das necessidades hídricas das plantas são, pois, idênticos aos valores da evapotranspiração cultural (Allen *et al.*, 1998).

As necessidades hídricas de uma cultura podem ser analisadas de duas perspectivas:

- I. A nível de projecto dos sistemas de rega, onde se pretende efectuar uma estimativa das necessidades para dimensionar as diversas partes constituintes do sistema.
- II. A nível da gestão de rega, onde se procura avaliar as necessidades reais da cultura de modo a otimizar os consumos de água da cultura.

A nível de projecto é importante conhecer as necessidades hídricas anuais e as necessidades hídricas de ponta. As necessidades hídricas anuais consistem na estimativa do consumo anual. A partir de balanços hídricos efectuados com base nos valores médios mensais de precipitação e de evapotranspiração, obtêm-se as necessidades de rega representativas de um ano médio, não representando a variabilidade inter anual. Por este motivo, torna-se geralmente necessário elaborar os balanços hídricos do solo relativos a cada ano com base nos respectivos valores pluviométricos, evapotranspiração cultural e precipitação (Raposo, 1994).

O problema da determinação das necessidades hídricas de ponta, ou seja, das regas a realizar nos meses mais críticos, está de uma maneira geral mais facilitado do que o caso das necessidades anuais. Esta facilidade deve-se às seguintes razões:

- I. Nos meses mais críticos (Julho e Agosto), em Portugal Continental, a precipitação efectiva é quase nula.
- II. A evapotranspiração de referência e a evapotranspiração cultural variam pouco de uns anos para os outros.

Por estas razões, muitas vezes não é necessário elaborar qualquer balanço hídrico, pois o caudal de projecto pode ser obtido directamente a partir dos parâmetros de rega.

2.6.1 Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET_o) representa a quantidade de água que pode passar para a atmosfera, directamente ou através das plantas, admitindo que o solo se encontra sempre completamente saturado e coberto de vegetação, em condições padronizadas (com relva).

A evapotranspiração pode ser estimada de várias maneiras. Pode ser estimada por métodos directos utilizando lisímetros, ou por estimativa através de informações climáticas utilizando fórmulas teóricas e empíricas, nomeadamente as fórmulas de Penman (1948), Thornthwaite, (1948), Blaney-Criddle (1950), Turc (1961), Penman-Monteith (1965), Priestly e Taylor (1972) e Hargreaves (1977).

Segundo Allen *et al.* (1998) a estimativa da ET_o obtida através da Equação de Penman-Monteith é a mais fiável, uma vez que é um método com uma grande probabilidade de prever correctamente a ET_o numa grande variedade de locais e climas e pode ser aplicada em situações com poucos dados.

De acordo com Allen *et al.* (1998) a partir da Equação de Penman-Monteith e das equações de resistência aerodinâmica e de resistência de superfície, obtém-se a Equação (1) para estimar a ET_o. Este método é conhecido por FAO-Penman-Monteith.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_n)} \quad (1)$$

onde, ET_o é a evapotranspiração de referência [mm d⁻¹], R_n a radiação líquida à superfície da cultura [MJ m⁻² d⁻¹], G o Fluxo de calor do solo [MJ m⁻² d⁻¹], T a temperatura média do ar a 2 m de altura [°C], U₂ a velocidade do vento a 2 m de altura [m s⁻¹], e_s a pressão de saturação de vapor [kPa], e_a é a pressão de vapor real [kPa], Δ o feclive da curva de pressão de vapor na saturação em função da temperatura [kPa °C⁻¹], γ a constante psicrométrica [kPa °C⁻¹].

A Equação FAO Penman-Monteith estima a taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência hipotética, para a qual se assume uma altura de 0,12 m a uma resistência de superfície constante de 70 s m^{-1} e um albedo (coeficiente de reflexão) de 0,23 semelhante à evapotranspiração de um relvado verde de altura uniforme, em crescimento activo, cobrindo totalmente o solo e bem abastecido de água (Allen *et al.*, 1998). De maneira a garantir a integridade dos cálculos, as medições meteorológicas devem ser feitas a 2 m de altura (ou convertidas para esta altura), acima de uma extensa superfície de relva verde protegendo o solo e sem restrições hídricas.

2.6.2 Evapotranspiração cultural em condições padrão

Na avaliação da evapotranspiração das culturas instaladas em grandes campos, o tipo de cultura, a sua variedade e estado de desenvolvimento devem ser considerados. As diferenças nas alturas da cultura, reflexão, cobertura do solo, resistência à transpiração e características de enraizamento originam diferentes valores de ET_c , em diferentes tipos de culturas sob condições ambientais idênticas.

A evapotranspiração cultural sob condições padrão (ET_c) refere-se à evaporação de uma determinada cultura, quando esta encontra-se nas seguintes condições (Allen *et al.*, 1998): cultura saudável; campos de grandes dimensões e bem fertilizados; condições óptimas de água no solo de forma a atingir a plena produção.

A evapotranspiração cultural (ET_c) é obtida através da multiplicação da ET_o por um coeficiente, designado por coeficiente cultural (K_c) (Allen *et al.*, 1998).

Este coeficiente tem um valor inferior a 1 para culturas que necessitam de menos água e superior a 1 para culturas que necessitam de mais água. Este depende principalmente das características da cultura e está sujeito apenas a um pequeno impacto do clima.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (2)$$

onde ET_c é a evapotranspiração cultural [mm dia^{-1}], K_c o coeficiente da cultura e ET_o , a evapotranspiração de referência [mm dia^{-1}].

Os factores que determinam este coeficiente são (Allen *et al.*, 1998):

- I. Estado vegetativo da cultura, aumento da capacidade de transpiração depende do aumento da superfície estomática e portanto do desenvolvimento da área foliar. O aumento do grau de cobertura do solo implica diminuição da evaporação.
- II. Teor de humidade no solo, fase inicial, quando a cobertura do solo é pequena, uma grande parcela da evapotranspiração é a evaporação directa a partir do solo. Quando existe défice de água no solo, a planta entra em situação de stresse hídrico e diminui a sua condutância estomática.

As necessidades hídricas das plantas não são constantes ao longo do seu ciclo de crescimento e, além disso, apresentam diferentes fases de crescimento (inicial, crescimento rápido, pleno desenvolvimento e final) (Fig. 4). Enquanto as plantas não ocuparem a totalidade do solo, o seu K_c é baixo (fase inicial). À medida que vão crescendo e passam a ocupar mais de $\frac{3}{4}$ da superfície do solo, o seu K_c aumenta e atinge um máximo (altura da floração). O valor de K_c mantém-se no seu máximo na fase inicial da formação dos frutos e começa a diminuir rapidamente, à medida que a cultura entra em senescência (Shahidian, 2012).

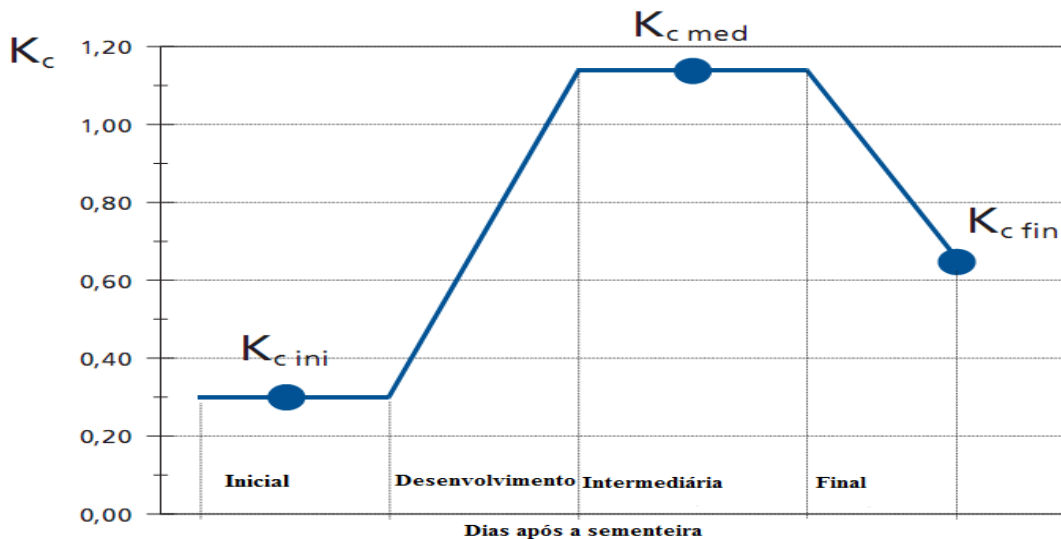


Figura 3. Evolução do coeficiente cultural (KC) ao longo do ciclo de crescimento de uma cultura (Allen *et al.*, 2006)

Depois de determinada a ET_c , o agricultor deve repor a água perdida pela cultura. Esta reposição pode ser diária (especialmente quando as plantas são pequenas) ou ter um intervalo maior à medida que as culturas crescem. O intervalo entre regas deve aumentar à medida que as raízes vão penetrando as camadas mais profundas do solo (Shahidian, 2012).

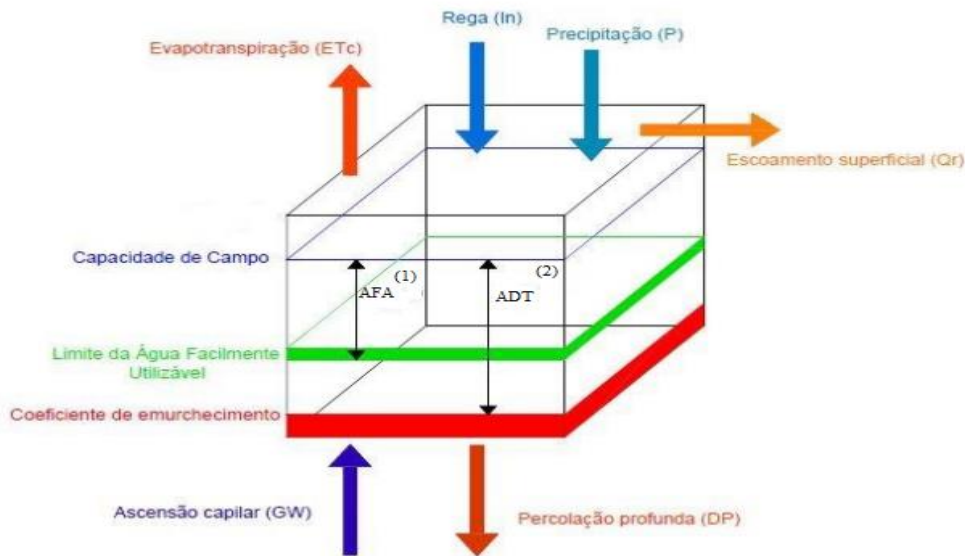
2.6.3 Balanço hídrico do solo e necessidades de água para rega

Conhecer o balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes é essencial para uma boa gestão da água em regadio. Quando se pensa em regar uma cultura, é necessário responder a três questões fundamentais: quando, como e quanto regar.

As necessidades hídricas das culturas podem ser vistas de uma maneira directa, através da medição ou avaliação do teor de água no solo, e através das manifestações fisiológicas das plantas devidas à carência hídrica, que devem servir como indicadores padrão para determinar quando regar. Estes indicadores podem ser de carácter empírico, como por exemplo a cor e o enrolamento das folhas, ou através de métodos de avaliação do estado hídrico da planta, como os relativos ao potencial da água nas folhas e à temperatura do copado. Estes métodos proporcionam ao agricultor uma ferramenta muito precisa para acompanhar as necessidades de

rega das culturas, uma vez que permitem saber a tensão efectiva que as raízes precisam de superar para retirar água do solo (Shahidian, 2012).

Em alternativa à medição directa, e especialmente na fase de concepção dos sistemas de rega, é habitual fazer-se um balanço hídrico da água no solo para determinar as necessidades de água para rega. O cálculo destas necessidades é baseado numa aproximação simplificada do balanço hídrico do solo, onde se considera que parte das necessidades de água são satisfeitas pela precipitação, rega, reserva de água no solo e pela ascensão capilar, e que as saídas de água correspondem à evapotranspiração, à percolação para além da zona radicular e ao eventual escoamento à superfície do solo, como se pode observar na Figura 4 (Pereira, 2002).



- (1) AFA: Água facilmente disponível no solo na zona radicular; (2) ADT: Água total disponível na zona radicular

Figura 4. Balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes, (Shahidian 2012).

A Equação geral do balanço hídrico na zona radicular de espessura Δz (m) e para um intervalo de tempo Δt (dias), é dada pela Equação (3).

$$\Delta S = (P + In + GW) - (Qr + DP + ETc) \quad (3)$$

onde, ΔS é a variação do armazenamento de água no solo [mm], P a precipitação [mm], I_n a dotação de rega [mm], GW o fluxo acumulado de ascensão capilar [mm] Q_r o escoamento superficial [mm], DP o fluxo acumulado de drenagem profunda ou percolação [mm] e ET_c , a evapotranspiração da cultura [mm].

A Equação 3 aplica-se entre a superfície do solo e uma profundidade Z_r abaixo da zona radicular. Todas as variáveis da Equação do balanço hídrico do solo são expressas em mm e são relativas ao período Δt (Pereira, 2002).

2.6.4 Gestão da rega baseada no balanço hídrico do solo

Saber como se movimenta a água que é retida pelo solo e a forma como essa água é retida, é de grande importância para uma gestão de rega eficaz e eficiente. O solo armazena água e as plantas usam-na dentro de determinados limites: o limite superior do teor de água do solo, designado por capacidade de campo (C_c), e o limite inferior do teor de água no solo, designado por coeficiente de emurchecimento (C_e).

A capacidade de campo (C_c) corresponde à quantidade de água que fica retida no solo, depois de uma rega abundante ou de uma grande chuvada, quando cessa a infiltração da água em profundidade, ou seja, representa a água higroscópica e capilar que o solo retém depois de se ter escoado a água gravitacional (Raposo, 1994).

O coeficiente de emurchecimento (C_e) é a quantidade de água retida no solo, abaixo da qual as plantas não conseguem realizar a absorção radicular. Quando as plantas já não conseguem extrair água do solo começam a emurcheçar e morrem (Raposo, 1994).

Teoricamente a água do solo encontra-se disponível até ao coeficiente de emurchecimento permanente. No entanto, a extração de água pela planta sofre uma redução antes do nível de humidade no solo atingir o coeficiente de emurchecimento permanente. À medida que as plantas vão consumindo água, as partículas do solo tendem a reter o resto da água com uma tensão maior, tornando-se cada vez mais difícil para as plantas extraírem, resultando assim num aumento de stresse hídrico (Leitão e Dias, 2015). Ou seja, o stresse hídrico ocorre quando não existe água suficiente para a planta absorver de modo a substituir a perda de água por evapotranspiração, afectando assim o crescimento da planta.

A fracção de água disponível no solo que a cultura pode extrair da zona radicular sem sofrer stress hídrico é a água no solo facilmente disponível (Figura 5).

