

**DÁVILLA ALESSANDRA DA SILVA ALVES**

**ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE  
FÍSICO-QUÍMICA DE RAÍZES DE MANDIOCA EM SISTEMA IRRIGADO E DE  
SEQUEIRO**

**Botucatu**

**2022**



**DÁVILLA ALESSANDRA DA SILVA ALVES**

**ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE  
FÍSICO-QUÍMICA DE RAÍZES DE MANDIOCA EM SISTEMA IRRIGADO E DE  
SEQUEIRO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador(a): Prof. Dr. Hélio Grassi Filho

Co-orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Magali Leonel

**Botucatu**

**2022**

A474a

Alves, Davilla Alessandra da Silva

Adubação orgânica e mineral na produtividade e qualidade físico-química de raízes de mandioca em sistema irrigado e de sequeiro / Davilla Alessandra da Silva Alves. -- Botucatu, 2022

80 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientadora: Hélio Grassi Filho

Coorientadora: Magali Leonel

1. agronomia. 2. adubação. 3. irrigação agrícola. 4. produtividade. 5. mandioca para indústria. I. Título.

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

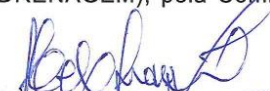
TÍTULO DA TESE: ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE RAÍZES DE MANDIOCA EM SISTEMA IRRIGADO E EM SEQUEIRO

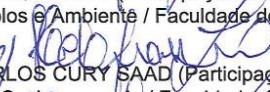
**AUTORA: DÁVILLA ALESSANDRA DA SILVA ALVES**

**ORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO**

**COORIENTADORA: MAGALI LEONEL**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO (Participação Virtual)  
Ciência Florestal Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

  
Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD (Participação Virtual)  
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

  
Prof.ª Dr.ª CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL (Participação Virtual)  
Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

  
Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES (Participação Virtual)  
Centro de Raízes e Amidos Tropicais / Universidade Estadual Paulista - UNESP

  
Prof. Dr. MÁRCIO HENRIQUE LANZA (Participação Virtual)  
Solos e desenvolvimento de pesquisa / Faculdade Eduvale de Avaré

Botucatu, 03 de março de 2022



*Aos meus amados pais  
Cícera e Francisco,  
dedico*



## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo amor, cuidado e pela força que me destes para encerrar este ciclo e pela proteção de minha família.

Aos meus pais, Francisco de Assis e Cícera Maria, pelo amor e apoio às minhas decisões.

Ao meu querido Rafael Oliveira pelo apoio, incentivo, amor e amizade.

Ao professor Dr. Hélio Grassi pela orientação, pela confiança depositada, incentivo, apoio, amizade e ensinamentos.

À professora Dr<sup>a</sup>. Magali Leonel pela confiança, paciência e todo o suporte dado.

Ao professor Dr<sup>a</sup>. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho pelo suporte nas análises estatísticas deste trabalho.

A Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu/SP, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Irrigação e Drenagem pela oportunidade, e a todos os professores.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

Aos funcionários da Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos. A todos os funcionários do Departamento de Solos, assim como dos Setores de Transportes e de Manutenção.

Aos funcionários e alunos do CERAT/ Unesp, em especial: Juliana Eburneo, Thaís Paes, Elder Mattos, Luiz, Jason e Politon pela ajuda e amizade.

Aos meus amigos da pós-graduação e da vida, Jonath Veríssimo e Michelly Alves, pela amizade sincera e por tudo o que fizeram por mim.

À minha querida Tia Cícera (*In memoriam*), que em vida incentivou-me e acreditou no meu potencial.



## RESUMO

O uso de fertilizantes orgânicos foi introduzido como uma alternativa ecologicamente segura para aumentar a produtividade e melhorar a performance das culturas, substituindo ou complementando a adubação mineral. No entanto, há poucas informações sobre o uso destes produtos na qualidade das culturas, sobretudo as de uso industrial como a mandioca. Nesta linha, o objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho agrônômico e a qualidade industrial da mandioca em resposta a métodos de adubação, conduzida sob irrigação controlada e em sequeiro em duas safras de cultivo. O estudo foi desenvolvido em condições de campo. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso sob esquema fatorial 2 x 5, com cinco repetições. Os tratamentos consistiram no plantio da mandioca para indústria sob 5 (cinco) combinações de adubação organomineral (T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Aminoácidos, T4 – NPK + Ácidos húmicos, T5 – NPK + Aminoácidos + Ácidos húmicos), entre 2 (dois) sistemas de cultivo: irrigado (IR) e sequeiro (SQ), respectivamente. A lâmina diária aplicada foi baseada na estimativa da evapotranspiração da cultura para os tratamentos irrigados. Em sequeiro, a umidade do solo foi avaliada por meio do método gravimétrico. As avaliações englobaram o índice relativo de clorofila nas folhas (índice SPAD), altura, diâmetro das hastes e a diagnose foliar com as culturas no campo. Após a colheita, foi analisado o acúmulo e partição de matéria seca nas hastes, cepas e raízes tuberosas, assim como a extração de nutrientes pelas raízes; o número, comprimento, diâmetro, produtividade total das raízes e os componentes de qualidade físico-químicos: teores de umidade, fibra bruta, cinzas, amido, açúcares redutores, proteínas, acidez e pH. Conclui-se que a adubação integrada de NPK com ácido húmico ou ácido húmico+aminoácidos aumenta o crescimento, a produtividade da mandioca e melhoram a qualidade físico-química das raízes quando combinados com irrigação, e o esterco bovino sob as duas formas de cultivo. A adubação com esterco, ou ácidos húmicos+aminoácidos influencia no teor e partição de matéria seca, e diâmetro das raízes. Teores de magnésio, boro, ferro e zinco são elevados com a irrigação associada a adubação de NPK e aminoácido, e os teores de cálcio e magnésio com o uso do esterco bovino. A irrigação eleva os índices de produtividade de 19.67 a 20.65% em relação ao cultivo sob sequeiro; expande o diâmetro das raízes, mas diminui o teor de fibras, açúcares redutores e acidez. Nenhum dos tratamentos causaram indícios de deterioração das raízes

**Palavras-chave:** adubação orgânica; aminoácidos; ácidos húmicos; irrigação; produtividade.

## ABSTRACT

The use of organic fertilizers was introduced as an ecologically safe alternative to increase productivity and improve crop performance, replacing or complementing mineral fertilization. However, there is little information about the use of these products in the quality of crops, especially those for industrial use such as cassava. In this line, the objective of this work was to compare the agronomic performance and industrial quality of cassava in response to fertilization methods, conducted under controlled irrigation and in rainfed conditions in two cropping cycles. The study was carried out under field conditions. The experimental design was in randomized blocks under a 2 x 5 factorial scheme, with five replications. The treatments consisted of planting cassava for industry under 5 (five) combinations of organomineral fertilization (T1 – NPK/Control, T2 – NPK + Bovine manure, T3 – NPK + Amino acids, T4 – NPK + Humic acids, T5 – NPK + Amino acids + Humic acids), between 2 (two) cultivation systems: irrigated (IR) and rainfed (SQ), respectively. The daily depth applied was based on the estimate of crop evapotranspiration for the irrigated treatments. In rainfed, soil moisture was evaluated using the gravimetric method. The evaluations encompassed the relative chlorophyll index in the leaves (SPAD index), height, stem diameter and foliar diagnosis with the crops in the field. After harvesting, the accumulation and partition of dry matter in the stems, strains and tuberous roots, as well as the extraction of nutrients by the roots, were analyzed; the number, length, diameter, total productivity of the roots and the physical-chemical quality components: moisture content, crude fiber, ash, starch, reducing sugars, proteins, acidity and pH. It is concluded that the integrated fertilization of NPK with humic acid or humic acid+amino acids increases the growth, the productivity of cassava and improves the physicochemical quality of the roots when combined with irrigation, and the cattle manure under the two forms of cultivation. Fertilization with manure, or humic acids+amino acids influences the dry matter content and partition, and root diameter. Magnesium, boron, iron and zinc contents are increased with irrigation associated with NPK and amino acid fertilization, and calcium and magnesium contents with the use of cattle manure. Irrigation raises productivity rates from 19.67 to 20.65% in relation to rainfed cultivation; expands the diameter of the roots, but decreases the fiber content, reducing sugars and acidity. None of the treatments caused evidence of root deterioration.