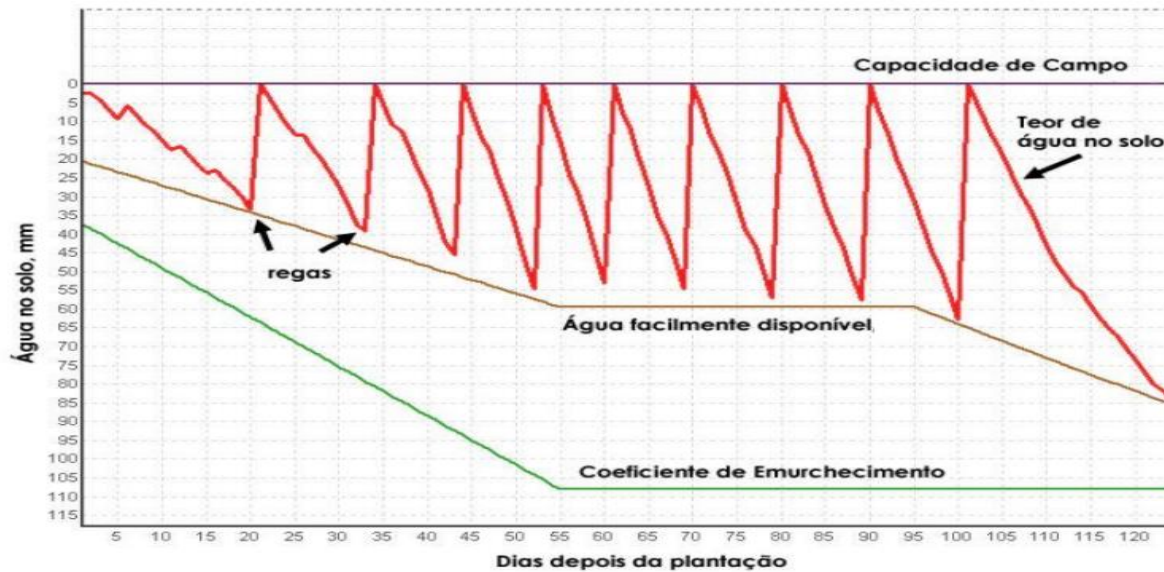


Figura 5. Exemplo de um balanço hídrico do solo com o método da FAO, (Shahidian 2012).

A figura acima representa balanço hídrico do solo com o método da FAO. O teor de água no solo (linha encarnada) deve ser mantido entre o limite da água facilmente disponível e a capacidade de campo (CC). O teor de água desce devido à ET_c e é depois reposto pelas regas (linhas verticais).

A água facilmente disponível pode ser calculada pela Equação 4 (Allen *et al.*, 1998):

$$AFD = ADT \times p \quad (4)$$

Onde AFD Água facilmente disponível no solo na zona radicular [mm]; ADT Água total disponível na zona radicular [mm]; p Fracção média do total de água disponível no solo que pode ser esgotada a partir da zona da raiz antes de ocorrer stress hídrico.

A água gravitacional, é a humidade acima da capacidade de campo só se encontra temporariamente à disposição das plantas, o que faz com que estas só possam utilizar a humidade existente entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento.

A capacidade utilizável, é a quantidade de água disponível na zona radicular entre os limites da capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento, que representa a reserva de água no solo. Abaixo desta reserva as plantas começam a ser afectadas no seu desenvolvimento pela falta de humidade do solo. Isto significa que, em geral, quando a humidade do solo se encontra: a) abaixo do coeficiente de emurchecimento, As plantas morrem por secura; b) entre o coeficiente de emurchecimento e o limite da água facilmente utilizável, as plantas vegetam em más condições, c) entre o limite de água facilmente utilizável e a capacidade de campo, as plantas vegetam em boas condições; d) Acima da capacidade de campo, as plantas são prejudicadas pelo excesso de água que podem originar a respectiva morte por asfixia radicular (Raposo, 1994).

De acordo com Allen *et al.* (1998), a quantidade de água total disponível no solo (ATD) se refere a capacidade de um solo reter a água disponível para as plantas e é dada pela Equação 5.

$$ADT = 1000(Cc - Ce)Zr \quad (5)$$

onde, ADT é a água total disponível na zona radicular [mm]; Cc o teor de água do solo à capacidade de campo [$m^3 m^{-3}$]; Ce o teor de água do solo ao coeficiente de emurchecimento [$m^3 m^{-3}$]; Zr a profundidade radicular [m].

2.7 Produtividade da água

Segundo Pereira (2002), o termo produtividade da água (PA) é definido como a razão entre a produção de biomassa e a quantidade de água utilizada. Para o cálculo, pode-se considerar o factor “quantidade de água” tanto em termos de evapotranspiração da cultura (ETc) como pelo total de água que entra no sistema produtivo, incluindo-se neste caso as perdas por escoamento superficial e percolação profunda (precipitação pluvial), bem como devido as perdas inerentes a aplicação via sistema de rega.

A FAO abordou a relação entre o rendimento das culturas e o uso da água no final dos anos setenta propondo uma Equação simples onde a redução relativa do rendimento está relacionada com a correspondente redução relativa da evapotranspiração (ET).

Representando o efeito da redução da evapotranspiração sobre o rendimento perdas, a Equação é uma função de produção de água e pode ser aplicada a culturas agrícolas, isto é, herbáceas, árvores e videiras.

Os valores de evapotranspiração (ET) da quinoa em condições de produção de ciclo normal (150-170 dias) necessitam de cerca de 500 mm para uma ótima produção. Sendo uma cultura C3, a produtividade normal da água da cultura (PA) é baixa, com valores típicos de cerca de 10,5 g/m³ (Geerts *et al.* 2009). Em condições de baixa fertilidade, os valores de produção de sementes por unidade de água consumida são bastante baixos e situam-se entre 0,3 e 0,6 kg/m³ (Geerts *et al.*, 2009).

2.8 Potencial hídrico foliar

O potencial de água da folha é a força motriz do movimento da água líquida através da planta. Conseqüentemente, os valores de do potencial hídrico foliar alcançados no campo devem ser interpretados em relação ao fluxo de água do volume através da planta e as características do caminho que a água percorre desde o solo as folhas. O potencial médio de água do mesófilo da folha é quase idêntico ao potencial de pressão do xilema em muitas espécies, porque a concentração de soluto da água do xilema é baixa nas extremidades da planta e o equilíbrio do potencial de água entre as células da mesofila da folha e o xilema é rápido (J a r v is, 1976).

O potencial de água da folha descreve o estado energético dela, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera. Embora haja variação ao longo do dia, mesmo em plantas irrigadas, esse parâmetro descreve o estado hídrico da planta, e tem sido muito utilizado em estudos das relações hídricas dos vegetais. O valor do potencial da água indica a diferença entre o estado energético dela no sistema considerado e num estado de referência. No estado de referência, o potencial da água é considerado zero (Bernnet, 1990).

As medições do potencial da água na folha requerem alguns cuidados, a fim de que os dados obtidos reflitam o verdadeiro estado hídrico da planta. No caso do uso da câmara de Schollander, a pressurização deve ser lenta e deve-se evitar a perda de água após a coleta da folha, colocando-a em saco de plástico. Além disso, o tempo entre a retirada da folha e a medição deve ser o

menor possível. A determinação do ponto de equilíbrio, isto é, quando a seiva inicia a saída do xilema é, por vezes, difícil de ser feita, e depende do tipo de planta, o que pode induzir a erros (Bennett, 1990)

Nos trabalhos da década de 70, o potencial da água foliar era considerado o melhor indicador do estado hídrico da planta. À medida que o potencial da água na folha decresce, a expansão foliar era inibida antes e mais severamente do que a fotossíntese e a respiração da planta. Potenciais da água na planta menores do que -0,4 MPa afetavam significativamente a expansão foliar, embora a fotossíntese máxima ocorresse com potenciais foliares entre -0,6 a -0,8 MPa. A matéria seca total e a produção de sementes é o resultado de uma resposta integrada da cultura ao estresse, desde a emergência até a maturidade fisiológica. Desta forma, o somatório de todas as medições de potencial da água pode ser um melhor indicador de tolerância à seca do que medições individuais (Hsiao, 1973)

2.9 Efeito da irrigação sobre as características agronômicas da quinoa

A quinoa, por ser uma cultura resistente à seca, é tradicionalmente cultivada em condições de sequeiro, mesmo em locais semi-áridos. Os estudos sobre o impacto da irrigação na produção de quinoa mostram que a irrigação deficitária (DI) é altamente benéfica em vários locais experimentais. Actualmente, a quinoa raramente é cultivada sob irrigação completa, uma vez que a pesquisa de quinoa sob irrigação completa deu apenas resultados ligeiramente melhores do que a quinoa cultivada sob irrigação deficitária (Geerts *et al.*, 2008).

A cobertura máxima do dossel da produção de quinoa é largamente dependente das condições de manejo e, em grande medida, determina a transpiração da quinoa e conseqüentemente as necessidades de rega. Para uma cobertura completa do dossel do solo, e em condições não limitantes de nutrientes, a quinoa transpira a uma taxa semelhante à evapotranspiração de referência (Hsiao *et al.*, 2012). Em condições de boa disponibilidade de água no solo, as etapas consideradas ideais para a aplicação de irrigação suplementar na quinoa são as fases fenológicas de estabelecimento, pré-floração, floração e grão leitoso.

Segundo Jensen *et al.* (2000), a quinoa tem vários mecanismos de resistência ao déficit hídrico, que por sua vez, quando utilizados pelas plantas, permitem manter algum nível de produtividade, o qual invariavelmente é baixa ou reduzida.

Estudos feitos por Walters *et al.* (2016) verificaram que a altura da planta da quinoa foi significativamente afectada pela irrigação. Portanto, as plantas dos tratamentos com DI e TI (Irrigação Completa) apresentaram valores médios mais altos que as plantas em tratamentos não irrigados. Nenhuma diferença na altura da planta foi encontrada entre os tratamentos DI e TI. Os mesmos autores consideraram que a irrigação pode ser usada para compensar os efeitos das tensões abióticas, incluindo a alta temperatura e a seca.

A quinoa, sendo uma cultura resistente à seca, utiliza vários mecanismos de defesa, como a fuga à seca (Sun *et al.*, 2014). Um mecanismo da planta para diminuir o stresse é reduzir a taxa de expansão foliar e a área foliar total, o que contribui para a redução da biomassa total.

Segundo Walters *et al.* (2016), referem que uma irrigação com déficit bem planificada pode estabilizar rendimentos de quinoa. Para a produção máxima, o stresse pela seca deve ser atenuado pela irrigação durante o estabelecimento da planta, floração e preenchimento precoce do grão (Walters *et al.*, 2016).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local

A experiência foi conduzida na quinta da Santa Apolónia da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança (Latitude 41° 47' 52,06" N, Longitude, 6° 45' 58.65" W e Altitude 693 m). Dada a sua localização geográfica, o município de Bragança possui um clima temperado com características mediterrânicas. A uma escala regional, o clima depende fundamentalmente da circulação atmosférica nas zonas de transição entre o continente e o oceano. Isto é, depende do grau de continentalidade do clima regional. A uma escala ainda mais fina, o clima local pode ser afectado pelo relevo ou pela proximidade de massas de água (rios ou lagos). A posição interior de Trás-os-Montes faz com que esteja fechada às influências marítimas, não só pelo Oeste mas também pelo Norte, através do sistema Galaico-Duriense (El Teleno, 2188 m) e pelos montes Cantábricos. Do oriente, sofre a influência do planalto Castelhano-Leonês e, a sul, a do planalto Beirão e do Maciço central, o prolongamento do sistema Central Ibérico (Almançor, 2592 m, Serra da Estrela, 1993 m). Tendo como referência o resto de Portugal, estas influências reflectem-se num meso clima com características com influência continental conjugadas com um regime tipicamente Mediterrânico. Resumidas no refrão popular “em *Trás-os-Montes existem nove meses de inverno e três de inferno*” (CML, 2016).

Na classificação de Koppen, a região em estudo inclui-se no tipo de clima Csb que corresponde a um clima temperado com invernos suaves (temperatura do mês mais frio entre -3 e 18°C (Classe C); verão seco (mês de verão mais seco com precipitação inferior a 40 mm e a 1/3 da precipitação do mês de inverno mais húmido) (Subclasse Cs); verão longo e fresco (temperatura média de todos os meses abaixo de 22°C; existem pelo menos quatro meses com temperatura média acima de 10°C) (Sub - subclasse Cb). Na classificação de Thornthwaite o clima é do tipo B2 B'4 s b'4 - húmido, mesotérmico (ETP anual entre 997 e 1140), com moderada deficiência de água no verão (índice de aridez entre 16,7 e 33,3) e com moderada concentração da eficiência térmica na estação quente (entre 48 e 51,9%) (CML, 2016).

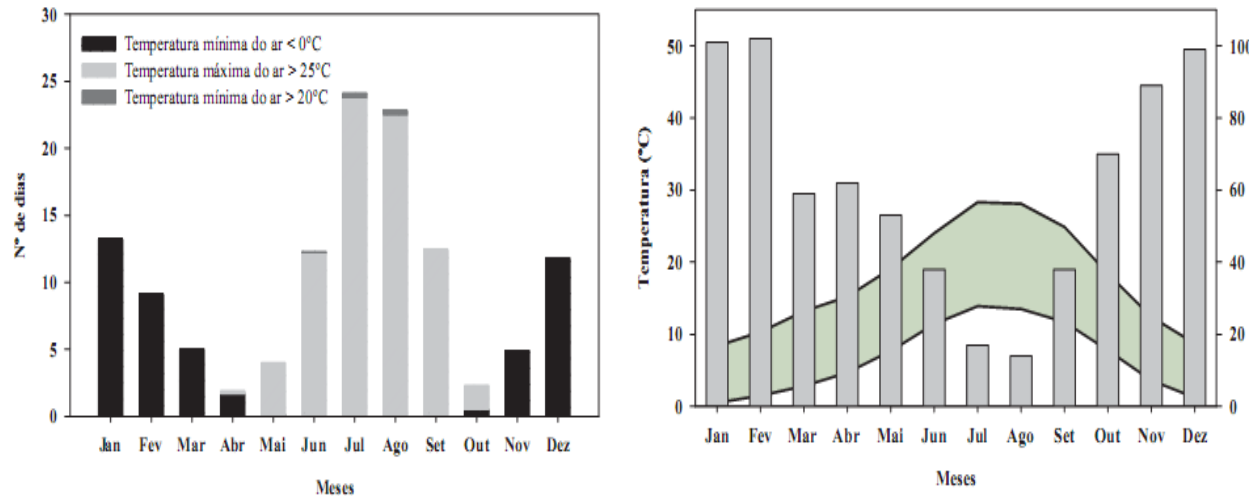


Figura 6. Número médio de dias com temperatura máximas superiores a 25°C e mínimas inferiores a 0°C e superior a 20°C e Variação mensal da temperatura máxima e mínima e da precipitação mensal em Bragança.

Os solos predominantes são os luvisolos, com um perfil representativo da mancha cartográfica tem um horizonte eluvial (Bt) com manifesta acumulação absoluta de argila (constituída aliás um horizonte de diagnóstico argílico) desenvolvido sub um horizonte A (Ócrico) apresentando sintomas de cultivo (Ap) e uma transição designada por AB. Este perfil, cujos dados analíticos mais relevantes se mostram na Tabela 1, é classificado, segundo a carta de solos do mundo, como luvisolo crómico de rochas básicas (Figueiredo e Gonçalves, 1993).

Os valores de temperatura do solo mostram máximos bastantes marcados perto da superfície (próximo dos 40°C), criando portanto um ambiente negativo para o desenvolvimento das plantas ou, genericamente para a actividade biológica. Por outro lado, nos anos mais frios ocorrem condições para a formação de gelo no solo, como se deduz das médias mensais a 5cm de profundidade, próximas a 0°C (acrescenta-se, aliás, que a mínima absoluto de -3°C).

A Tabela (1) apresenta as características do solo da área experimental.

Tabela 1. Características do solo da área experimental

Horizontes (Profundidade)	AP (0-20 cm)	AB (20-50 cm)	Bt (50-80 cm)	Bt (80-110 cm)
Elementos grosseiros (%)	17,18	13,17	2,76	2,63
Terra Fina				
Areia Grossa (%)	19	13,2	8,6	8,3
Areia Fina (%)	49,9	48,5	46	46,2
Limo (%)	14,9	14,9	16,4	18,3
Argila (%)	16,2	23,4	29	27,2
Classe de textura	Franco Arenoso	Franco-argila arenoso	Franco argiloso	Franco argiloso
%Humidade				
PF2,0	23,51	26,49	29,95	33,72
PF2,7	18,62	20,91	25,04	27,44
pF 4,2	10,85	13,58	17,14	18,73
Capacidade máxima para água (%)	32,93	36,94	37,77	43,63
Densidade Real	2,49	2,63	2,59	2,54
Densidade aparente	1,48	1,47	1,43	1,39
Matéria orgânica (%)	1,57	0,17	0,04	-

Fonte. Figueiredo e Gonçalves (1993)

3.2 Condução da experiência

3.2.1 Preparação do solo

A preparação do solo é uma operação que visa melhorar as condições físicas e químicas do solo para garantir uma boa emergência das plântulas, crescimento da cultura e o seu bom estabelecimento. Assim sendo, para efeitos de preparação de solo, realizou-se uma lavoura com ajuda de um tractor acoplado a uma charrua de dois ferros, reversíveis a 180°. Esta operação foi realizada no sentido perpendicular a declividade do terreno a uma profundidade de 30 cm. Posteriormente fez-se uma gradagem de modo a destroçar os torrões deixados pela charrua. Esta operação foi complementada manualmente com ajuda de uma enxada de modo a tornar o leito do solo mais solto e retirar todas as pedras que existiam na área da experiência.

3.2.2 Demarcação da área

Após a preparação do terreno, procedeu-se a demarcação da área da experimental. Esta visava, garantir que o ensaio tivesse melhor esquadilha e que todas as parcelas tivessem a mesma área e consequentemente densidade de plantas. Utilizando-se estacas de madeira, fita métrica e corda, procedeu-se à demarcação de acordo com o esquema que foi previamente elaborado. As parcelas possuíam uma área de 24 m² ou seja 4 x 6 m e em cada repetição possuía uma área equivalente a 96 m². As repetições estavam distanciadas a um metro o que totalizou uma área experimental de 320 m².

3.2.3 Adubação e sementeira

Antes da sementeira e com base no protocolo, procedeu-se à fertilização. O modo de aplicação do fertilizante foi a lanço feita manualmente ao longo das respectivas parcelas de acordo com protocolo. Para efeitos de adubação de fundo foi aplicado 100 kg/ha de K (K₂O) na forma de cloreto de potássio (60% K₂O) e 100 kg/ha de P (P₂O₅) na forma de superfosfato (18% P₂O₅).

Na adubação de cobertura, aplicou-se o azoto na forma de Nitromagnesio 27% as doses foram aplicadas em duas fases sendo ½ na primeira e a outra metade 45 dias após a sementeira.

A sementeira foi realizada à 25 de Maio de 2016 utilizando-se o material vegetal (sementes) de quinoa variedade Blanca de Juli, cujas características estão apresentadas na Tabela 2.

As linhas possuíam uma profundidade que variava de 2 a 3 cm distanciadas a 40cm totalizando 7 linhas por parcela. Posteriormente colocaram-se as sementes nas respectivas linhas onde de seguida se procedeu a cobertura tendo-se o cuidado de não se colocar muita terra para facilitar a germinação e emergência das plantulas.

Tabela 2. Descrição do cultivar de quinoa utilizada

Nome do cultivar	Adaptação
Blanca de Juli	Clima frio e seco, Precipitação Pluvial de 500 a 800mm, com temperatura de 4 a 15° C, solos de textura franco e franco arenoso com pH de 5,5 a 8
	<i>Lugar e ano de libertação</i>
	Peru, 1974
	<i>Descrição morfológica</i>
Forma do caule principal	Sem ângulos
Hábito de crescimento	Simplex
Ciclo vegetativo	160 Dias (Semi - precoce)
Altura média da planta	120 Cm
Rendimento médio	1,5-2 Ton/há
	<i>Dias</i>
<i>Duração das fases fonológicas</i>	
Dias até a emergência das plântulas	7
Dias antes do surgimento das panículas	63
Dias antes da floração	105
Dias até a maturação fisiológica	160
	<i>Reacção a factores abióticos</i>
Baixa temperatura	Tolera
Seca	Tolera
Humidade	Tolera

Fonte. Adaptado a partir de Apaza *et al.* (2013) e Gómez *et al.* (2008)

3.2.4 Rega

O principal objectivo do trabalho visava analisar os efeitos da irrigação sobre as características agronómicas da quinoa. Para tal, foi instalado um sistema de rega do tipo localizada, a gota gota. A linha principal foi constituída por uma tubagem de polietileno de 30 mm de diâmetro e a

lateral por uma tubagem de 16 mm com gotejadores espaçados a 30 cm. O caudal médio debitado por gotejador foi de 1,5 l/h.

Foram implementados dois níveis de rega e uma testemunha não regada. O intervalo entre regas foi de 2 a 3 dias e a dotação aplicada foi determinada em função da evapotranspiração de referência diária (ET_o) e do coeficiente cultural. Nas parcelas R1 foi aplicada 50% da ET_c e nas parcelas R2 100% da ET_c

3.2.5 Controlo de infestantes e retanCHA

Ao longo da condução do ensaio foram realizadas várias sachtas para controlo das infestantes. Esta operação foi feita com ajuda de uma enxada e algumas vezes só foi necessária uma monda manual.



Figura 7. Controlo de infestante e retanCHA aos 30 dias após a sementeira

Para garantir o bom crescimento e desenvolvimento das plantas, quinze dias após a emergência das plantas procedeu-se à remoção das plantas nas linhas onde haviam maiores aglomerados de plantas. Esta operação foi feita manualmente e consistiu em deixar as plantas distanciadas a 10 cm entre plantas na linha. Para as parcelas onde houve muitas falhas na emergência procedeu-se a retanCHA.

3.2.6 Controlo de pragas e doenças

Durante a condução do ensaio as plantas foram atacadas maioritariamente por pulgões e outros insectos na fase inicial do crescimento da planta e na fase da floração.



Figura 8. Plantas atacadas por pulgões e aplicação do insecticida

Para efeitos do controlo e prevenção, foram realizadas três pulverizações foliares aplicando um insecticida à base de Pirimicarbe (50%), que é um insecticida de contacto e pouco sistémico com um efeito rápido sobre as pragas através da sua inalação ou contacto.

3.3 Delineamento experimental

Para alcançar os objectivos propostos, o ensaio foi conduzido utilizando um delineamento experimental em Split-Block ou Bloco Subdividido, constituído por dois factores dos quais o principal a rega e o secundário azoto. O ensaio foi composto por 12 tratamentos de acordo com a Tabela 3. Este desenho tende a sacrificar a precisão no teste dos efeitos principais, mas melhora a precisão na detecção de efeitos de interacção.

Tabela 3. Descrição dos tratamentos

Tratamentos	Factores	
	Rega (% de ETc)	Azoto (kg/ha)
R0N0	0	0
R0N1	0	67
R0N2	0	133
R0N3	0	200
R1N0	50	0
R1N1	50	67
R1N2	50	133
R1N3	50	200
R2N0	100	0
R2N1	100	67
R2N2	100	133
R2N3	100	200

3.4 Parâmetros e procedimentos de medição

3.4.1 Preparação de base de dados de cultivo

Para recolha de dados sobre a cultura da quinoa foram consultadas várias fontes. Os dados incluem o coeficiente de cultura (kc), a duração das fases fenológicas, o coeficiente de sensibilidade hídrica (Ky), o coeficiente facilmente utilizável (p), a profundidade das raízes e altura da cultura. A duração das fases fenológicas de cultivo de quinoa foi mostrada na Tabela 2.

Tabela 4. Etapas de desenvolvimento e características do cultivo para quinoa. Valores desenvolvidos para guias publicadas pela FAO e calibrados para a Equação de ETo de FAO-Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998)

Período vegetativo	Inicial	Desenvolvimento	Médio	Final	Total
Duração	15	50	50	45	160
Kc (Coeficiente de cultivo)	0,14-0,52	0,52-1	1	1-0,6	
Ky (Fracção de resposta ao rendimento)	0,4	0,6	0,8	0,4	1,15
P (Factor de extracção de água de solo)	0,55		0,55	0,8	
P (Profundidade radicular efectiva em metros)	0,1	0,1-0,6	0,6	0,8-0,8	
h (Altura da planta em metros)			1,8		

Fonte. García *et al.* (2003; 2011)

3.4.2 Cálculo do somatório térmico

A soma térmica diária (STd, °C dia) foi calculada usando o método proposto por Gilmore e Rogers, (1958). As temperaturas do ar máximas e mínimas diárias necessárias para o cálculo dos graus-dia, foram colectadas na estação meteorológica instalada na área experimental. Para o cálculo de soma térmica acumulada durante os estágios fonológicos da quinoa, foi adoptada a temperatura base (Tb) de 2°C (Bertero *et al.* 1999a e Steduto *et al.* 2012).

O cálculo do somatório térmico (ST) foi feito, utilizando a seguinte Equação (6)

$$ST = \sum_{i=1}^n GD_i \quad (6)$$

onde n é o número de dias até ao estado fenológico em causa e GD_i foi calculado através da Equação (7).

$$GD_i = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} - T_b \quad (7)$$

onde GD_i é o número de graus-dia acumulados no dia i; T_{max} é a temperatura do ar máxima diária (°C), T_{min} a temperatura do ar mínima diária (°C) e T_b a temperatura base (°C).

3.4.3 Índice de área foliar

A determinação do Índice de Área Foliar (IAF) foi efectuada através da medição da radiação interceptada utilizando um Ceptómetro (Decagon Devices, Modelo AccuPAR Lp-80) que incorpora 80 sensores sensíveis à radiação PAR (Radiação Fotossinteticamente Activa) e determina automaticamente o IAF. As medições do IAF foram realizadas sob as copas das linhas de quinoa entre as 12 as 14 horas em condições atmosféricas locais de céu claro, sem nuvens, para evitar interferências nos resultados das leituras.

Durante as medições a sonda do ceptómetro era colocada sob as plantas estendendo-se do meio da linha até o meio da linha seguinte (Fig. 9) obtendo-se desse modo uma amostra representativa de toda a área abaixo e entre linhas.

Em cada parcela foram feitas três medições das quais no início, meio e fim das linhas com três repetições totalizando desse modo 9 repetições por parcelas. As linhas externas foram consideradas de bordaduras.

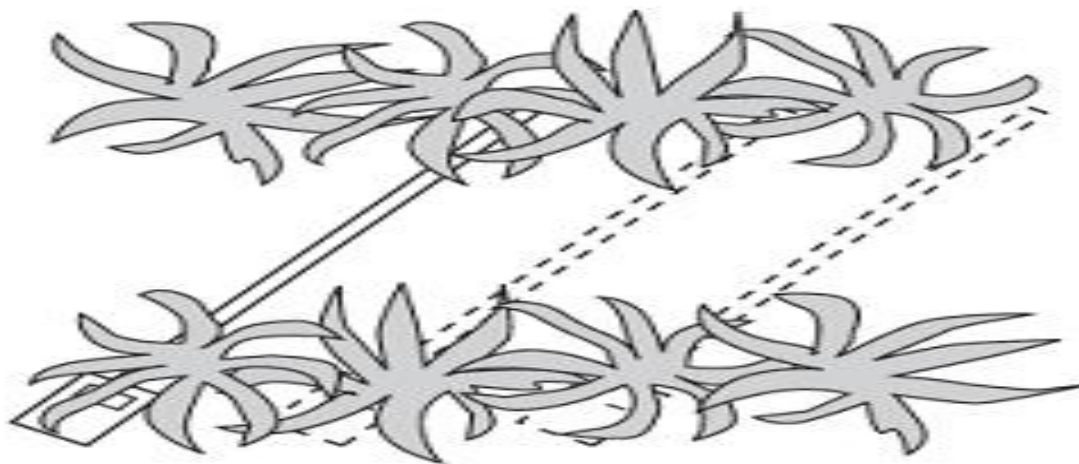


Figura 9. Posicionamento da sonda do ceptómetro durante a medição do IAF

3.4.4 Teor de humidade do solo

Para as medições da água no solo utilizou-se uma sonda TDR IMKO, modelo TRIME®-PICO IPH/T3. Para permitir a medição foram instalados tubos de acesso de acrílico, com 40 mm de diâmetro, em cada tratamento totalizando 12 tubos de acesso em todo o ensaio. Os tubos foram

instalados próximos da tubagem de rega de modo a permitir a obtenção de uma informação mais precisa em relação ao teor de humidade do solo.



Figura 10. Tubo de acesso para medição de teor de humidade

Foram feitas três leituras através da colocação da sonda no tubo de acesso, e esta era descida ao longo do perfil do solo e as leituras eram feitas a 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70cm de profundidade.

3.4.5 Determinação de Evapotranspiração de referência (ET_o) e Evapotranspiração da cultura (ET_c)

Os valores de ET_o foram obtidos através da Equação 1. (FAO-Penman-Monteith) com base nos dados climáticos (radiação solar, temperatura do ar, humidade do ar e velocidade do vento). A frequência de rega de 2 a três dias, e quando houvesse queda pluviométrica a sua duração e frequência era ajustado em função do índice pluviométrico, e quando a precipitação fosse escassa, era seguindo o esquema de irrigação normal. As plantas nas parcelas a sequeiro dependiam efectivamente da precipitação natural.

Os valores do coeficiente de cultura (K_c) foram obtidos através de Garcia *et al.* (2003) e confrontados com valores da FAO tomando em consideração os estados fenológicos propostos por (Doorenbos e Kassam, 1979) para as estações de crescimento inicial, média e tardia.

Para as parcelas não irrigadas foi considerando somente a precipitação efectiva, que foi determinada usando a Equação da FAO (Allen *et al.*, 1998).

$$P_{ef} = 0,6P_p - \frac{10}{3} se P_p \leq \frac{70mm}{3} \quad (8)$$

$$P_{ef} = 0,6P_p - \frac{10}{3} se P_p > \frac{70mm}{3} \quad (9)$$

Nos tratamentos irrigados, a dotação de rega foi determinado através da diferença entre a evapotranspiração da cultura e a precipitação efectiva.

3.4.6 Balanço hídrico

Para a elaboração do balanço hídrico de água no solo, foi realizado utilizando o modelo agroclimático CROPWAT 8.0 disponível em <http://www.fao.org/nr/water>.

O balanço hídrico foi efectuado para os três regimes hídricos implementados. O primeiro sem rega, no segundo considerou-se a opção de irrigação usando o intervalo de rega de três dias com uma aplicação de água de 50% da ETc e no último considerou-se o mesmo intervalo de rega de três dias e com uma aplicação de água correspondente a 100% da ETc.