**Keywords:** organic fertilization; amino acids; humic acids; Irrigation; productivity.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Distribuição dos tratamentos em função do sistema de condução para a cultura da mandioca industrial .....28
- Figura 2 - Dados ambientais de precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e  $E_{To}$  -Evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ;  $\text{mm mês}^{-1}$ ) durante os períodos de condução experimental.....33
- Figura 3 - Dados ambientais de temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ) e Umidade relativa (%) durante os períodos de condução experimental.....34
- Figura 4 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) na altura das hastes de plantas de mandioca para indústria (A) safra 1, aos 120 dias; (B) safra 2 aos 90 e 120 DAP.....41
- Figura 5 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) nos teores de macro e micronutrientes na folha diagnose da mandioca para indústria na safra 1 .....44
- Figura 6 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) nos teores de macro e micronutrientes na folha diagnose da mandioca para indústria na safra 2 .....46
- Figura 7 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no acúmulo de matéria seca (A) e partição de matéria seca (B) na mandioca para indústria na safra 1 .....49
- Figura 8 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no acúmulo de matéria seca (A) e partição de matéria seca (B) na mandioca para indústria no safra 2 .....51
- Figura 9 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no acúmulo de nutrientes em raízes de mandioca para indústria na safra 1.....55
- Figura 10 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no acúmulo de nutrientes em raízes de mandioca para indústria na safra 2.....56
- Figura 11 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no diâmetro e na produtividade de raízes de mandioca para indústria na safra 1 .....59
- Figura 12 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no diâmetro e na produtividade de raízes de mandioca para indústria na safra 2 .....59

Figura 13 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) na composição físico-química de raízes de mandioca para indústria na safra 1 .....	63
Figura 14 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) na composição físico-química de raízes de mandioca para indústria na safra 2. ....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização dos tratamentos relativos às fontes de adubação orgânica e mineral.....	27
Tabela 2 - Caracterização das propriedades químicas do solo utilizado.....	29
Tabela 3 - Caracterização das propriedades físicas do solo utilizado.....	29
Tabela 4 - Composição química dos fertilizantes a utilizados .....	30
Tabela 5 - Composição química do aminoácido utilizado.....	31
Tabela 6 - Índice relativo de clorofila nas folhas, diâmetro e altura das hastes de plantas de mandioca para indústria aos 120 DAP em função fontes de adubação e sistemas de cultivo aos 90 e 120 DAP, em duas safras .....	40
Tabela 7 - Teores médios de macronutrientes na folha diagnose da mandioca para indústria em função fontes de adubação e sistemas de cultivo na safra 1 .....	43
Tabela 8 - Acúmulo de matéria seca na cepa e partição de matéria seca na raiz de mandioca para indústria em função fontes de adubação e sistemas de cultivo, em duas safras.....	48
Tabela 9 - Acúmulo de macro e micronutrientes em raízes de mandioca para indústria em função fontes de adubação e sistemas de cultivo, em duas safras....	54
Tabela 10 - Comprimento de raízes de mandioca para indústria entre fontes de adubação e regimes de irrigação, em duas safras .....	58
Tabela 11 - Composição físico-química de raízes de mandioca para indústria entre fontes de adubação e regimes de irrigação, em duas safras .....	62



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>22</b>
2.1	Importância da mandioca industrial	22
2.2	Adubação orgânica e mineral	23
2.3	Irrigação para a mandioca	24
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>27</b>
3.1	Localização e caracterização da área experimental	27
3.2	Delineamento e caracterização dos tratamentos	27
3.3	Características avaliadas	35
3.4	Análise estatística dos dados	38
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>39</b>
4.1	Índice SPAD, diâmetro e altura de hastes	39
4.2	Diagnose foliar: estado nutricional	42
4.3	Acúmulo e partição de matéria seca (MS)	47
4.4	Extração de nutrientes pelas raízes tuberosas	54
4.5	Número, comprimento, diâmetro e produtividade de raízes tuberosas	57
4.6	Componentes físico-químicos de qualidade	61
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>69</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A pandemia da COVID-19 que recentemente atingiu o mundo, trouxe exemplos claros do quão importante a agricultura é na economia de um país. Enquanto diversos seguimentos foram forçados a cessar suas atividades, a agricultura foi a principal encarregada por manter as famílias alimentadas e tem sido determinante na manutenção da economia mundial.

Somado a isso, as mudanças climáticas que têm dificultado a sustentabilidade dos cultivos pelo mundo, pressiona a busca por culturas que sejam resistentes. Porém, estes acontecimentos demonstraram que não basta investir apenas em culturas resilientes às alterações ambientais, mas é imperioso aumentar seus rendimentos para sustentar o mercado, gerar receita e alimentar a população.

Culturas como a mandioca, exceto em épocas de frio presentes na região Sudeste e Sul brasileiras, resistem a ambientes restritivos como a seca e solos extremamente pobres, mas não é o bastante. É preciso investir em tecnologias que busquem aumentar a produtividade de maneira sustentável, como o uso da irrigação controlada que além de gerar economia de água, garante o cultivo o ano inteiro.

Isso é extremamente importante principalmente nos tempos atuais onde culturas como a mandioca são valiosas por serem um alimento básico e de fácil alcance. Suas raízes são matéria-prima essencial para o sustento de pequenos agricultores que dependem da atividade.

Entretanto, a mandioca não se restringe a um alimento básico, mas uma cultura completa, de modo que as todas as partes da planta podem ser utilizadas em diversas finalidades. De suas raízes é extraído o amido, seu principal componente, que é usado para fins farmacêuticos, alimentícios, têxteis, bioenergético, papel e biofilme para confecção de embalagens.

Apesar disso, para muitos produtores o tempo prologado no cultivo da mandioca pode ser uma desvantagem. Grandes áreas exigem culturas de ciclo curto para gerar retorno rápido e atender a demanda das exportações. É por isso que os espaços físicos têm sido limitados para estas finalidades, mas isso não impede que sejam alcançados patamares maiores de produção mesmo em áreas mais restritas.

Dados da FAOSTAT (2020) apontam que o Brasil reduziu a área plantada de mandioca quando comparado aos anos anteriores em mais de 61 mil hectares. Ainda

assim, recentemente, obteve um aumento médio de 290 kg por hectare plantado que permitiu que o país se tornasse o quinto maior produtor de mandioca do mundo, ficando atrás apenas da Nigéria, Tailândia, República Democrática do Congo e Ghana.

O potencial produtivo da cultura tem chamado atenção e é por essa razão que estudos têm sido desenvolvidos para entender, por exemplo, o papel da nutrição mineral na mandioca (Byju; Suja, 2020), técnicas de adubação (Ezui et al., 2017; Kang et al., 2020), resistência a seca (Connor, 2019; Duque; Setter, 2019), irrigação (Borges Vitor, 2019), interação do ambiente na qualidade e produção de amido (Tappiban et al., 2020) e temperatura (FORBES et al., 2020). Estes resultados têm dado suporte às novas técnicas de produção da mandioca.

Apesar disso, muitos cultivos ainda são marginalizados e ainda desprovidos de tecnologia adequada, com uso mínimo de insumos e sem irrigação, que acabam ocultando o potencial de exploração da cultura (BURNS et al., 2010; XU et al., 2013; MATOS et al., 2016). Nessas áreas, os cultivos em solos naturalmente pobres dificultam o alcance de resultados de produção que permitam a manutenção satisfatória da atividade.

Além do uso reduzido de insumos, condições de déficit de chuvas limitam a produtividade, alongam o ciclo e dificultam a sua exploração (LABAN et al., 2013; TURGYAGYENDA et al., 2013; ADJEBENG-DANQUAH et al., 2016). Nestas condições, ocorre a redução da área foliar que dificulta a interceptação de luz para o processo fotossintético, interferindo diretamente no crescimento da planta (ZHAO et al., 2014).