Para efeitos da determinação do Rendimento relativo foi usada a Equação 10.

$$Qy = \frac{Ya}{Ymax} X 100 \quad (10)$$

3.4.7 Potencial hídrico foliar

As medições do potencial hídrico foliar (Ψ_w), foram realizadas com uma câmara de pressão (Modelo 1000, PMS Instrument Company, Albany, USA). As medições foram efectuadas ao meio dia solar em folhas previamente colocadas em situação de escuridão. As folhas (sãs, adultas e bem expostas) foram colhidas em cada um tratamento e rapidamente colocadas na câmara para

medição minimizando desta forma qualquer possibilidade de desidratação. A medição foi realizada em duas fases e em cada parcela eram colhidas três folhas.

Este método, mede directamente o estado hídrico da planta, podendo servir para gerir ou aferir o sistema de rega. Trata-se de um método relativamente rápido para estimar o potencial de água das folhas ou rebentos.

3.4.8 Determinação da biomassa e produtividade da água

Para a determinação da biomassa fez-se o corte de plantas numa unidade linear de 1 metro e posteriormente as plantas foram pesadas. De seguida pesou-se uma subamostra (três repetições) que posteriormente foi cortada em pequenos pedaços e submetida na estufa a uma temperatura de 70 °C durante 24 horas. Posteriormente fez-se a pesagem da matéria seca da subamostra e determinou-se o rácio peso seco sobre o peso da subamostra. Finalmente com base na área amostrada (0.4 m²) fez-se a extrapolação do peso da biomassa em kg/ha.

Para a determinação da Biomassa utilizou-se a Equação 11.

$$\text{Produtividade da Água (PA)} = \frac{\text{Biomassa}}{\text{Dotação líquida}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (11)$$

3.5 Análise estatística

A análise dos resultados foi efectuada no programa estatístico Statistix8. Foi feita a análise da variância (ANOVA), e de seguida o teste de comparação múltipla de médias através do teste de Tukey para um nível de significância de 5%. No pacote estatístico, a rega foi considerada linhas verticais e a fertilização linhas horizontais.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição e análise climatológica

Na Tabela 5 estão apresentados os valores da temperatura média mensal, precipitação e humidade relativa do ar, para o período (1971 – 2000), e os dados meteorológicos registados em 2016, na estação meteorológica do local onde se desenvolveu o ensaio.

Tabela 5. Normais climatológicas de Bragança (1971-2000) e medidas obtidas no local do ensaio em 2016, temperatura média mensal (°C), precipitação acumulada mensal (mm) e humidade relativa média do ar (%).

Meses	Temperatura média (°C)		Precipitação (mm)		Humidade relativa média do ar (%)	
	Período (1971-2000)	2016	Período (1971-2000)	2016	Período (1971-2000)	2016
Maio	13,45	13,13	70,00	13,60	72,00	71,57
Junho	17,85	18,33	38,70	10,00	65,00	62,26
Julho	21,25	22,59	19,60	0,20	59,00	55,27
Agosto	21,10	22,28	18,40	5,30	62,00	55,01
Setembro	18,15	18,54	45,00	17,19	70,00	62,29
Outubro	12,80	13,78	84,80	52,69	83,00	73,30
Novembro	8,20	7,55	86,00	78,14	89,00	80,43
Dezembro	5,55	5,38	118,60	36,82	91,00	85,28
Maio-Dezembro	14,79	15,20	481,10	213,94	73,875	68,18

A temperatura registada durante os meses de Maio a Dezembro mostra que as médias mensais mantiveram-se muito próximas dos valores médios do normal climatológico, apresentando maior diferença nos meses de Julho e Agosto, quando foram 1,34 e 1,18 °C, respectivamente. Durante a condução do ensaio verifica-se que a temperatura média variou de 5,38 a 22,59 °C para os meses de Dezembro e Julho, respectivamente. Portanto, a partir do mês de Outubro as temperaturas mantiveram-se abaixo da temperatura óptima (15-25 °C) da quinoa e tendo atingindo valores mais críticos em Dezembro.

Na tabela 5 pode-se observar que os valores médios acumulados da precipitação mensal variam de 19,6 a 118,60 mm, sendo a precipitação mínima registada no mês de Julho e a máxima em Dezembro. Durante o período da experiência estes valores variaram de 0,2 a 78,14 mm, registados nos meses de Julho e Novembro respectivamente. A precipitação total durante os meses de Maio a Dezembro do ano 2016 foi de 213,94 mm contra os 481,10 mm dos valores normais climatológicos. Isto mostra que durante a condução da cultura houve uma redução de 44,46 % da precipitação registada face aos valores normais climatológicos da região.

Os valores da humidade relativa do ar da normal climatológica coincidem com os verificados em 2016 entre meses de Maio a Julho, mas diferem significativamente nos meses seguintes onde estes valores estiveram abaixo dos valores normais com maior destaque para os meses de Outubro e Novembro em que os valores foram inferiores em 9,7 e 8,57 %, respectivamente.

Na Figura 11 está representada a evolução da temperatura máxima e mínima e da radiação solar diárias no período de Maio a Dezembro no local da experiência.

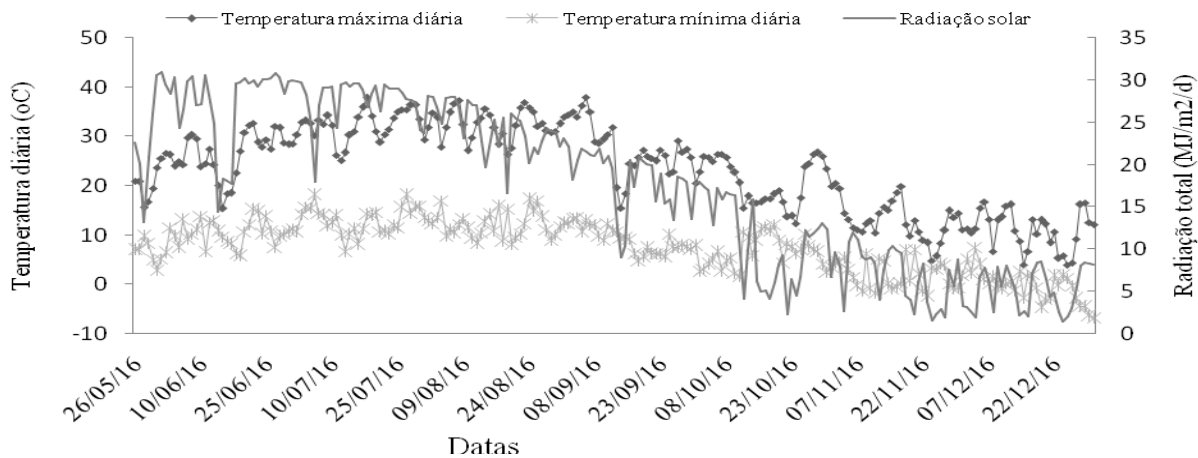


Figura 11. Temperatura máxima, mínima e radiação solar médias diárias registadas durante o ensaio

Quanto à variável temperatura, pode-se observar que houve uma significativa variação de amplitude térmica de 37,96 a -6,6 °C em 9 de Junho e 31 de Dezembro respectivamente. A Figura mostra que a partir dos finais de Setembro à uma baixa amplitude térmica. Em

contrapartida a radiação solar diminuiu ao longo da condução da cultura tendo atingindo valores máximos diários entre os meses de Junho a Setembro.

Relativamente à precipitação (Fig. 12), pode-se observar a ocorrência de um período seco durante os primeiros cinco meses (Maio a 13 de Outubro) e um período húmido (13 de Outubro a 12 de Dezembro). Durante o período seco observa-se que a maior precipitação foi registada no dia 13 de Setembro com 13,59 mm.

A ocorrência de períodos superiores a 10 dias sem precipitação foi verificada durante o período seco. Para López (2012) a ocorrência de períodos prolongados com altas temperaturas diurnas e sem precipitação, acelera a formação de inflorescência e a sua maturação, provoca abortos florais e perda de pólen, causando um baixo rendimento da cultura.

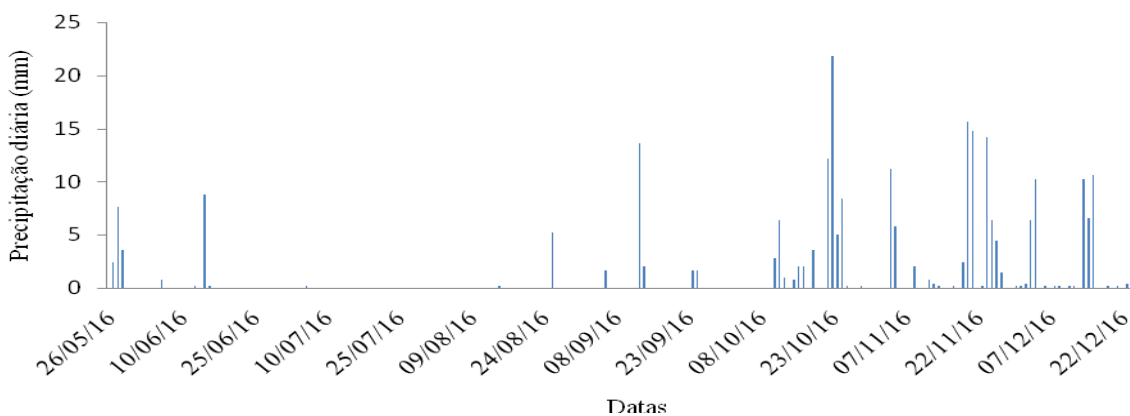


Figura 12. Precipitações diárias registadas durante o ensaio

Os valores diários da humidade relativa média do ar (%) são apresentados na Figura 13. A humidade relativa mínima e máxima diária aumentou de Maio a Dezembro tendo atingindo valores mais altos a partir de meados de Outubro. A humidade relativa do ar diária variou entre 21,44 a 99,9 %, observados nos meses de Agosto e Dezembro respectivamente. Durante a condução do ensaio observa-se que os valores da humidade relativa mínima mantiveram-se baixos de Maio a meados de Outubro, período este em que a radiação solar atingiu valores máximos. Isto mostra que este período foi quente e seco e consequentemente a taxa de evapotranspiração foi alta.

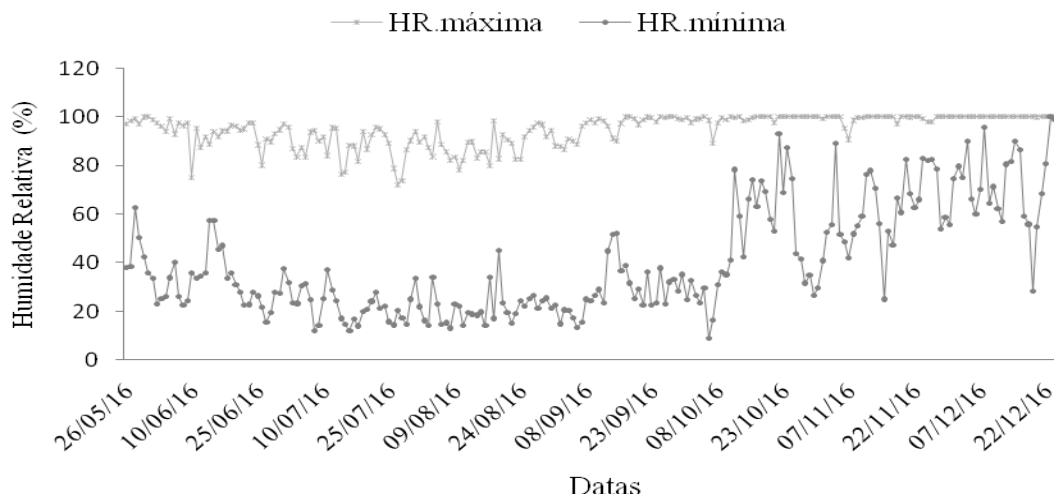


Figura 13. Umidade relativa máxima e mínima diária registrada durante o ensaio

4.1.1 Efeito das condições climatéricas no crescimento e desenvolvimento da quinoa

Durante a condução do ensaio de um modo geral verificou-se que da emergência a fase de floração a cultura teve um crescimento e desenvolvimento normal.

A floração teve início na segunda quinzena de Agosto estendendo-se até ao início de Outubro. Nesta fase, apenas algumas plantas (<10%) desenvolveram as inflorescências. Até nos meados de Outubro verificou-se que as plantas haviam paralisado o seu desenvolvimento, as estruturas de frutos apresentavam-se “chochas” ou sem nenhuma consistência. Este cenário observou-se em todas as parcelas.

Recorrendo ao descritor do cultivar neste estudo, Blanca de Juli (Tabela 2), verifica-se que houve um atraso (20 dias) do início da floração e um prolongamento significativo desta fase fenológica. Ainda foi possível observar a permanência do fenómeno verde mesmo após os 160 dias do ciclo de produção. Este comportamento que pode estar associado à resistência à seca, segundo Harris *et al.*, (2007), ou pode-se justificar devido à não frutificação que inibiu a

senescência.



Figura 14. Inflorescência da quinoa com estruturas de frutos chochos, abortos florais e permanência do fenómeno verde nas plantas

A ocorrência de temperaturas em torno de 38°C, na fase de floração, pode ter contribuído para os problemas de vingamento e a não formação de sementes. Hafid *et al.* (2005) referem que o factor temperatura desempenha um papel importante no comportamento fisiológico da quinoa pois temperaturas do ar superiores a 35°C provocam a esterilização do pólen das plantas o que leva a uma fraca produção de sementes e consequentemente baixo rendimento. Este facto é corroborado por Peterson (2013) que num dos seus estudos observou que a ocorrência de altas temperaturas durante a fase da floração e formação de semente afectou significativamente os rendimentos da quinoa, nos tratamentos irrigados e não irrigados, uma vez que as inflorescências careciam de sementes ou continham sementes vazias. Isto levou este autor a concluir que a ocorrência de temperaturas acima de 35°C, durante a fase de antese e enchimento do grão, constitui o principal factor limitante para a produção da quinoa.

O fotoperíodo é outro factor que pode ter influenciado o desenvolvimento da quinoa. A quinoa é uma planta que apresenta resposta fisiológica à ocorrência de dias curtos. A fase de floração coincidiu com o verão, período em que os dias são longos. Bertero *et al.* (1999) afirmam que a ocorrência de dias curtos favorece a indução da floração e a duração do período reprodutivo, beneficiando o desenvolvimento das sementes. Christiansen *et al.* (2010) afirmam que um dos principais problemas da adaptação da quinoa às condições da Europa tem sido a maturação.

Christiansen *et al.* (2010) referem que a indução de flores na quinoa não é um problema importante para a sua adaptação às condições do clima europeu, mas o fotoperíodo é a principal causa da não produção de sementes.

A utilização de cultivares de ciclo curto é essencial para as condições climatéricas europeias, mas também é essencial explorar a ampla variação na qualidade e tamanho das sementes no germoplasma sul-americano. A sensibilidade ao comprimento do dia parece ser governada por poucos genes e a selecção de cultivares de quinoa neutras a duração de luz dia pode ocorrer em populações F2 (Christiansen *et al.* 2010).

Para minimizar o efeito do fotoperíodo nas condições europeias, Jacobsen (2015) recomenda uma sementeira precoce após o inverno, assim que o risco de ocorrência de geadas na primavera (Abril) seja baixo. Porém, esta recomendação é uma limitação em casos em que o período após a sementeira é húmido e frio, pois as plantas podem ser atacadas por doenças e pragas presentes no solo, tais como o *Fusarium sp.* Melorose *et al.* (2016) recomendam que em geral devem evitar-se épocas com temperaturas altas e dias longos porque afectam o processo de formação de grãos e consequentemente o rendimento.

Para as parcelas não irrigadas verificou-se que para além dos factores acima mencionados, há uma notável influência da precipitação. Como foi evidenciado anteriormente, durante a condução do ensaio a precipitação teve uma distribuição irregular e uma precipitação acumulada de 100 mm contra os 500-800 mm necessários para completar o ciclo da cultura. Esta situação influenciou o comportamento e desenvolvimento das plantas em sequeiro, com um índice de mortalidade alto, raquitismo, floração precoce e surgimento de muitos ramos desde a base ao ápice da planta.

4.2 Índice de área foliar

A variação do índice de área foliar (IAF) está representada na Figura 15. As figuras mostram como os índices de área foliar dos tratamentos variaram ao longo do ciclo em função dos níveis de azoto (Fig. a-N0, Fig. b-N1, Fig. c-N2 e Fig. d-N3).

Nas parcelas N0 (Fig. 15-a) o IAF variou de 0,27 a 2,67 m²/m² para os tratamentos R0N0 e R2N0 respectivamente. Os resultados da análise de variância mostraram que as médias do IAF foram influenciadas pelos níveis de rega. As médias da R1 não diferiram significativamente com a R0 e R2 e estas entre si foram estatisticamente diferentes.

Para as parcelas N1 (Fig. 15-b) verifica-se que a curva do IAF do tratamento R2N1 apresentou valores maiores (2,54 m²/m²) em relação aos restantes tratamentos na mesma parcela. As médias do IAF neste tratamento foram influenciadas significativamente pela rega e azoto. Os resultados da comparação das médias mostraram que a rega e o azoto influenciaram significativamente nos valores do IAF. As médias das parcelas R0, R1 e R2 foram estatisticamente diferentes e o nível de N3 diferiu significativamente do N0, N1 e N2.

Nas parcelas N2 (Fig.15-c) a curva do IAF atinge um valor máximo (2,59 m²/m²) no tratamento R1N2 seguido do tratamento R2N2 (2,37 m²/m²). Resultados da análise de variância mostrou que o azoto não influenciou significativamente nas médias do IAF, e a rega teve efeito significativo. O teste de comparação de médias mostrou que os valores da R0 diferiram estatisticamente da R1 e R2. A interacção entre os dois factores foi significativa.

O IAF das parcelas N3 (Fig. 15-d) registou os maiores valores em relação às parcelas com outros níveis de azoto. Maior índice foi obtido no tratamento R2N3 com 3,06 m²/m² seguindo do R1N3 com 2,67 m²/m² e por fim o tratamento R0N3 com 0,81 m²/m². Nestas parcelas, o factor rega influenciou significativamente na média do IAF e o azoto não teve influência significativa. As médias da R0 diferiram estatisticamente das médias de R1 e R2.

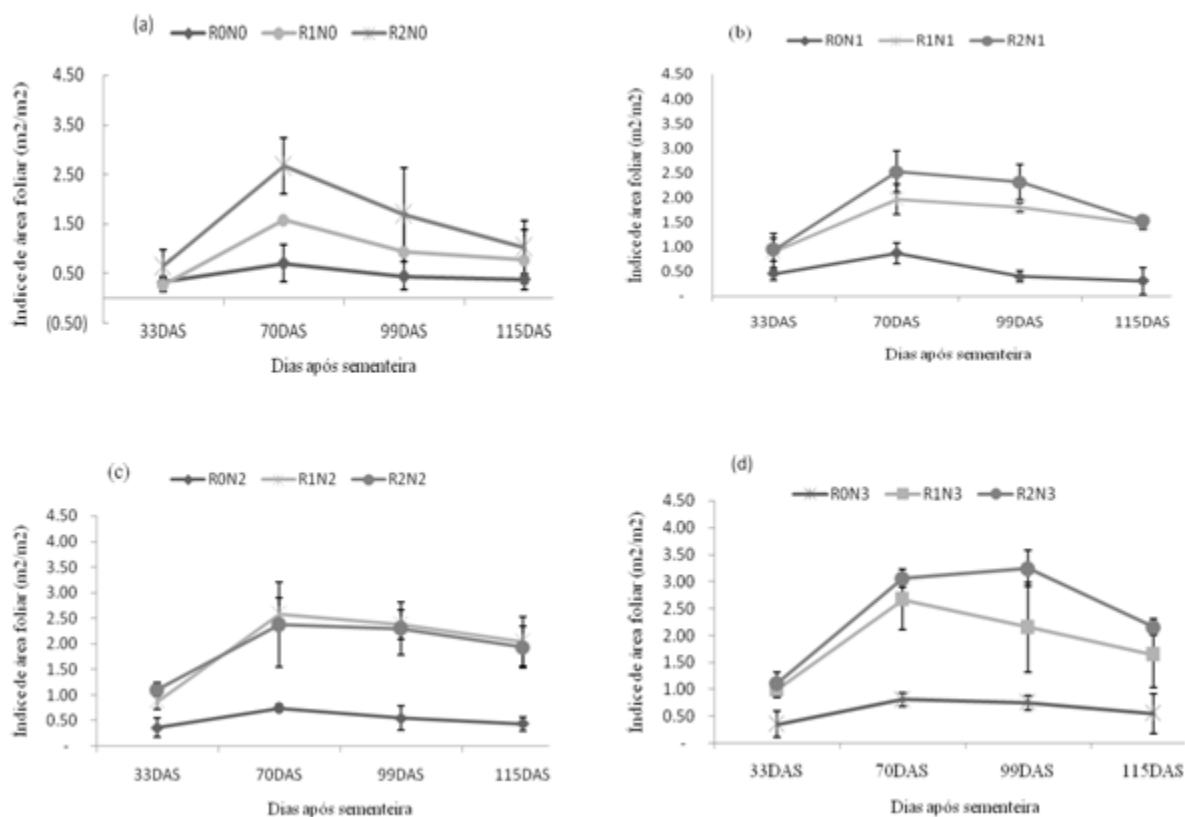


Figura 15. Índice de área foliar (IAF) e os respectivos desvio padrão, em função dos dias após a sementeira (DAS), (a) N0 de azoto, (b) N1 de Azoto, (c) N2 de Azoto, (d) N3 de 100% de Azoto.

Os valores máximos dos índice foliar foram observados no final da fase de desenvolvimento vegetativo para todos os tratamentos com exceção do tratamento R2N3 em que atingiu na floração ou 99 DAS. Allen *et al.* (2006) referem que para uma dada cultura, o IAF varia ao longo do período vegetativo e, geralmente, atinge o seu valor máximo antes ou durante a floração.

Os valores do IAF neste estudo foram superiores aos obtidos por (Ruiz e Bertero, 2008) que variaram entre 0,93 a 2,6 m^2/m^2 . Em contra partida foram menores que os índices obtidos por Fita *et al.* (2015) que variou entre 2,87 a 3,26 em que o IAF não foi influenciado pelos níveis de fertilizantes. Os menores valores de índice obtidos neste estudo se justifica devido a ocorrência de uma senescência precoce registada durante a condução da experiência.

4.3 Somatório térmico

A duração das diferentes fases do ciclo da cultura, expressa em dias e em tempo térmico, estão representadas na Figura 16. De acordo com a carta tecnológica da quinoa, o cultivar Blanca de Juli tem um ciclo aproximado 160 dias (Apaza *et al.*, 2013). No ensaio, a cultura não finalizou o seu ciclo de produção durante os 160 dias do calendário civil, não tendo terminado a fase de iniciação da produção do grão. A fase EME-FLO foi a maiores índices, tanto o tempo térmico (1499,3°C d) como no número de dias (79). Apaza *et al.* (2013) observaram, para esta fase, uma duração de 42 dias.

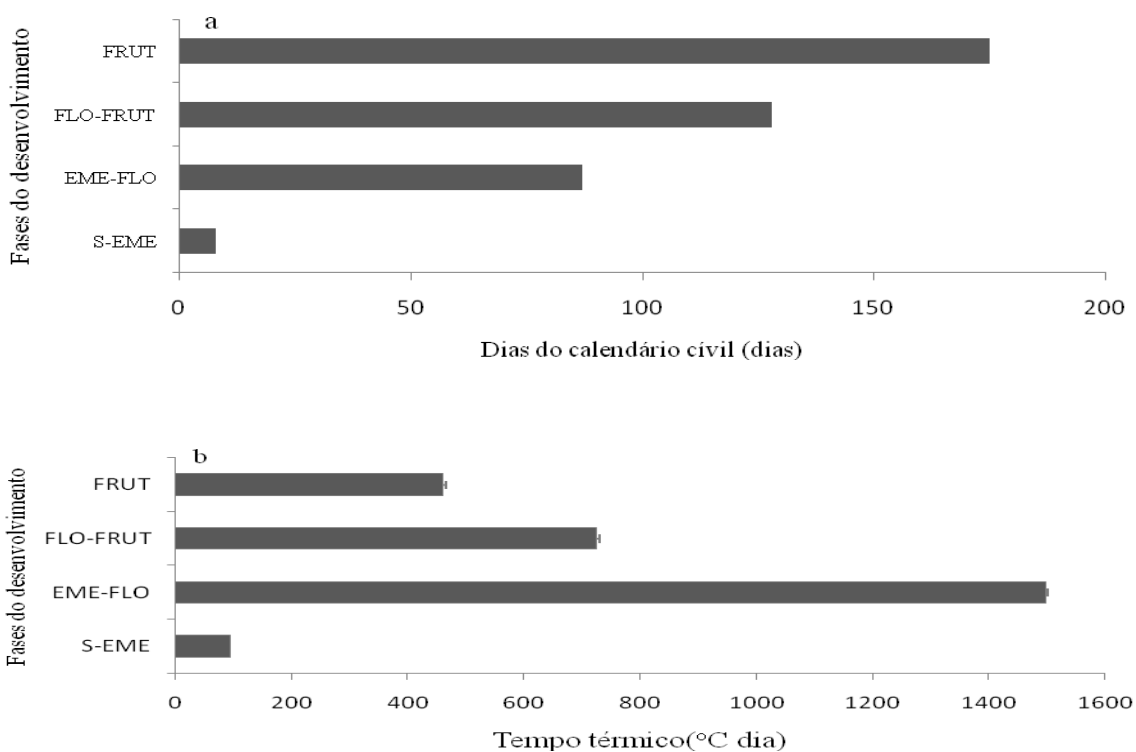


Figura 16. Duração das fases de desenvolvimento da quinoa, Sementeira-Emergência (S-EME), Emergência-Floração (EME-FLO), Floração-Frutificação (FLO-FRUT) e Frutificação (FRUT) com tempo expresso em dias (a) e em tempo térmico usando uma temperatura de base (T_b) de 2°C (b).

Em relação ao tempo térmico calculado para a quinoa, observa-se que a fase EM-FLO demandou maior tempo térmico (1499,3°C d). Este valor encontra-se abaixo dos encontrados por

Maximiano (2014) que foi de 2067,7°C d. Quanto à fase FLO-FRUT registou-se um tempo térmico de 725,5°C d, valor este que se encontra muito abaixo do observado por Maximiano (2014) que foi de 2257,9°C. Walters *et al.* (2016) constataram que para o bom desenvolvimento da quinoa o tempo térmico para as fases de 4 semanas após o plantio, floração, frutificação e maturação deve ser de 1627, 2125, 2320 e 2856°C d, respectivamente. Um dos factores que poderá ter contribuído para o baixo tempo térmico verificado neste estudo poderá estar associado ao facto de que nesta região durante a noite a temperatura do ar desce significativamente.

4.4 Necessidades hídricas da cultura

Os valores de ETo obtidos através da Equação de Penman-Monteith encontram-se apresentados na Tabela 6. A maior taxa da demanda de água (5,91 e 5,13 mm/dia) ocorreu durante os meses de máxima radiação solar Junho a Setembro respectivamente (Fig. 10).

Tabela 6. Duração das fases do ciclo da quinoa, evapotranspiração de referência (ETo), coeficientes culturais e evapotranspiração da cultura (ETc) obtidas durante o ensaio.

Fases do ciclo	Duração (dias)	ETo (mm/dia)	Kc	ETc (mm/dia)
Inicial	29	4,86	0,50	2,43
Desenvolvimento	27	5,91	0,79	4,66
Intermédia	52	5,13	1,04	5,34
Final	52	2,29	0,88	2,00
Total	160	4,55	0,80	14,43

Requisitos mínimos de água ocorreram durante o primeiro mês ou seja na fase inicial (29 dias), quando apenas poucas folhas contribuíram para a transpiração, sendo a maior fracção da ETc devido à evaporação do solo. O consumo da água aumentou a partir da fase de desenvolvimento de quinoa (4,66 mm/dia) atingindo o seu máximo na fase intermédia (5,3 mm/dia), derivado do maior IAF e a maior transpiração das plantas durante a fase vegetativa e início da floração.

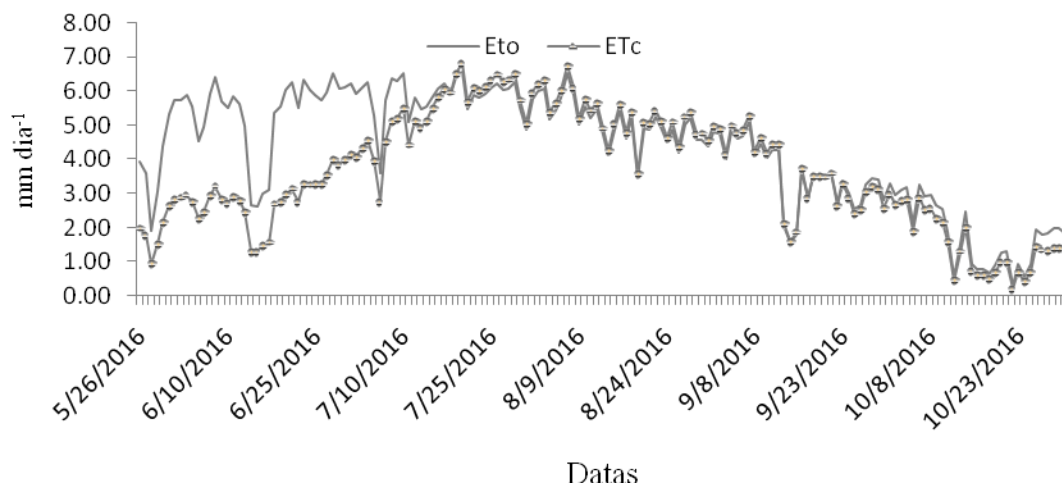


Figura 17. Curso da evapotranspiração da cultura (ETc) e de referência (ETo)

As necessidades de água máximas, para a generalidade das culturas de grão, ocorrem durante a floração e maturação. Durante as 7 semanas seguintes (fase final), o consumo da água diminuiu significativamente. Porém, devido ao comportamento da cultura verificado durante esta fase é de realçar que a diminuição do consumo de água foi devido a baixa radiação solar ou seja foi o período em que as temperaturas baixaram bem como à ocorrência de senescência foliar reduzindo assim o índice área foliar, como é referido por Jensen *et al.* (2000).