Beeching (2013) buscando aumentar a resposta da cultura por meio da adoção de práticas agrícolas, demonstrou que a mandioca sob boas condições agrônômicas pode facilmente produzir mais de 90 toneladas por hectare, o que pode torná-la uma *commodity* valiosa para a produção de produtos industrializados.

O uso da irrigação na mandioca demonstrou respostas benéficas no vigor e produtividade da planta (OKOGBENIN et al., 2013; De TARSO et al., 2015). Lopes et al. (2010) avaliando o suprimento hídrico na mandioca, aumentou em 39% e 14% os índices de área foliar e altura, e 27% no teor de amido em comparação ao cultivo de não irrigado.

Trabalhos como o de Janzen et al. (1992) apontara que a adoção de materiais orgânicos no solo como suprimento nutricional poderia trazer benefícios a curto e médio prazo, uma vez que a adubação mineral por si só poderia ocasionar o

esgotamento da fertilidade do solo natural ao longo do tempo porque a produtividade do solo diminui quando a matéria orgânica do solo diminui. Nesta linha, pesquisas têm demonstrado respostas imediatas à produtividade e qualidade físico-química da mandioca ao uso de esterco bovino (Silva, 2018), esterco avícola (Rós et al., 2013), uso de biofertilizante e adubação verde em comparação à adubação mineral no plantio (OLIVEIRA et al, 2018).

Recentemente, experimentos têm sido desenvolvidos a partir do uso de produtos à base de ácidos húmicos (SH) e aminoácidos (AA), ambos provenientes de resíduos orgânicos. Estes produtos são usados em quantidades mínimas e uma vez combinados com a adubação mineral podem fornecer benefícios como ampliar a capacidade fotossintética da planta, resultando no aumento do crescimento vegetal e na resistência à estresses bióticos e abióticos, na modulação do desenvolvimento de características de qualidade da cultura, estímulo do uso eficiente de nutrientes através do aumento do sistema radicular e conseqüente aumento do rendimento agrícola (DU JARDIN, 2015; BULGARI et al., 2019).

Todavia, a eficiência do uso de fertilizantes orgânicos ou minerais são dependentes da disponibilidade de água e embora exista uma base de conhecimento satisfatória sobre a implementação do suprimento hídrico por meio da irrigação para a cultura da mandioca, a interação da irrigação com práticas de manejo relacionadas com o uso de fertilizantes ainda necessita ser analisada (LOPES et al., 2010).

Dessa forma, em função do exposto, a hipótese é de que o uso da irrigação associado à adubação combinando componentes orgânicos e minerais na cultura da mandioca poderia ser uma estratégia para aumentar o crescimento das plantas, melhorar a eficiência do uso dos nutrientes bem como a produtividade e a composição físico-química de raízes de mandioca.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o potencial da irrigação em associação às adubações orgânica e mineral no desempenho agrônômico referente à produtividade e também na qualidade industrial da mandioca. Para tanto, adotaram-se combinações de fertilizantes orgânicos e minerais, submetendo a cultura da mandioca para indústria em cultivo sob irrigação controlada e de sequeiro.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância da mandioca industrial

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura que fornece energia alimentar na forma de carboidrato. Se destacou na agricultura mundial e é agora uma matéria-prima multivalente para as prioridades dos países em desenvolvimento, atendendo as tendências da economia global e aos desafios das mudanças climáticas (LOBELL et al., 2008; HOWELER et al., 2013).

A rusticidade da espécie às adversidades ambientais, é um atributo capaz de posicioná-la como uma das melhores alternativas para o futuro da população mundial em crescimento. O uso industrial é o setor que mais agrega valor, por ser a fonte de amido para mais de 300 produtos (JANSSON et al., 2009; PAPONG et al., 2014).

O amido é um componente biodegradável, barato, renovável e abundantemente disponível, encontrado em diversos produtos vegetais, sobretudo, em raízes e tubérculos (HONG et al., 2016). Possui diversas aplicações industriais como agente espessante, estabilizador coloidal e gelificante (DENARDIN; SILVA, 2009). Sendo o destino deste produto variável quanto a região de produção, seguindo para o setor alimentício com 69,0% do consumo e para as indústrias farmacêutica, papel e celulose, química e têxtil (VILPOUX; CEREDA, 1995)

O Brasil ocupa um papel de destaque na produção de amido. Portanto, o desenvolvimento de novos materiais a partir deste componente possui importância tecnológica, social e acadêmica (MIRANDA; CARVALHO, 2011).

Apesar da sua importância, a produção de mandioca continua limitada por restrições de fertilidade do solo e a seca extrema. Assim, a sua produção pode ter grande variação dependendo da área e práticas de manejo agrícola (WADDINGTON et al., 2010; CAMPO et al., 2011).

A mandioca devido a sua capacidade de produzir rendimentos aceitáveis onde outras safras não se sustentam, levou muitos a acreditar que a fertilidade do solo e a irrigação não eram importantes. No entanto, pesquisas demonstraram que quando variedades melhoradas são cultivadas sem fertilizante e sem irrigação, estes parâmetros são os principais responsáveis pela redução da produtividade e do desempenho fisiológico da planta (FENING et al., 2009; DELAQUIS et al., 2018).

No Brasil, os cultivos de mandioca e seus tratamentos culturais são realizados de maneira ainda rudimentar. Com a deficiência na administração, a cultura pode absorver apenas 30 a 40% de nutrientes a depender do tipo de fertilizante aplicado, resultando em grandes perdas para o ambiente (IAEA, 2008; EZUI et al., 2015). Como agravante, o déficit hídrico em condições de sequeiro, entre 30 a 150 dias após o plantio pode reduzir a produtividade da mandioca em até 62% (FUKUDA; IGLESIAS, 1995). A adoção da irrigação pode ser um recurso importante para a manutenção da cultura no campo (OLIVEIRA, 2014).

## **2.2 Adubação orgânica e mineral**

Mudanças recentes nas economias devido ao processo de urbanização têm ofertado oportunidades e impulsionado a demanda de mandioca em maior escala para diversos seguimentos. O problema é aumentar a produtividade comercial de maneira proporcional à exigência do mercado (BENNETT, 2015).

De maneira geral, a agricultura tem enfrentado paradigmas desafiantes no contexto da produção sustentável. Esse cenário diz respeito ao aumento da produção para atender a demanda mundial de alimentos ao mesmo tempo em que se reduz o impacto ambiental nos ecossistemas.

Neste contexto, o uso de insumos naturais foi introduzido como uma alternativa segura e ecologicamente correta para aumentar a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas, melhorar a qualidade dos produtos e garantir produtividades desejadas (COLLA; ROUPHAEL, 2015; ROUPHAEL et al., 2017).

Isso porque o uso exclusivo de fertilizantes minerais em condições adversas pode promover risco de perdas por lixiviação, fixação e volatilização. Além disso, ao longo do tempo, ocorre uma redução considerável na saúde do solo e do ambiente, que desencadeiam o aumento do custo e o declínio parcial da produtividade, causando um efeito inverso do que se deseja (SINGH et al., 2016).

Para solucionar estes entraves, avanços neste seguimento vêm permitindo a redução no uso exclusivo de insumos químicos sem afetar o rendimento das culturas ou a renda do produtor (CHBANI et al., 2013; PRAMANICK et al., 2017). Para tanto, novas alternativas em adubação que propõem a associação entre fontes orgânicas e minerais têm mostrado efeitos positivos nos rendimentos por unidade de área em diversas lavouras (BRAZINSKIENE; GAIVELYTE, 2016; ILLERA-VIVES et al., 2017).

Esse método pode ser realizado combinando fontes minerais com matérias-primas orgânicas como esterco, turfas, resíduos vegetais, resíduos da indústria sucroalcooleira e tortas diversas (RAMOS et al., 2017). Estas fontes, tradicionalmente subutilizadas tornam-se interessantes com vantagens ambiental e econômica (CASSITY-DUFFEY et al., 2015; MAFRA et al., 2015; CORREA et al., 2016).

Este seguimento se expande na agricultura por questões ambientais uma vez que os benefícios desta associação podem proporcionar um sincronismo dos atributos positivos de cada fonte (REDDING et al., 2016).