4.4.1 Coeficiente cultural e evapotranspiração de cultura

A curva do coeficiente cultural (K_c) para a quinoa está apresentada na Figura 18. A curva foi construída com base nos valores tabelados, por Allen *et al.*, (1998) das fases inicial (K_c inicial), intermédia (K_c médio) e final (K_c final) e na duração das fases observadas.

Os valores de K_c padronizados de acordo com as directrizes da FAO são apresentados na Tabela 4 (Allen *et al.* 1998).

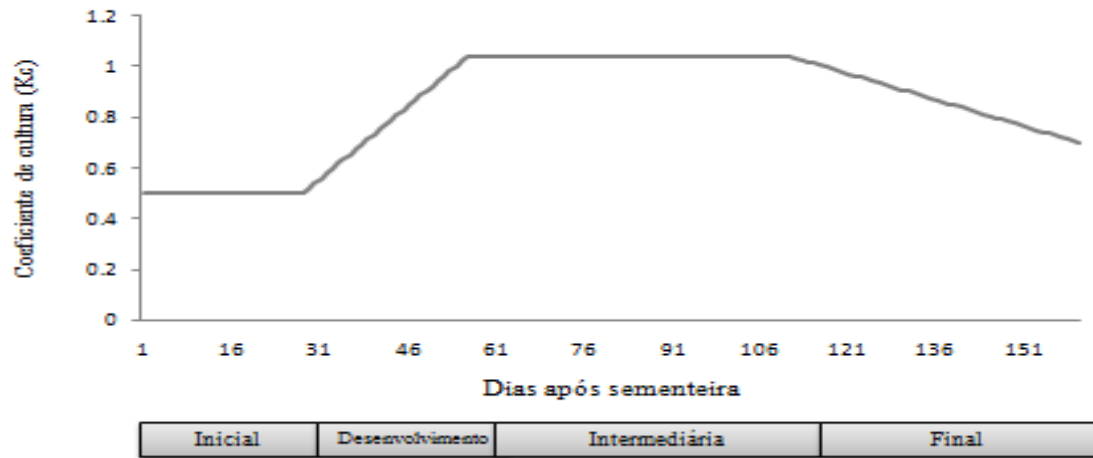


Figura 18. Curva de Kc da quinoa

Na Tabela 7 estão representados os da precipitação efectiva e da água aplicada nos tratamentos de rega.

Os volumes de água aplicados durante o ciclo de produção especificado neste estudo, diferem dos encontrados por Mercedes (2005), que avaliou o efeito do stresse hídrico na produção de quatro cultivares de quinoa com irrigação por gota-gota, com dotação normal de 2924 m³/ha e 1539,5 m³/ha em stresse hídrico nas condições agro-climáticas da América do sul. No entanto, Melorose *et al.* (2016) refere que a dotação óptima, para a cultura, pode variar de 5000 a 8000 m³/ha.

Tabela 7. Precipitação efectiva e água aplicada nos tratamentos regados

Fases	P _{eff}	Água aplicada por fases	
		R1 (mm)	R2 (mm)
Inicial	11,2	29,72	59,44
Desenvolvimento	0,0	62,96	125,92
Intermediária	3,4	137,14	274,28
Final	45,9	29,29	58,58
Total	60,5	259,11	518,21

4.5 Balanço hídrico

4.5.1 Balanço hídrico em sequeiro

A Figura 19 ilustra a variação do teor água no solo, determinado através do balanço hídrico diário do solo, nas parcelas não irrigadas. Portanto, estas parcelas somente foram beneficiadas das precipitações ocorridas durante o seu ciclo. Pode observar-se que logo após a sementeira o teor de água no solo era suficiente para atender à demanda hídrica. A partir dos 11 dias após a sementeira, até praticamente ao final do ciclo, o teor de água esteve abaixo do limite da água facilmente disponível (AFD). Este valor foi-se mantendo próximo da água total disponível (ATD) e tendo atingindo o mesmo nível a partir dos 81 dias. De acordo com Raposo (1994) esta situação condiciona ao stress hídrico e conseqüentemente as plantas vegetam em más condições uma vez que, apesar de existir água no solo, porém não esta disponível para a cultura.

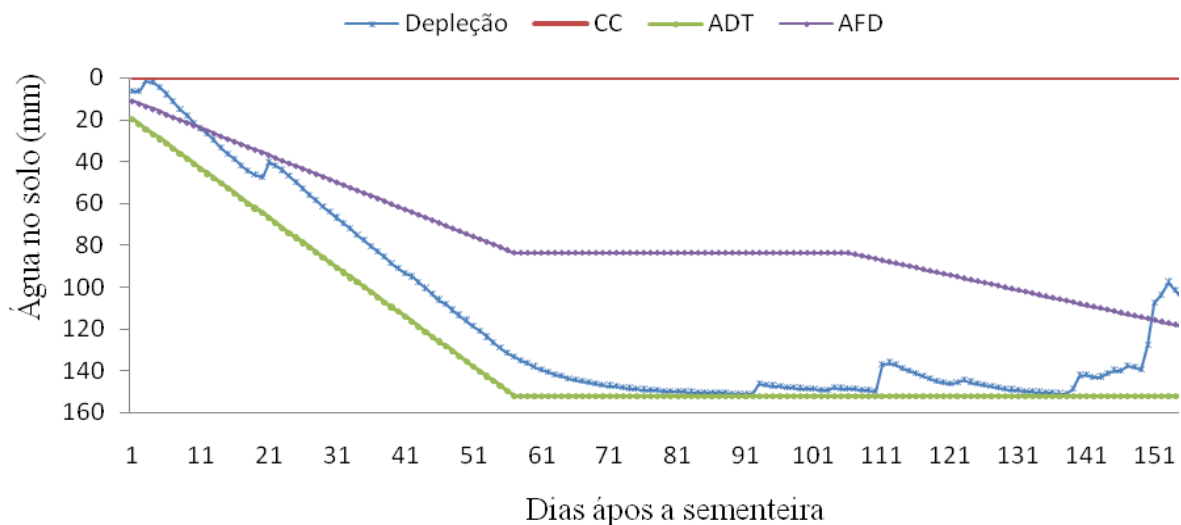


Figura 19. Balanço hídrico simulado através de CROPWAT 8.0 para parcelas não irrigadas. CC - capacidade de campo; ADT - água total disponível e AFD - água facilmente disponível.

Os resultados do balanço hídrico no solo apresentados na Tabela 8 mostram a água total utilizada e as perdas de produção devido ao stress hídrico, permitindo uma avaliação do balanço hídrico simulado nesta situação. A água actual usada pela cultura foi de 206,4 mm, enquanto que a água potencial necessária foi de 739,8 mm o que originou um défice na ordem de 72%. A quebra potencial na produtividade foi de 4,3% na fase inicial, 32,6% na fase de desenvolvimento, 73,2%

na fase intermédia e 30,8% na fase final, resultando numa redução acumulada de 88,0%. Para o ciclo da cultura esta redução foi de 82,9%, o que significa que o rendimento relativo foi de 17,1% (Y_a/Y_{max}).

Como foi mostrado na figura anterior, este cenário mostra que nas condições edafoclimáticas em que foi desenvolvido o ensaio sugere que esta cultura não pode ser praticada em regime de sequeiro. Pois a redução no rendimento devido ao défice de água no solo é significativamente elevada.

Tabela 8. Parâmetros básicos de irrigação determinados através de CROPWAT 8.0 para parcelas não irrigadas

Total						
	Irrigação Bruta	0,0 mm		Precipitação total	116,0 mm	
	Irrigação Líquida	0,0 mm		Precipitação efectiva	116,0 mm	
	Perdas na irrigação	0,0 mm		Total de perdas por precipitação	0,0 mm	
	Água usada pela cultura	206,4 mm		Défice de água à colheita	120,8 mm	
	Água potencial usada pela cultura	739,8 mm		Necessidades reais de irrigação	623,8 mm	
	Eficiência da irrigação	-		Eficiência da precipitação	100%	
	Défice de irrigação	72,1%				
Reduções na produção						
	Fases	Inicial	Desenvolvimento	Intermédio	Final	Ciclo
	Redução na ETc (%)	10,7	54,3	91,5	76,9	72,1
	Coefficiente de sensibilidade hídrica	0,4	0,6	0,8	0,4	1,15
	Redução de rendimento (%)	4,3	32,6	73,2	30,8	
	Reduções acumuladas de rendimento (%)	4,3	35,4	82,7	88,0	82,9

4.5.2 Balanço hídrico a 50% de ETc

A Figura 20 mostra o balanço hídrico do solo para a dotação de rega de 50% da evapotranspiração da cultura. Observando a curva de variação do teor de água no solo, nos primeiros 40 dias após a sementeira a depleção foi inferior à água facilmente disponível no solo (AFD). Após esta data verifica-se que a depleção é superior à AFD o que origina uma diminuição da evapotranspiração da cultura e uma consequente quebra do rendimento.

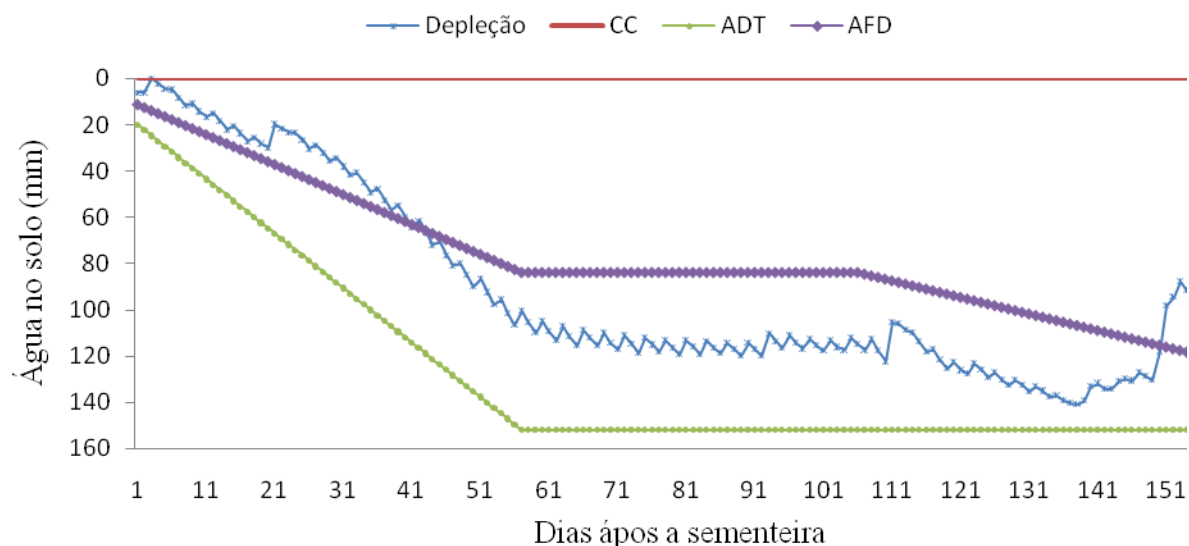


Figura 20. Balanço hídrico simulado através de CROPWAT 8.0 para parcelas irrigadas a 50% da evapotranspiração da cultura. CC - capacidade de campo, ADT - água total disponível e AFD - água facilmente disponível.

Na Tabela 9, encontra-se informações sobre, a água total utilizada e a produção, permitindo uma avaliação da aplicação da rega deficitária. A irrigação bruta total foi de 305,3 mm, sendo a irrigação líquida de 290,0 mm. Observa-se que a água usada pela cultura foi de 486,9 mm enquanto que o seu potencial é de 739,8 mm o que origina um défice na irrigação na ordem de 34,2 %. A redução no rendimento foi de 5,1 % na fase de desenvolvimento, 35,1 % na fase intermédia e 18,6 % na fase final, resultando numa redução acumulada de 49,8 %. Para o ciclo completo, esta redução foi de 39,3 %, o que significa que o rendimento relativo foi de 60,7 % (Y_a/Y_{max}).

Tabela 9. Parâmetros básicos de irrigação determinados através de CROPWAT 8.0 para parcelas irrigadas a 50 % da evapotranspiração da cultura

Total						
	Irrigação Bruta	305,3 mm		Precipitação total	116,0 mm	
	Irrigação Líquida	290,0 mm		Precipitação efectiva	116,0 mm	
	Perdas na irrigação	0,0 mm		Total de perdas por precipitação	0,0 mm	
	Água usada pela cultura	486,9 mm		Défice de água à colheita	111,3 mm	
	Água potencial usada pela cultura	739,8 mm		Necessidades reais de irrigação	623,8 mm	
	Eficiência de irrigação	100%		Eficiência da precipitação	100%	
	Deficiência de irrigação	34,2%				
Reduções na produção						
	Estágios	Inicial	Desenvolvimento	Intermédio	Final	Ciclo
	Reduções na Etc (%)	0,0	8,4	43,8	46,4	34,2
	Coefficiente de sensibilidade hídrica	0,4	0,6	0,8	0,4	1,15
	Redução de rendimento (%)	0,0	5,1	35,1	18,6	
	Reduções acumuladas de rendimento (%)	0,0	5,1	38,3	49,8	39,3

4.5.3 Balanço hídrico 100% de ETc

A gestão óptima da irrigação para obtenção da produção máxima é aquela o momento de irrigar é determinado pelo nível de depleção crítica, quando a planta utiliza 100% da AFD. Teoricamente, a planta não sofre stresse, sendo a ETc igual a ET máxima, ou seja, a planta usa água a uma taxa potencial.

O balanço hídrico no solo para as parcelas irrigadas a 100 % da Evapotranspiração da cultura é apresentado na Figura 21. De um modo geral as dotações de rega aplicadas nestas parcelas mantiveram o teor de água no solo dentro do limite da água facilmente disponível (AFD). Verifica-se que nos primeiros 50 dias após a sementeira os valores do teor de água no solo estiveram próximo da CC. Até ao final do ciclo o teor de água no solo foi diminuindo gradualmente tendo ultrapassado o limite da AFD já no final do ciclo.

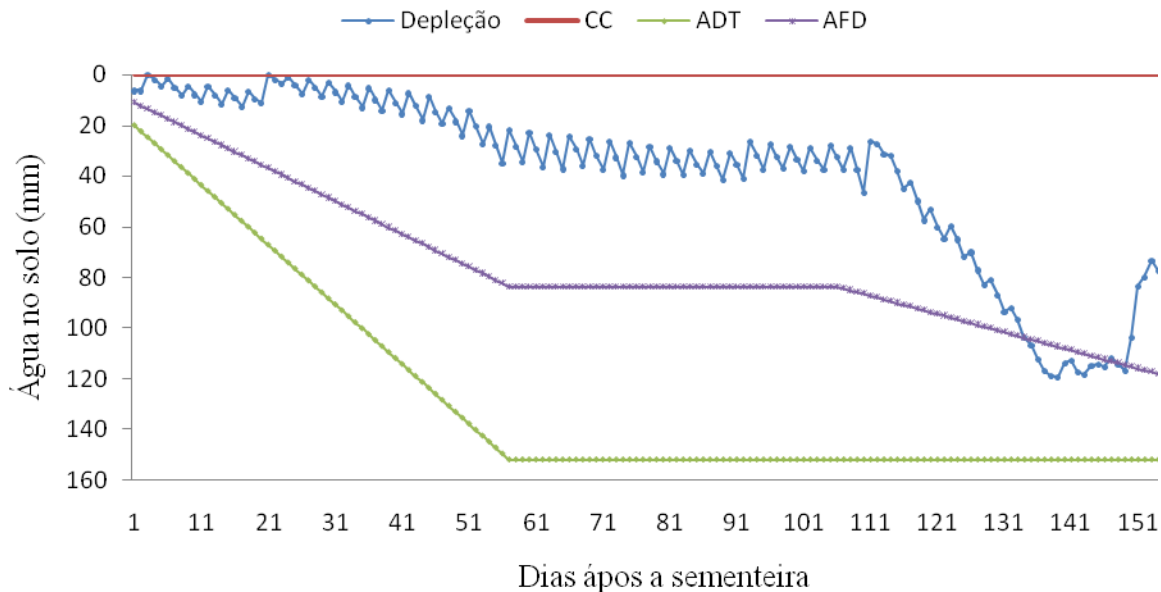


Figura 21. Balanço hídrico simulado através de CROPWAT 8, para parcelas irrigadas a 100% da evapotranspiração da cultura. CC - capacidade de campo, ADT - água total disponível e AFD - água facilmente disponível.