Os esterco bovinos, por exemplo, são amplamente utilizados nas agriculturas de base orgânica, pois é consensual que o uso de fertilizantes sintéticos por si só não é uma opção eficiente para restaurar a fertilidade do solo (DRUILHE; BARREIRO-HURLÉ, 2012). Uma vantagem é que estão prontamente disponíveis para pequenos produtores e são ricos em substâncias húmicas, N, P e S (SILESHI et al., 2017).

De modo semelhante, produtos comerciais provenientes de resíduos orgânicos tendo como base substâncias húmicas ou aminoácidos ganharam destaque e podem ser utilizados sob pequenas quantidades por meio de pulverizações foliares ou no solo (COLLA et al., 2015; ERTANI et al., 2015; SANTI et al., 2017).

Pesquisas demonstram que estes produtos são capazes de ativar vários mecanismos a nível de solo e inúmeras vias metabólicas das plantas (Amirkhani et al., 2016) como a indução da fotossíntese, crescimento, absorção de nutrientes e melhor aproveitamento da água (Yakhin et al., 2017; Caradonia et al., 2019) mesmo quando a planta é submetida a algum estresse abiótico como a seca (BULGARI et al., 2019; DU JARDIN et al., 2020).

A mandioca ainda necessita de estudos que busquem práticas e alternativas tecnológicas para aumentar a sua produtividade, bem como agregar valor ao produto. Considerando as condições em que a cultura é geralmente cultivada, o uso da adubação organomineral pode ser alternativa interessante para o cultivo sustentável, aumentar a oferta do produto no mercado e, portanto, a receita do produtor.

### **2.3 Irrigação para a mandioca**

A distribuição desigual das precipitações decorrente das variações climáticas estabeleceu a irrigação como prática necessária à agricultura moderna. Isso significa

que a agricultura irrigada tem sido conduzida para driblar a escassez hídrica (NIJUKI et al., 2018).

Nas regiões semiáridas onde se concentram os maiores cultivos de mandioca, as diferenças entre os requisitos de precipitação e de água para irrigação são relevantes e por essa razão o manejo da irrigação é prioritário (IDAE, 2005). As informações referentes a solo, planta e atmosfera são primordiais para gerenciar adequadamente os requisitos de irrigação das culturas (PUERTO et al., 2013).

Isso porque a disponibilidade da água também é um dos principais limitantes de produtividade. Ela é responsável pelo transporte e absorção de nutrientes, além de ser o meio de reações bioquímicas na planta. Sua escassez ou excesso afetam diretamente o desenvolvimento e a saúde da cultura (YINGDONG et al., 2018). Porém, o grande desafio é equilibrar a segurança hídrica com a segurança alimentar, sobretudo, nos cultivos emergentes de grãos e tubérculos como milho, feijão, batata-doce e mandioca.

No que diz respeito a mandioca, apesar de ser uma cultura considerada tolerante às condições de baixa disponibilidade hídrica, quando períodos de escassez de água e altas temperaturas atingem plantas de mandioca nas fases iniciais, a diminuição na produtividade de raízes tuberosas pode variar de 32 a 60% (Adjebeng-Danquah et al., 2016) acarretando prejuízos para muitos produtores que não dispõem de sistemas para irrigação (FIUZA et al., 2009).

Zanetti (2016) ao avaliar o comportamento da cultura em condições de déficit, constatou reduções em todas as variáveis morfológicas e na produtividade final da mandioca, bem como afetou a anatomia das folhas e apresentou modificações no teor de nutrientes na planta. Assim, baixos rendimentos de raízes implicariam principalmente na baixa produção do amido, comprometendo as cadeias industriais dos ramos alimentício, farmacêutico, têxtil, papel e até bioenergético.

As condições impostas aos cultivos de mandioca em relação a disponibilidade reduzida de água, em sua maioria, são as motivações para as baixas produtividades encontradas. A irrigação é um dos agentes que permite o sucesso das adubações, uma vez que acelera as reações químicas no solo que disponibilizam os nutrientes como N e K às plantas, melhorando o desempenho fisiológico que resulta na maior produção de fotoassimilados, que são estocados nas raízes na forma de açúcares e principalmente de amido (WESTERMANN et al., 1994)

Estas informações são importantes, pois, o cultivo irrigado da mandioca além de garantir colher raízes com ótima qualidade, agrega valor ao produto, confere maior produtividade de raízes e de amido, reduz substancialmente o tempo de colheita e garante a disponibilidade do produto durante todo o ano (TÁVORA; BARBOSA FILHO, 1994).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em vasos a céu aberto, na Fazenda Experimental Lajeado da FCA/UNESP, Botucatu-SP, situada a 22°52'S 48°26' W e altitude de 786 m. O clima local é definido como subtropical, com verão quente e úmido, temperatura média e precipitação anual em torno de 21°C e 1.358 mm, respectivamente (SANTOS; ESCOBEDO, 2016).

#### 3.2 Delineamento e caracterização dos tratamentos

A condução do ensaio ocorreu nos períodos de outubro/2019 a agosto/2020 (safra 1) e de novembro/2020 a setembro/2021 (safra 2), perfazendo duas safras, utilizando um delineamento experimental em blocos ao acaso sob esquema fatorial 2 x 5, com cinco repetições.

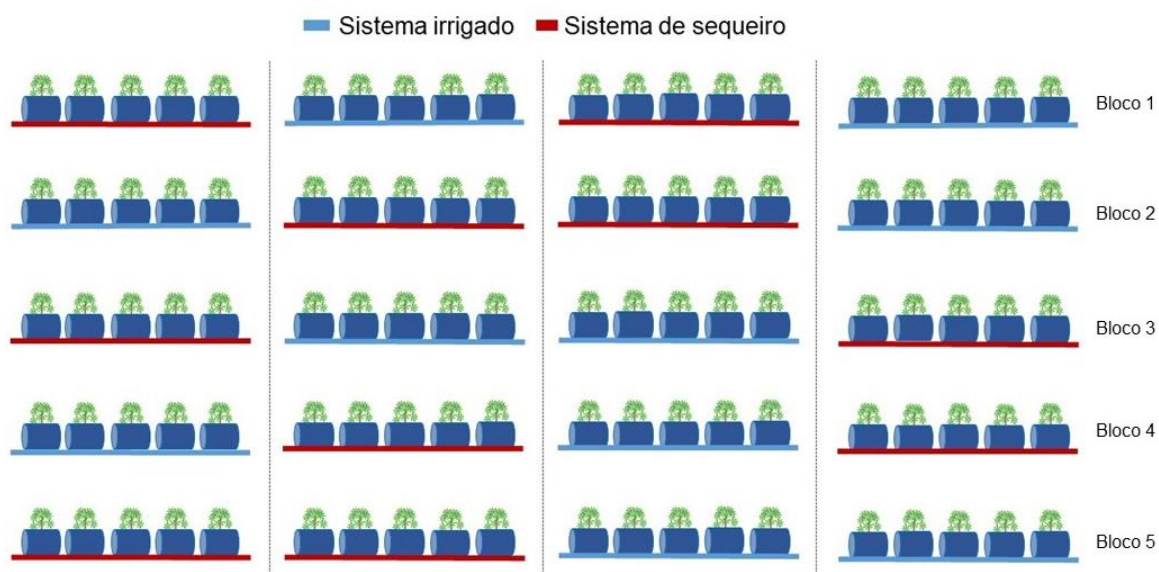
Os tratamentos consistiram no plantio da mandioca para indústria sob 2 (dois) sistemas de condução: sequeiro (SQ) e irrigado (IR), sendo 5 (cinco) combinações de adubação envolvendo fonte mineral e orgânica, descritas na Tabela 1. O esquema de distribuição dos tratamentos referente ao sistema de condução, é demonstrado na Figura 1.

**Tabela 1 - Caracterização dos tratamentos relativos às fontes de adubação orgânica e mineral**

Tratamentos	Descrição	Forma de aplicação do tratamento
T1	Testemunha	Via solo (plantio)
T2	Esterco bovino	Via solo (plantio)
T3	Ácidos húmicos	60 DAP (Via Solo)
T4	Aminoácidos	60 DAP (Via Foliar) até 180 DAP
T5	Ac. Húmicos + Aminoácidos	AH - 60 DAP (Via Solo) + AA 60 até 180 DAP (Via Foliar)

\*DAP – Dias após o plantio da cultura em campo; AH – Ácidos húmicos; AA – Aminoácidos. \*\*Todos os tratamentos receberam adubação mineral de base contendo NPK+Zn.

**Figura 1 Distribuição dos tratamentos em função do sistema de condução para a cultura da mandioca industrial**



Fonte: arquivo pessoal.

### 3.2.1 Instalação e condução do experimento

Para a instalação do experimento, foram realizadas amostragens de solo na camada de 0-20 cm de profundidade, para análise das características físicas (amostra indeformada) e para a determinação das características químicas (RAIJ et al., 2001).

De posse dos resultados, antes do plantio, efetuaram-se as correções pertinentes elevando a saturação por bases em torno de 50% (V%) e, após 30 dias de incubação, mantendo o solo na capacidade de campo por meio do método de gravimetria com o intuito de acelerar as reações químicas, foi realizada uma nova amostragem para a caracterização química do solo após a correção. Os resultados são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente

**Tabela 2 - Caracterização das propriedades químicas do solo utilizado**

Parâmetros <sup>(1)</sup>	Unidade	Safra 1	Safra 2
pH	CaCl <sub>2</sub>	6.0	6.1
Matéria orgânica	g dm <sup>-3</sup>	18.7	18.0
Fósforo resina	mg dm <sup>-3</sup>	97.0	81.0
H + Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7.0	10.0
Potássio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3.3	3.8
Cálcio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	29.8	33.0
Magnésio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	13.1	14.0
Soma de Bases	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	46.5	51.0
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	82.0	87.0
Saturação de bases	%	72.0	76.0
Enxofre	mg dm <sup>-3</sup>	10.0	15.0
Boro	mg dm <sup>-3</sup>	0.23	0.25
Cobre	mg dm <sup>-3</sup>	0.6	0.53
Ferro	mg dm <sup>-3</sup>	14.0	14.0
Manganês	mg dm <sup>-3</sup>	0.1	0.2
Zinco	mg dm <sup>-3</sup>	3.1	4.0

**Fonte:** laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, SP. <sup>(1)</sup>Profundidade de coleta 0-20 cm para amostragem. As análises foram realizadas de acordo com o método proposto por van Raij et al. (1997).

**Tabela 3 - Caracterização das propriedades físicas do solo utilizado**

Parâmetros <sup>(1)</sup>	Unidade	Safra 1	Safra 2
Densidade do solo <sup>(2)</sup>	g cm <sup>-3</sup>	1.18	1.12
Densidade de partículas <sup>(3)</sup>	g cm <sup>-3</sup>	2.50	2.44
Retenção de água	-	-	-
Saturado	dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup>	0.54	0.53
0.10 atm	dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup>	0.27	0.26
0.33 atm	dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup>	0.22	0.22
Areia	%	64.8	66.9
Silte	%	6.20	5.72
Argila	%	25.0	21.0

**Fonte:** laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, SP. <sup>(1)</sup>Profundidade de coleta 0-20 cm para amostragem. As análises foram realizadas de acordo com o método proposto por van Raij et al. (1997). <sup>(2)</sup> Densidade do solo obtida pelo método do anel (EMBRAPA, 2006); <sup>(3)</sup> Densidade de partículas obtida pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 2006).

Após o processo de correção, o solo caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico textura franco-argilosa (EMBRAPA, 2006) foi distribuído em recipientes com capacidade para 250 kg e foi realizada uma adubação mineral de base com NPK+Zn (Nitrogênio, fósforo, potássio e Zinco) em cada um destes, de modo que o solo atingisse as características químicas adequadas para a condução da cultura.

Os fertilizantes usados nas adubações de base e complementares são descritos na Tabela 4, sendo as quantidades aplicadas em conformidade com as recomendações técnicas e a partir das exigências da cultura (RAIJ et al., 1997; RAIJ et al, 2001).

As aplicações do ácido húmico e do aminoácido seguiram as recomendações dos fabricantes que foram de 10 L ha<sup>-1</sup> e de 1% diluído em água (10 ml L<sup>-1</sup>), respectivamente. A caracterização do aminoácido é demonstrada na Tabela 5.

**Tabela 4 - Composição química dos fertilizantes a utilizados**

<b>Produto</b>	<b>Composição</b>
Ureia	45% de N
Superfosfato Triplo	40% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Cloreto de Potássio	60% de K <sub>2</sub> O
Sulfato de Zinco	9% de S e 21% de Zn
Esterco bovino	1.62% de N; 1.21% de P; 0.74% de K; 22% de Carbono orgânico; 33% de Matéria Orgânica
K-Humate®	0.5% de N; 1.6% de P; 1.21% de K; 12% de Carbono orgânico; 9.8% de Matéria orgânica; 8% de ácidos húmicos; 1% de ácidos fúlvicos

**Fonte:** laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, SP.

**Tabela 5 - Composição química do aminoácido utilizado**

<b>Composição química</b>	<b>Unidade</b>	<b>Resultado</b>
pH	-	6.5
Nitrogênio	g 100g <sup>-1</sup>	14.44
Calcio		0.159
Fosforo total		105.70
Potássio	mg kg <sup>-1</sup>	257.8
Magnésio		80.75
Ferro		121.1
Cromo		≤ 5.0
Arsênio	ppm	≤ 1.0
Sulfito (SO <sub>2</sub> )		≤ 4.0
Cinzas	%	≤ 2.0
<b>Aminoácidos</b>		
Alanina		8.09
Arginina		7.02
Ácido aspártico		5.32
Glicina		22.90
Isoleucina		1.30
Leucina		2.74
Ácido Glutâmico		2.66
Lisina (A.A)	(g 100g <sup>-1</sup> )	3.37
Metionina		1.41
Fenilalanina		1.69
Tirosina		0.53
Treonina		1.16
Prolina		12.85
Valina		1.88
Histidina		0.53
Serina		2.66

**Fonte:** Análise cedida pelo fabricante, realizada no laboratório IBRA (Sumaré-SP, 2019).

A quantidade de esterco aplicada foi de 300g por recipiente tomando como base a recomendação da adubação com Nitrogênio para a cultura, que foi calculada por meio da equação proposta por GATIBONI; NICOLOSO (2019):

$$\text{Dose (t ha}^{-1}\text{)} = \text{QRN} / [(\text{MS}/100) \times \text{C} \times (\text{IE}/100)]$$

Em que:

Dose = quantidade de adubo orgânico a ser aplicada no solo

QRN = quantidade recomendada do nutriente (10 kg ha<sup>-1</sup>)

MS = porcentagem de matéria seca do fertilizante orgânico sólido: 38%

IE = índice de eficiência agrônômica do fertilizante: 30%

Antes do plantio, foi realizado o tratamento fitossanitário, as quais permaneceram imersas em uma mistura contendo água e hipoclorito de sódio por 2 minutos, sendo semeada em cada recipiente 1 (uma) maniva-semente da cultivar cv. IAC 13 com 20 cm de comprimento, retiradas do terço médio das hastes de plantas adultas (Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2017). Por fim, os fertilizantes utilizados nos tratamentos anteriormente descritos foram aplicados no momento oportuno.