Analisando a Tabela 10, a irrigação bruta total foi de 581,1 mm, sendo a irrigação líquida na ordem de 552 mm, para uma eficiência de aplicação de 100 %. Os valores da actual água usada pela cultura foi de 734,5 mm contra o potencial de 739,8 mm, gerando um défice de irrigação de 0,7 %. Esta redução foi registada no final do ciclo da cultura originando uma redução acumulada durante o ciclo na ordem de 0,8 %.

A rega a 100% de ET_c mostra que proporcionou indicadores de rega óptimos. Em contra partida existe o inconveniente uma vez que o intervalo de rega foi constante e as dotações variáveis, o que do ponto de vista do irrigante podera dificultar a sua planificação.

Tabela 10. Parâmetros básicos de irrigação determinados através de CROPWAT 8.0 para parcelas irrigadas a 100% da evapotranspiração da cultura

Total						
	Irrigação Bruta	581,1 mm		Precipitação total	116,0 mm	
	Irrigação Líquida	552,0 mm		Precipitação efectiva	111,6 mm	
	Perdas na irrigação	0,0 mm		Total de perdas por precipitação	0,0 mm	
	Actual água usada pela cultura	734,5 mm		Défice de água à colheita	96,9, mm	
	Água potencial usada pela cultura	739,8 mm		Necessidades reais de irrigação	623,8, mm	
	Eficiência de irrigação	100%		Eficiência da precipitação	100,0%	
	Défice de irrigação	0.7%				
Reduções na produção						
	Estágios	Inicial	Desenvolvimento	Intermédio	Final	Ciclo
	Reduções na Etc (%)	0,0	0,0	0,0	2,2	0,7
	Coefficiente de sensibilidade hídrica	0,4	0,6	0,8	0,4	1,15
	Redução de rendimento (%)	0,0	0,0	0,0	0,9	
	Reduções acumuladas de rendimento (%)	0,0	0,0	0,0	0,9	0,8

4.6 Teor de água no solo

A Figura 22 mostra o teor de água no solo medido em três datas durante o curso do ensaio. A representação do teor de água à capacidade de campo e no coeficiente de emurchecimento permite constatar que o teor de água nos diferentes regimes hídricos mantêve-se entre capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento. Nos tratamentos com mais água aplicada o teor de água foi superior, comprovando os resultados da simulação do balanço hídrico do solo. No regime de sequeiro observa-se que ao longo da condução do ensaio os teores de água na parcela diminuíram de forma significativa (22,2%), devido à ausência de precipitação. Nas parcelas regadas a 50% da ETc, o teor de água no solo diminuiu cerca de 22,5% de 3 de Agosto a 1 de Setembro e desta data para 16 de Setembro aumentou em 16,3%. Para as parcelas irrigadas a 100% da ETc, observa-se que os teores de água se mantiveram mais próximos a capacidade de campo ou seja valores médios a $0.16 \text{ m}^3/\text{m}^3$ como foi constatado na simulação do balanço hídrico do solo a 100% da ETc.

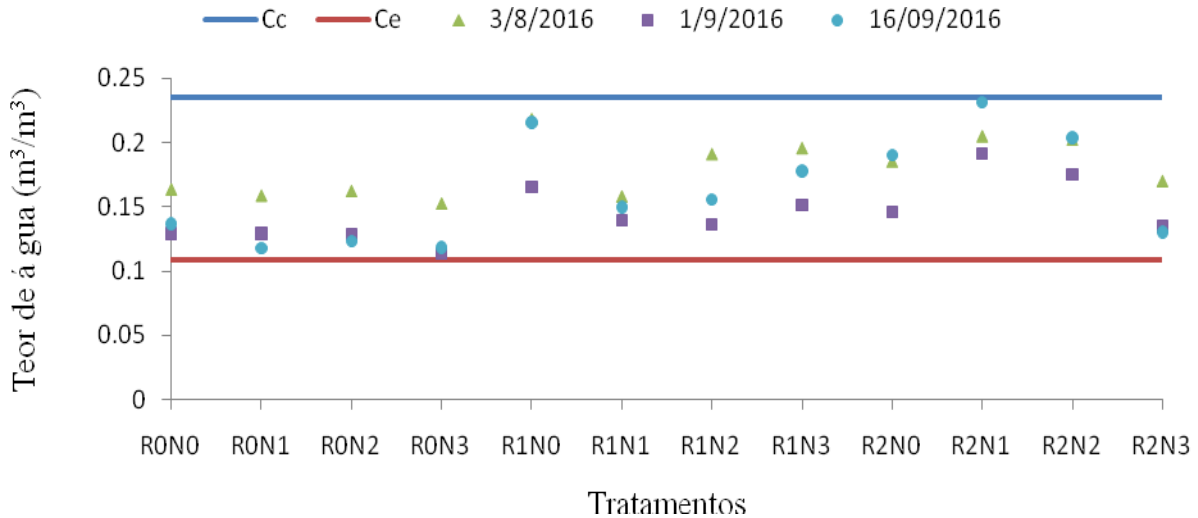


Figura 22. Variação do teor de água no solo, Cc – Capacidade de campo e Ce – Coeficiente de emurchecimento

Os resultados da análise de variancia mostram que o teor de água no solo foi influenciado significativamente pelos níveis de rega. As médias do teor de água das parcelas não irrigadas diferiram significativamente das irrigadas.

4.7 Potencial hídrico foliar

Os valores referentes ao potencial hídrico foliar estão apresentados na Figura 23. De um modo geral verifica-se que houve uma redução do potencial hídrico (Ψ_w) do mês de Agosto a Setembro. Pode-se observar que durante o período avaliado os valores do potencial hídrico foliar nas parcelas irrigadas a 100% da ET_c apresentaram valores de potencial hídrico superiores aos outros tratamentos. As variações mais significativas do potencial hídrico foliar ocorreram nas parcelas não irrigadas (R0) com maior redução verificada na parcela R0N3 (-1.48 para -2.87 MPa).

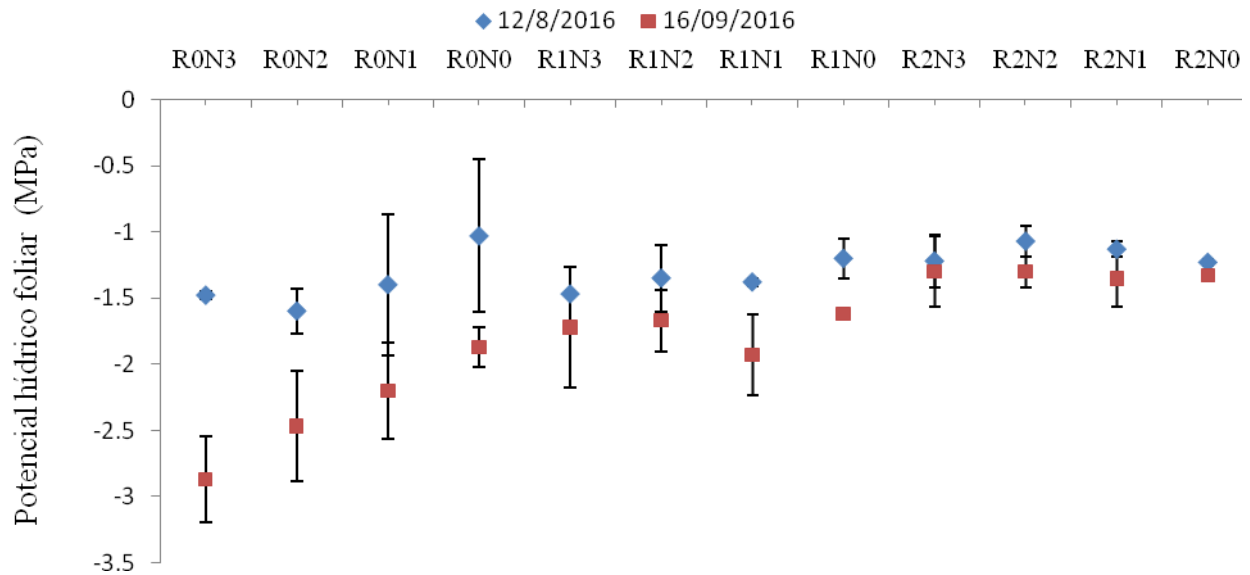


Figura 23. Potencial hídrico foliar da quinoa.

Nas parcelas sem rega observa-se uma acentuada diminuição do potencial hídrico ao longo do ciclo. As plantas em meados de Setembro encontravam-se numa condição de stresse hídrico muito severo (-2.3 MPa). Os valores do potencial hídrico nos tratamentos com rega deficitária (50% ETc), apesar de uma ligeira diminuição, mantiveram-se com valores próximos de -1.7 MPa em Setembro, revelando uma condição de stresse hídrico severo. As plantas regadas a 100% da ETc apresentaram a melhor condição hídrica com valores do potencial hídrico de -1.3 MPa.

O comportamento do potencial hídrico foliar verificado neste estudo, esta de acordo com os resultados de Sanchez *et al.* (2003) que mostraram que as plantas irrigadas tinham um potencial hídrico foliar entre -1,0 MPa e -2,5 MPa enquanto as não irrigadas varia de -1,5 MPa e -3,2 MPa.

Os resultados da análise de variância mostraram um efeito significativo da rega e do azoto no potencial hídrico. O teste de comparação das médias mostrou que as diferenças entre N0, N1 e N2 não foram significativas. Contudo, observaram-se diferenças significativas entre o nível de azoto N3 e N0. As médias de R0 e R1 foram estatisticamente iguais ($p < 5\%$) e estes diferiram da R2.

4.8 Biomassa e produtividade da água

Os valores da biomassa estão apresentados na Figura 23 dispostos em função dos níveis de rega e azoto. O resultado da biomassa apresenta um aumento do N0 (7,34 Mg/ha) tendo atingindo o valor máximo de 16,75 Mg/ha para doses de N2 representando um aumento de 50%. Aumentando a dose de fertilização (N3) as médias diminuíram ligeiramente para 16,03 Mg/ha.

Em relação ao regime hídrico, observa-se que as médias da biomassa aumentaram em função dos níveis de água aplicada. Portanto a menor média (4,32 Mg/ha) foi obtida na parcela a sequeiro e a maior (19,51Mg/ha) foi obtida na parcela irrigada a 100% de ETc.

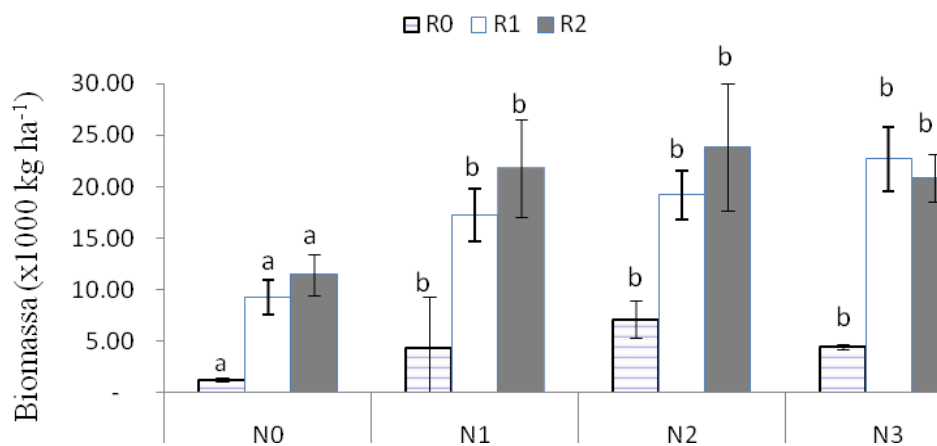


Figura 24. Produção de Biomassa em função dos níveis de rega e azoto. Letras iguais, médias estatisticamente iguais para níveis de Rega e Azoto ($p < 5\%$)

Os resultados da análise de variância revelaram que as médias da biomassa foram influenciadas significativamente pela rega e azoto com uma interação significativa entre os dois factores. O teste de comparação múltipla mostrou que para o factor rega as médias das parcelas a sequeiro foram estatisticamente diferentes das irrigadas a 50% e 100% de ETc. O mesmo teste mostrou que para o factor azoto as parcelas em que não foram fertilizadas diferiram estatisticamente das restantes ($p < 5\%$).

Na Tabela 11, são apresentadas as médias da produtividade da água obtida através da razão entre biomassa (Kg) e volume (m³) da água aplicada. Os resultados da produtividade da água das parcelas com irrigação deficitária apresentaram-se maiores em relação as outras parcelas. O azoto proporcionou um crescimento de 3,04 a 7,44 Kg/m³ gerando um incremento na ordem de 144,7% do nível N0 para N3. A maior produtividade de água registada nas parcelas de irrigação deficitária pode ser justificada pelo Jacobsen *et al.* (2005) que afirma que os tratamentos com menores dotações de água são os que têm maiores valores de produtividade da água.

Tabela 11. Produtividade da água

Rega	Produtividade da água (Kg/m ³)			
	Níveis de azoto			
	N0	N1	N2	N3
R0	1,07	3,80	6,16	3,88
R1	3,04	5,65	6,30	7,44
R2	1,98	3,76	4,11	3,59

Os resultados da análise de variância mostraram um efeito significativo da rega e azoto na produtividade da água (PA). O teste de comparação de médias mostrou que a diferença das médias das parcelas R0 e R1 não foram significativas. Contudo as médias entre R1 e R2 não diferiram significativamente.

Os valores médios da produtividade de água observada neste estudo são maiores que as médias relatada por Geerts *et al.* (2009) que encontrou médias entre 0,3 a 0,6 Kg/m³. Esta disparidade de médias da produtividade de água, pode estar associada ao tipo de cultivares da cultura testada, espaçamento entre plantas utilizado e o efeito dos factores climáticos da região.

V. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho dizem respeito a um ano de ensaios de campo e, por isso, as conclusões apresentadas não tem um carácter definitivo. Estudos posteriores serão levados a cabo com o objetivo de avaliar o efeito da variabilidade interanual. Os resultados obtidos permitem, contudo, concluir que neste primeiro ano de ensaios o comportamento da quinoa foi influenciado pelas condições agroclimáticas da região Trás-os-Montes. A ocorrência de temperaturas altas e o fotoperíodo (maior horas-luz) na fase floração favoreceram o prolongamento desta fase e conseqüentemente a não produção de sementes. A ocorrência de baixa precipitação influenciou significativamente no comportamento agronómico das plantas nas parcelas não irrigadas, originando um maior índice de mortalidade, menor crescimento das plantas (altura <1 metro) e menor índice de área foliar.