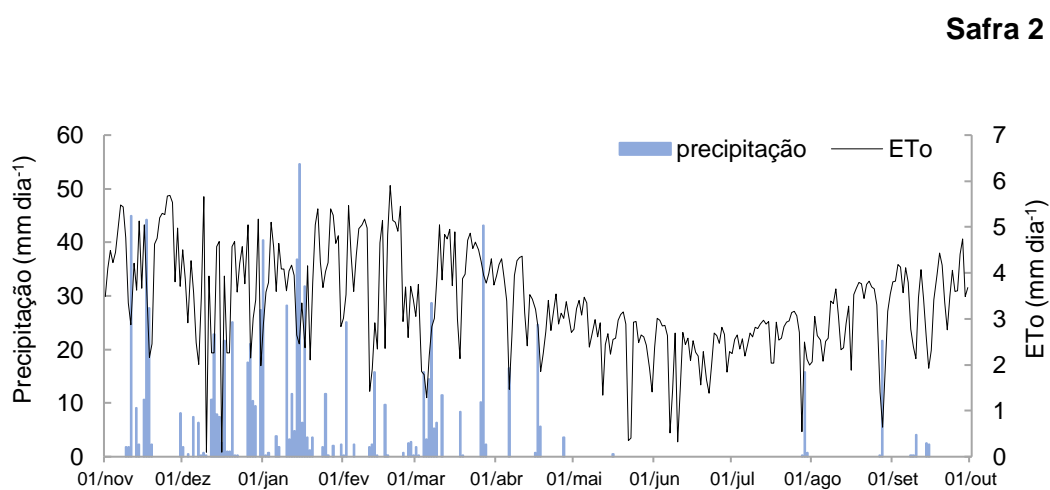
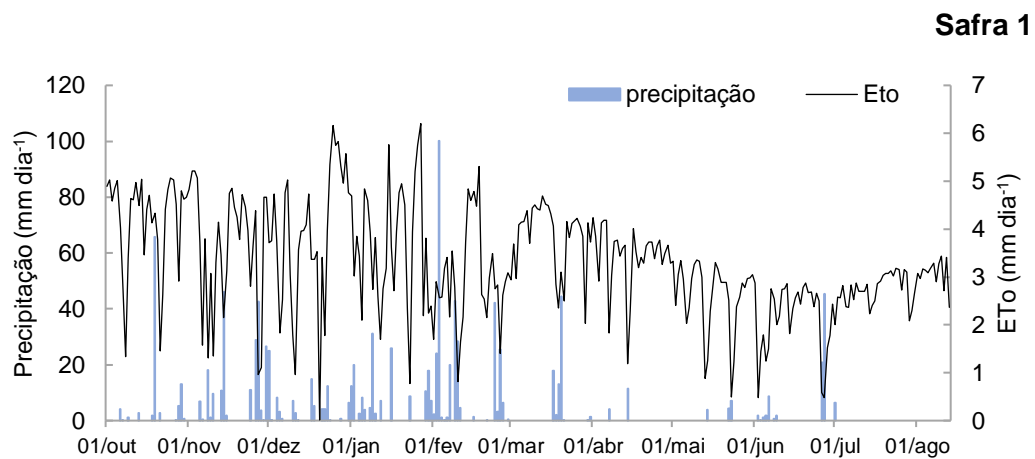
Vale ressaltar que todos os procedimentos de análise e correção do solo foram realizados seguindo o mesmo protocolo anteriormente descrito, nos dois períodos de cultivo. O solo foi retirado do mesmo local, os fertilizantes utilizados foram os mesmos e, as manivas foram tratadas e plantadas no mesmo dia da coleta no campo.

### **3.2.2 Manejo da irrigação**

Os dados meteorológicos diários de temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), foram obtidos por estação meteorológica automática localizada próximo à área experimental.

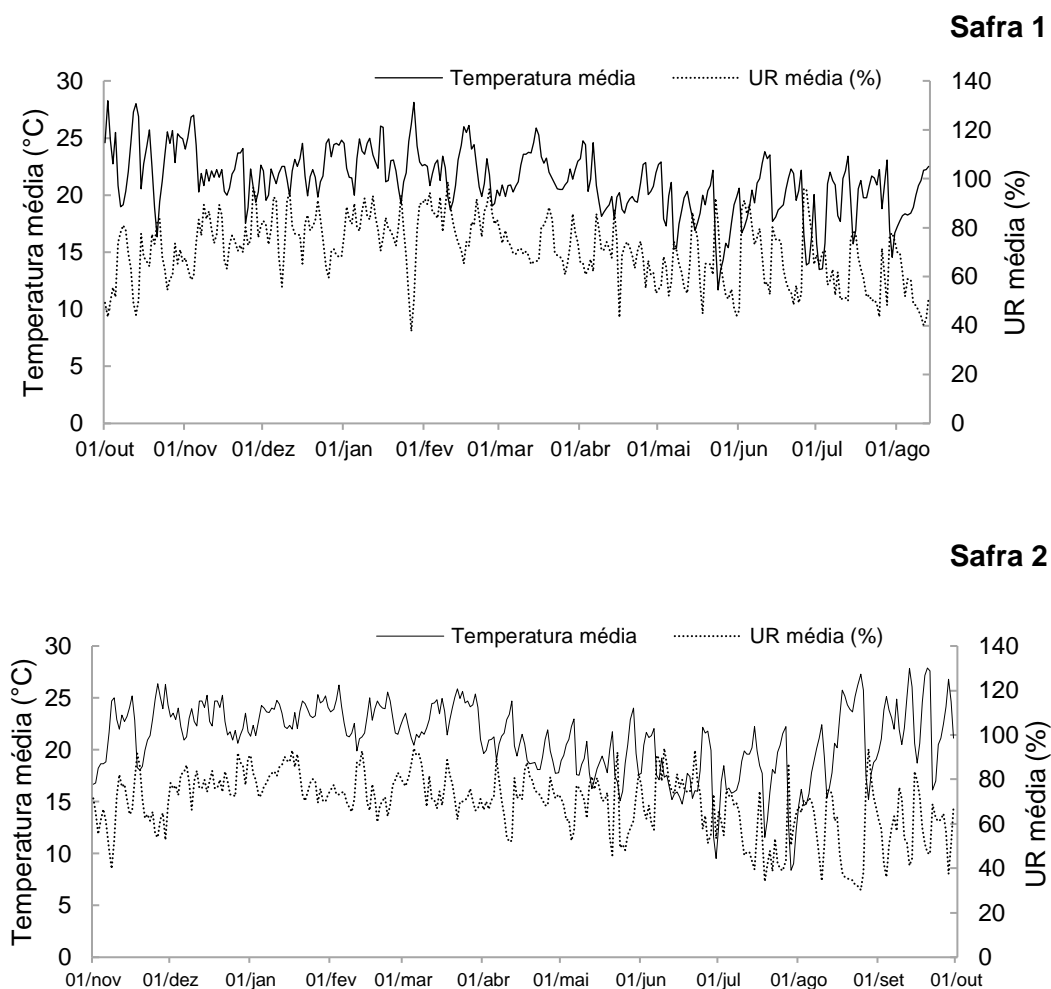
Os dados meteorológicos coletados durante os dois períodos de condução do experimento são demonstrados nas Figuras 2, 3 e 4, respectivamente.

**Figura 2 – Dados ambientais de precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e ETo - Evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e Evapotranspiração da cultura (ETc;  $\text{mm mês}^{-1}$ ) durante os períodos de condução experimental**



**Fonte: próprio autor**

**Figura 3 - Dados ambientais de temperatura média diária (°C) e Umidade relativa (%) durante os períodos de condução experimental**



**Fonte:** próprio autor.

No plantio irrigado, a lâmina de irrigação diária ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) foi quantificada a partir do produto entre a evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) e o coeficiente da cultura ( $Kc$ ), obtendo a Evapotranspiração da cultura ( $Etc$ ) conforme proposto por Allen et al. (1998), e aplicada utilizando dois gotejadores autocompensantes em cada planta com vazão nominal de  $4,0 \text{ L h}^{-1}$  cada um. O sistema apresentou coeficiente de uniformidade (CUC) de 91,20%, percentual obtido por testes realizados conforme metodologia proposta por Keller; Bliesner (1990). As equações utilizadas são descritas a seguir:

$$ETc = ET_o \times Kc$$

Em que:

( $ET_o$ ) - evapotranspiração estimada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).;

( $Kc$ ) - coeficiente de cultivo, adotando-se valores específicos para cada estágio de cultivo da cultura: 0.3 na fase de estabelecimento (início), 1.1 no desenvolvimento vegetativo (meia-estação) e 0.5 enchimento das raízes (final) de mandioca (ALLEN et al., 1998).

Assim, a lâmina de água a ser aplicada em cada unidade experimental foi determinada pela equação:

$$Lap = \frac{Etc \times A}{Ef}$$

Em que:

Lap = Lâmina a ser aplicada (mm);

ETc = Evapotranspiração da cultura;

A = Área do vaso (2.15m<sup>2</sup>);

Ef = Eficiência do sistema de irrigação (91.20%)

O tempo de irrigação foi calculado pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a vazão nominal do gotejador.

Em sequeiro, a umidade do solo foi avaliada diariamente por meio do método gravimétrico em laboratório (método das pesagens). A quantidade de água foi calculada de forma a repor a umidade do solo à capacidade de campo até a profundidade de 60 cm, quando a umidade do solo se encontrava inferior a 40%. Por ocasião da ocorrência de chuvas, as reposições eram suspensas.

### 3.3 Características avaliadas

Para verificar a influência dos tratamentos sobre o potencial agrônomo da cultura, foram realizadas as análises de diagnose foliar, índice relativo de clorofila nas

folhas, altura e diâmetro das hastes nos períodos de 60, 90 e 120 DAP (dias após o plantio).

Os teores de macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), acúmulo de matéria seca (MS) e a partição de MS nas hastes, cepas e raízes tuberosas foram obtidos após a colheita. No mesmo período, quantificaram-se o número, diâmetro, comprimento, a produtividade e a qualidade físico-química das raízes.

### **3.3.1 Diagnose foliar**

Foram realizadas amostragens aos 120 DAP, retirando-se o limbo foliar das folhas mais jovens totalmente expandidas (Lorenzi et al., 1997) para a análise dos teores de macro e micronutrientes de acordo com metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

### **3.3.2 Altura da planta e diâmetro das hastes**

O desenvolvimento inicial das plantas foi acompanhado por meio de avaliações das variáveis de altura e diâmetro das hastes por planta, determinadas aos 60, 90 e 120 DAP.

### **3.3.3 Índice relativo de clorofila nas folhas**

Nos mesmos dias em que se realizaram as avaliações de diâmetro e altura das hastes, procederam-se as leituras indiretas do teor de clorofila, efetuadas na 3ª folha totalmente expandida de cada planta utilizando um aparelho Minolta SPAD-502.

### **3.3.4 Acúmulo e partição de matéria seca (MS) em hastes, cepas e raízes tuberosas e exportação de nutrientes pelas raízes**

Após a colheita, as plantas foram separadas em hastes, cepas e raízes. Cada material foi seco em estufa com circulação forçada de ar ( $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) até peso constante. Após a secagem, cada material foi pesado para obtenção das quantidades de MS acumuladas em cada parte da planta.

O acúmulo de MS na planta inteira ( $\text{g planta}^{-1}$ ) foi obtido pela soma das quantidades de MS acumuladas em todas as partes da planta. De posse destes dados, quantificou-se a partição de MS (%) nas hastes, cepas e raízes mediante o cálculo da relação entre a quantidade de MS acumulada em cada parte da planta e a quantidade de MS acumulada na planta inteira (BENINCASA, 2003).

Em seguida, uma fração do material proveniente das raízes foi retirada para a análise de macro e micronutrientes (MALAVOLTA, 1997). Por fim, obtiveram-se as quantidades extraídas de cada mineral nas raízes por meio do produto entre o teor no tecido vegetal ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e a produção de matéria seca (PMS) na planta como um todo, sendo os resultados apresentados em  $\text{kg ha}^{-1}$  para macronutrientes, e em  $\text{g ha}^{-1}$  para micronutrientes.

### **3.3.5 Número, comprimento, diâmetro e produtividade de raízes tuberosas**

Após a colheita, foram manualmente contabilizados o número, e mensurados o comprimento e o diâmetro de todas as raízes tuberosas por planta com auxílio de trena graduada e paquímetro digital, respectivamente, com dados expressos em  $\text{cm planta}^{-1}$ . Em seguida, pesaram-se as raízes frescas para a obtenção da produção por planta, estimando-a em termos de produtividade por área ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

### **3.3.6 Caracterização físico-química das raízes produzidas**

Os teores de umidade, proteínas, fibra bruta e cinzas foram determinados de acordo com Métodos Oficiais de Análises da AOAC Internacional (*Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*) (AOAC, 2012); acidez e pH de acordo com métodos físico-químicos para análise de alimentos do Instituto Adolfo Lutz, expressos em  $\text{mg}$  de ácido málico por  $100\text{g}^{-1}$  (BRASIL, 2008); e o teor de açúcares redutores pelo método de Somogy (1945) adaptado por Nelson (1944), expresso em  $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ .

O teor de amido foi determinado por hidrólise enzimática segundo método da ISO-6647 (1987), seguido da determinação de açúcares pelo método de Nelson (1944), sendo feita a conversão para amido pela multiplicação entre a porcentagem de açúcar obtida com o fator 0.9, resultados expressos na base úmida em  $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ .

### **3.4 Análise estatística dos dados**

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a  $p \leq 0.01$  e  $0.05$  (99 e 95%), utilizando-se o software Minitab versão 19.2020.1.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Índice SPAD, diâmetro e altura de hastes

Os resultados referentes ao índice SPAD, diâmetro e altura das hastes nos dois períodos de cultivo são demonstrados na Tabela 6.

Na safra 1 (Tabela 6), aos 90 e 120 DAP não houve influência dos fatores nos índices SPAD, mas todas as médias se mantiveram em níveis satisfatórios. Do mesmo modo, o diâmetro das hastes não foi afetado pelos tratamentos em nenhum dos períodos avaliados.

A altura da planta aos 90 DAP foi influenciada de modo isolado pelas adubações, sendo que os tratamentos T2, T3 e T5 foram os responsáveis pelas maiores taxas de crescimento, sobretudo os tratamentos T2 e T3 que promoveram incrementos médios de 6.30 cm e 5.70 cm na altura da planta, respectivamente.

A partir dos 120 DAP houve interação significativa entre os fatores, e os desdobramentos apontam que a planta obteve comportamento semelhante entre os sistemas de cultivo adotados, demonstrando maior dependência das adubações utilizadas, com exceção do tratamento T1. Os tratamentos T2, T3 e T5 se destacaram, sobretudo o T2 com incrementos médios de 9.2 cm e 7.8 cm em relação a menor média obtida no tratamento controle (Figura 4A).

Na safra 2 (Tabela 6), assim como no período anterior, não houve influência dos tratamentos sobre os índices SPAD em nenhum dos períodos avaliados. Para o diâmetro da haste, a partir dos 90 dias DAP verificou-se efeito isolado da adubação sobre a variável, com destaque para o tratamento T2, que proporcionou a obtenção de hastes com 15.83cm de diâmetro, sendo 9.72% superior em relação a testemunha e 20.61% em relação a menor média obtida. Aos 120 dias foram observados efeitos isolados de ambos os fatores, sendo que o maior diâmetro foi obtido nos tratamentos T2, T5 e T3, com destaque para o tratamento T2 com 19.1 cm. Entre as irrigações, o cultivo irrigado atingiu a maior média que correspondeu a 18.6 cm, e isso representa que as hastes obtiveram diâmetro de 5.08% maior.

Por fim, em relação à altura da planta, as análises das médias demonstram a ocorrência de interações significativas entre os fatores e em todos os períodos avaliados (Figura 4B). Os desdobramentos indicam que aos 90 dias, a maior média foi obtida no tratamento T2 com incremento de 8.82% no cultivo irrigado em relação