A biomassa aumentou com a irrigação deficitária proporcionando um aumento significativo de 485,75% em relação às restantes parcelas. A produção da biomassa foi influenciada significativamente pelas doses de azoto e regime hídrico.

O balanço hídrico foi influenciado pelo regime hídrico. As parcelas não irrigadas mantiveram-se durante 140 dias em condições de stresse hídrico, mostrando que nas condições agroecológicas de Trás-os-Montes a quinoa não pode ser produzida em sequeiro. A rega deficitária a 50% da ETc originou um défice de água no solo e uma potencial quebra no rendimento. Os valores da depleção das parcelas regadas a 100% da ETc não ultrapassaram o limite da água facilmente disponível durante praticamente todo o ciclo da cultura. As simulações do balanço hídrico da cultura foram confirmadas pela medição do teor de água no solo.

O potencial hídrico foliar, foi influenciado pelos níveis de irrigação apresentando uma diminuição acentuada ao longo do ciclo. As plantas das parcelas a sequeiro em meados de Setembro encontravam-se numa condição de stresse hídrico muito severo (-2,3 MPa). As plantas regadas a 100% da ETc apresentaram a melhor condição hídrica com valores do potencial hídrico foliar de -1.3 MPa.

A produtividade da água foi influenciada significativamente pela irrigação deficitária e pelo azoto que proporcionou um aumento de 3,04 à 7,44 kg/m³ gerando um incremento na ordem de 144,7% do N0 para N3.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, P. C., e Jacobsen, S.-E. (2003). Cultivation of quinoa on the Peruvian altiplano. *Food Reviews International*, 19(1–2), 31–41.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., e Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo; Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (FAO Riego). Roma, FAO.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., e Ab, W. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, 1–15.
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., e Pinedo, R. (2013). *Catálogo de cultivares comerciales de quinua en el Perú*, FAO, Perú.
- Bennett, J.M. (1990), Problems associated with measuring plant water status. *HortScience*, Alexandria, v.25, n.12, p.1551-1554,
- Bertero, H. D. (2001). Effects of photoperiod, temperature and radiation on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) under field conditions. *Annals of Botany*, 87(4), 495–502.
- Bertero, H. D. (2003). Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Food Reviews International*, 19(1–2), 87–97.
- Bertero, H. D., King, R. W., e Hall, A. J. (1999a). Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Field Crops Research*, 63 (1), 19–34.
- Bertero, H. D., King, R. W., e Hall, A. J. (1999b). Photoperiod sensitive development phases in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Field crops research*, 60(3), 231–243.
- Bhargava, A., Shukla, S., e Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa*-An Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, 23(1), 73–87.
- Bois, J. F., Winkel, T., Lhomme, J. P., Raffailac, J. P., e Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25(4), 299–308.
- Christiansen, J. L., Jacobsen, S. E., e Jorgensen, S. T. (2010). Photoperiodic effect on flowering and seed development in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Acta Agriculturae*

- Scandinavica*, Section B - Soil e Plant Science, 60(6), 539–544.
- CML. (2016). Estratégia municipal de adaptação às alterações climáticas de Lisboa. Alterações_Climatericas/EMAAC.pdf
- Doorenbos, J., e Kassam, K. H. (1979). Yield response to water (Irrigation). Rome: FAO.
- FAO. (2011), FAOSTAT online database, available at link <http://faostat.fao.org/>. Accessed on December 2016.
- FAO. (2017), FAOSTAT online database, available at link <http://faostat.fao.org/>. Accessed on Maio de 2017.
- Fernandes, G., e Marenco, R. A. (2007). Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*) crabwood (*Carapa guianensis*), 37(2), 229–234.
- Figueiredo, T.M e Gonçalves, D. A. (1993). O regime térmico de um luvisolo na Quinta de Santa Apolónia. Bragança: Instituto Superior Politécnico de Bragança.
- Filho, L. F. C. (2013). Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). Uma revisão bibliográfica. Universidade de Brasília - UnB.
- Fita, A., Fioruci, F., Plazas, M., Rodriguez-Burruezo, A., e Prohens, J. (2015). Drought tolerance among accessions of eggplant and related species. *Bulletin UASVM Horticulture*, 72 (2), 461–462.
- García, M., Miranda, R., e Fajardo, H. (2011). Manual de manejo de la fertilidad de suelo bajo riego deficitario para el cultivo de la quinua en el Altiplano Boliviano (UNESCO). Bolivia: UNESCO.
- Garcia, M., Raes, D., e Jacobsen, S. E. (2003). Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management*, 60 (2), 119–134.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Condori, O., Mamani, J., Miranda, R., ... Vacher, J. (2008). Could deficit irrigation be a sustainable practice for quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) in the Southern Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management*, 95(8), 909–917.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Taboada, C., Miranda, R., Cusicanqui, J., ... Vacher, J. (2009). Modeling the potential for closing quinoa yield gaps under varying water availability in the

- Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management*, 96(11), 1652–1658.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Taboada, C. (2008). Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 28(3), 427–436.
- Gilmore, E.C.; Rogers, J.S. (1958), Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, v.50, n.10, p.611-615
- Gómez-Pando, L., Mujica, Á., Chura, E., Pérez, A., Tejada, T., Villanto, A., ... Ccoñas, W. (2008). Quinoa, 378–387.
- Hafid, R. El, Aitelmaalem, H., Driedger, D., Dandara, M., e Stevenson, J. (2005). Next cinderella crop for alberta quinoa, 1–28.
- Harris, K., Subudhi, P. K., Borrell, A., Jordan, D., Rosenow, D., Nguyen, H., ... Mullet, J. (2007). Sorghum stay-green QTL individually reduce post-flowering drought-induced leaf senescence. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 327–338.
- Hsiao, T.C. (1973), Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.24, p.519- 570,
- Hsiao, T. C., Steduto, P., Fereres, E., e Raes, D. (2012). Crop yield response to water. In *FAO Irrigation and drainage paper* (Vol. 66, pp. 70–87).
- Jacobsen, S. E., (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19(1–2), 167–177.
- Jacobsen, S. E., (2015). Adaptation and scope for quinoa in northern latitudes of Europe. *State of the Art Report on Quinoa around the World in 2013*, 605.
- Jacobsen, S. E., Mujica, A., e Jensen, C. R. (2003). The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Adverse Abiotic Factors. *Food reviews international*, 19 (2), 8755–9129.
- Jacobsen, S. E., (1997). Adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to northern european agriculture: Studies on developmental pattern. *Euphytica*, 96(1), 41–48.
- Jacobsen, S. E., Monteros, C., Christiansen, J. L., Bravo, L. A., Corcuera, L. J., e Mujica, A. (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy*, 22(2), 131–139.
- Jacobsen, S. E., Monteros, C., Corcuera, L. J., Bravo, L. A., Christiansen, J. L., e Mujica, A.

- (2007). Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 26(4), 471–475.
- Jacobsen, S. E., e Stolen, O. (1993). Quinoa - Morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *European Journal of Agronomy*, 2(1), 19–29.
- Jensen, C. ., Jacobsen, S.-E., Andersen, M., Núñez, N., Andersen, S. ., Rasmussen, L., e Mogensen, V. . (2000). Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal of Agronomy*, 13(1), 11–25.
- Leitão, S., e Dias, F. (2015). *Projecto de um sistema de rega para uma exploração agrícola na Beira Interior*. Instituto Superior De Engenharia De Lisboa.
- López, S. K. E. T. (2012). Impacto de cambio climático en el cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) y Quinoa (*Chenopodium quinoa* Will). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Martínez, E. A., Veas, E., Jorquera, C., San Martín, R., e Jara, P. (2009). Re-introduction of quinoa into arid Chile: Cultivation of two lowland races under extremely low irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195 (1), 1–10.
- Maximiano, C. V. (2014). Influência das condições climáticas no desenvolvimento fenológico e fisiológico da quinoa.
- Melrose, J., Perroy, R., e Careas, S. (2016). *Guia del cultivo de la quinoa*. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Organizaci, Vol. 1). P.
- Mercedes, W. 2005. Efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades del cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.).
- Miranda, M., Vega-Gálvez, A., López, J., Parada, G., Sanders, M., Aranda, M., ... Di Scala, K. (2010). Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Industrial Crops and Products*, 32(3), 258–263.
- Pereira, L. S. (2002). Necessidades de água e métodos de rega,. Lisboa: Europa-América,.
- Peterson, A. J. (2013). Salinity Tolerance and Nitrogen Use Efficiency of Quinoa for, (May).
- Raposo J.R. (1994). A Rega, Serviços de Educação Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Rêgo, V. M. (2015). Desenvolvimento e produção de quinoa sob irrigação e adubação potássica.

- Ruiz, K. B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I. S., Antognoni, F., Martínez-Mosqueira, E. A., Molina-Montenegro, M. A. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 349.
- Ruiz, R. A., e Bertero, H. D. (2008). Light interception and radiation use efficiency in temperate quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *European Journal of Agronomy*, 29(2–3), 144–152.
- Shahidian, S. (2012). Gestão da água no Regadio. *Hidrologia Agrícola*, 225–243. Portugal
- Sanchez, H., Lemeur, R., Van Damme, P., Jacobsen, S., e Paz, L. (2003). Ecophysiological Analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Online Food Reviews International*, 19(2), 8755–9129.
- Silva Teixeira, G. C., Stone, L. F., e Heinemann, A. B. (2015). Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 45(1), 9–17.
- Siqueira, D. L. De. (2007). Avaliação do potencial hídrico foliar, umidade do solo e temperatura no período pre-florescimento dos citros, 0–5.
- Spehar, C. R. (2006). Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil. *Cadernos de Ciencia e Tecnologia*, 23 (1), 41–62.
- Spehar, C. R., e De Barros Santos, R. L. (2005). Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 40(6), 609–612.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., e Raes, D. (2012). *Crop yield response to water. Fao Irrigation and Drainage Paper Issn*.
- Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S., e Jacobsen, S. E. (2014). Sensitivity of Two Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Varieties to Progressive Drought Stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(1), 12–23.
- Trentin, R., Schreiber, F., Streck, N. A., e Buriol, G. A. (2008). Soma térmica de subperíodos do desenvolvimento da planta de melancia. *Ciência Rural*, 38(9), 2464–2470.
- Wallace, D., Gniffke, P., Masaya, P., e Zobel, R. (1991). Photoperiod, temperature, and genotype interaction effects on days and nodes required for flowering of bean. *American Society of Horticulture*, 116(3), 534–543.

Walters, H., Carpenter-Boggs, L., Desta, K., Yan, L., Matanguihan, J., e Murphy, K. (2016). Effect of irrigation, intercrop, and cultivar on agronomic and nutritional characteristics of quinoa. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(8), 783–803.

VII. ANEXO

Tabela 15: ANOVA de Biomassa

F.Variação	DF	SQT	SQM	F	P
Replica	2	501.2	250.58		
Azoto	3	5219.0	1739.66	12.45	0.0055
Erro Replica*Azoto	6	838.6	139.77		
Rega	2	17851.5	8925.75	165.04	0.0001
Erro Replica*Rega	4	216.3	54.08		
Azoto *Rega	6	1191.6	198.60	2.57	0.0777
Erro Replica* Azoto *Rega	12	928.6	77.38		
Total	35	26746.7			

Média 47.583

Coefficiente de Variação (Replica*Azoto) 24.85

Coefficiente de Variação (Replica*Rega) 15.46

Coefficiente de Variação (Replica*Azoto*Rega) 18.49

Tabela 16: ANOVA da Produtividade de Água

F. Variação	DF	SQT	SQM	F	P
Replica	2	0.01401	0.00700		
Azoto	3	0.07205	0.02402	7.49	0.0188
Erro Replica*Azoto	6	0.01924	0.00321		
Rega	2	0.04309	0.02154	6.94	0.0500
Erro Replica*Rega	4	0.01241	0.00310		
Azoto*Rega	6	0.02016	0.00336	1.97	0.1498
Erro Replica* Azoto*Rega	12	0.02048	0.00171		
Total	35	0.20143			

Média 0.1514

Coefficiente de Variação(Replica*Azoto) 37.40

Coefficiente de Variação (Replica*Rega) 36.79

Coefficiente de Variação (Replica*Azoto*Rega) 27.29

Tabela 17: ANOVA de Índice de Área Foliar (4)

F.Variaçã	GL	SQT	SQM	F	P
Replica	2	0.7222	0.36111		
Azoto	3	2.0000	0.66667	4.80	0.0491
Erro Replica*Azoto			6	0.8333	0.13889
Rega	2	10.8889	5.44444	35.64	0.0028
Erro Replica*Rega			4	0.6111	0.15278
Azoto*Rega			6	1.3333	0.22222
Erro Replica* Azoto*Rega	12	1.8333	0.15278		
Total	35	18.2222			

Média 0.7778

Coefficiente de Variação (Replica*Rega) 47.92

Coefficiente de Variação (Replica*Rega) 50.25

Coefficiente de Variação (Replica*Azoto*Rega) 50.25

Tabela 18: ANOVA de Índice de Área Foliar (3)

F. Variação	DF	SQT	SQM	F	P
Replica	2	0.3889	0.1944		
Azoto3	3.8889	1.2963	2.64	0.1437	
Erro Replica*Azoto6			2.9444	0.4907	
Rega	2	21.5556	10.7778	45.65	0.0018
Erro Replica*Rega4			0.9444	0.2361	
Azoto*Rega 6	3.7778	0.6296	3.16	0.0424	
Erro Replica* Azoto*Rega 12	2.3889	0.1991			
Total	35	35.8889			

Média 1.0556

Coefficiente de Variação (Replica*Azoto) 66.37

Coefficiente de Variação (Replica*Rega) 46.03

Coefficiente de Variação (Replica*Azoto*Rega) 42.27

Tabela 19: ANOVA de Índice de Área Foliar (2)

F.Variação	DF	SQT	SQM	F	P
Replica	2	1.5556	0.7778		
Azoto	3	1.6389	0.5463	7.38	0.0195
Erro Replica*Azoto	6	0.4444	0.0741		
Rega	2	28.3889	14.1944	127.75	0.0002
Erro Replica*Rega	4	0.4444	0.1111		
Azoto*Rega	6	3.6111	0.6019	4.64	0.0115
Erro Replica*Azoto*Rega	12	1.5556	0.1296		
Total	35	37.6389			

Média 1.3056

Coefficiente de Variação (Replica*Azoto) 20.85

Coefficiente de Variação (Replica*Rega) 25.53

Coefficiente de Variação (Replica*Azoto*Rega) 27.58

Tabela 20: ANOVA de Índice de Área Foliar (1)

F.Variação	GL	SQT	SQM	F	P
Replica	2	0.16667	0.08333		
Azoto	3	0.97222	0.32407	2.06	0.2072
Erro Replica*Azoto	6	0.94444	0.15741		
Rega	2	1.50000	0.75000	9.00	0.0331
Erro Replica*Rega	4	0.33333	0.08333		
Azoto*Rega	6	0.94444	0.15741	1.00	0.4682
Erro Replica*Azoto	12	1.88889	0.15741		
Total	35	6.75000			

Média 0.2500

Coefficiente de Variação (Replica*Azoto) 158.70

Coefficiente de Variação (Replica*Rega) 115.47

Coefficiente de Variação (Replica*Azoto*Rega) 158.70