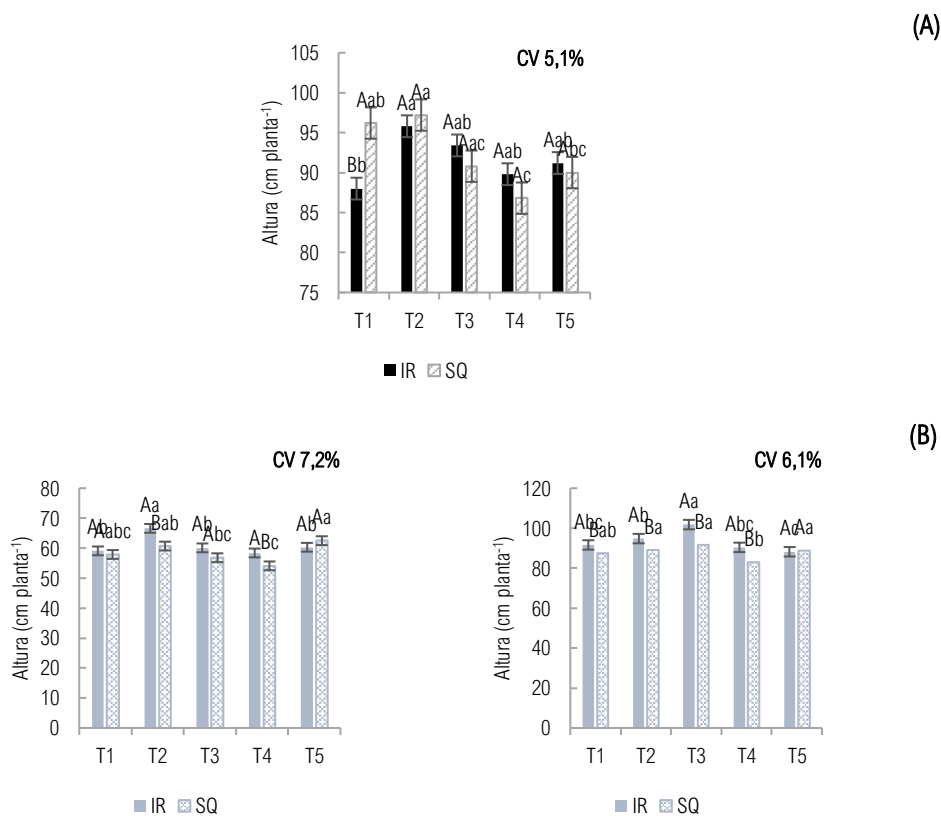
ao cultivo em sequeiro. Esse comportamento se repetiu e se intensificou no cultivo irrigado aos 120 dias, sendo a maior média obtida nos tratamentos T3 e T2. Os incrementos alcançados variaram entre 10.01% e 6.12%, respectivamente.

**Tabela 6 - Índice relativo de clorofila nas folhas, diâmetro e altura das hastes de plantas de mandioca para indústria aos 120 DAP em função fontes de adubação e sistemas de cultivo aos 90 e 120 DAP, em duas safras**

Variáveis	DAP		Tratamentos					Cultivo		C.V.
			T1	T2	T3	T4	T5	IR	SQ	
<b>Safra 1</b>										
SPAD	90	(ns)	44.10	42.0	42.9	41.7	43.7	42.5	43.3	9.2%
	120	(ns)	44.30	44.8	45.7	45.3	43.7	44.4	45.1	9.5%
Diâmetro Haste (cm)	90	(ns)	14.80	16.0	15.0	14.3	15.2	15.0	15.2	9.9%
	120	(ns)	18.00	19.4	17.9	17.8	18.2	18.4	18.2	8.1%
Altura (cm)	90	(A)	57.50ab	63.2a	63.8a	54.8b	58.1ab	58.4	60.5	10.2%
<b>Safra 2</b>										
SPAD	90	(ns)	43.1	46.0	43.6	42.3	41.9	42.8	44.0	9.3%
	120	(ns)	45.3	46.1	44.3	44.6	42.3	43.9	45.2	9.3%
Diâmetro da haste (cm)	90	(A)	14.7ab	15.8a	14.4b	13.1c	15.1ab	14.6	14.6	9.4%
	120	(A,C)	17.9ab	19.1a	18.2ab	16.9b	18.6a	18.6A	17.7B	7.1%

Variáveis seguidas de: (ns) indicam ausência de diferenças significativas; (C) indicam diferenças significativas somente no fator cultivo; (A) indicam diferenças significativas somente no fator adubação; (A,C) indicam diferenças significativas no fator Cultivo e também no fator Adubação, mas sem ocorrência de interações, pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos.

**Figura 4 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) na altura das hastes de plantas de mandioca para indústria (A) safra 1, aos 120 dias; (B) safra 2 aos 90 e 120 DAP.**



Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

As unidades SPAD observadas neste trabalho, apesar de não terem sido afetadas pelos tratamentos, os índices se mantiveram acima de 40 mesmo sob cultivo de sequeiro, o que sugere que a cultivar possui maior capacidade de síntese de clorofila mesmo sob deficiência hídrica. Silva et al. (2014) encontraram correlações positivas entre o índice SPAD e a clorofila, e relataram unidades abaixo de 40 em genótipos sensíveis de cana-de-açúcar quando submetidos à condição de seca. Netto et al. (2005) afirmam que leituras inferiores a 40 indicam o início da degradação da clorofila, afetando o processo fotossintético, e que este parâmetro é um indicador de modificações metabólicas em plantas sob vários fatores de estresse ambiental. Nessa linha, Silva et al. (2012) verificaram interrelações que entre índices SPAD iguais ou

superiores a 40 e maiores taxas de atividade fotossintética, com isso alcançaram maiores produtividades.

No tocante à altura e ao diâmetro das hastes, as maiores médias foram alcançadas com o uso do esterco bovino, mas incrementos na altura também foram obtidos com a combinação de ácido húmico e aminoácidos. Resultados positivos com uso destes de maneira isolada foram relatados em diversos estudos, sendo que a função desempenhada por substâncias húmicas e aminoácidos ainda é discutida, mas a principal corrente defende que ambos possuem componentes que desempenham um papel ativo na fotossíntese.

Segundo Calvo et al. (2014), o uso destas substâncias estimula e aumenta a assimilação do nitrogênio por meio da regulação coordenada do metabolismo do Carbono e do Nitrogênio, desempenhando um papel ativo no crescimento das plantas por meio da ativação dos processos ligados à fotossíntese, respiração e o conteúdo de clorofila.

Além disso, Fan et al (2014) atribuíram que o efeito do uso destas substâncias está ligado a melhora da ultraestrutura dos tilacóides, promovendo a aceleração da taxa de absorção, transferência e conversão de fótons no cloroplasto, promovendo aumento das reações; e confirmam que o crescimento da planta está ligado ao aumento da fotossíntese líquida, da taxa de transpiração e da concentração de CO<sub>2</sub> nas células. Canellas et al. (2013) relataram uma correlação positiva entre a taxa líquida de fotossíntese em plantas de milho tratadas com ácidos húmicos e obtiveram plantas com maior porte.

## **4.2 Diagnose foliar: estado nutricional**

A partir das recomendações de Lorenzi et al. (1997), foi possível comparar o estado nutricional da mandioca nos tratamentos aplicados e verificar se os teores foliares dos macros e microelementos avaliados estiveram dentro das faixas preconizadas para cada nutriente.

Na safra 1, houve efeitos isolados para os teores de fósforo, magnésio e enxofre (Tabela 7). O teor de fósforo demonstrou estar dentro dos níveis recomendados, cuja faixa ideal do elemento se encontra entre 2.0 e 5.0 g kg<sup>-1</sup>, sendo que o cultivo em sequeiro proporcionou a maior taxa acumulada deste. No que diz respeito ao magnésio e ao enxofre, ambos influenciados pelas adubações utilizadas,

os teores de magnésio encontrados estiveram dentro de 2 a 5 g kg<sup>-1</sup>, e para o enxofre, todos os tratamentos estiveram abaixo de 3.0 a 4.0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabela 7 - Teores médios de macronutrientes na folha diagnose da mandioca para indústria em função fontes de adubação e sistemas de cultivo na safra 1**

Variáveis		Tratamentos					Cultivo		C.V.
		T1	T2	T3	T4	T5	IR	SQ	
P (g kg <sup>-1</sup> )	(C)	2.11	2.25	1.93	2.16	2.01	1.90B	2.28A	25.5%
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	(A)	2.73b	3.77 a	3.04 ab	2.77b	3.46ab	3.29	3.02	19.7%
S (g kg <sup>-1</sup> )	(A)	1.60b	2.44a	2.11ab	1.77b	1.65b	2.03	1.80	21.8%

Variáveis seguidas de: (ns) indicam ausência de diferenças significativas; (C) indicam diferenças significativas somente no fator cultivo; (A) indicam diferenças significativas somente no fator adubação; (A,C) indicam diferenças significativas no fator Cultivo e também no fator Adubação, mas sem ocorrência de interações, pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos.

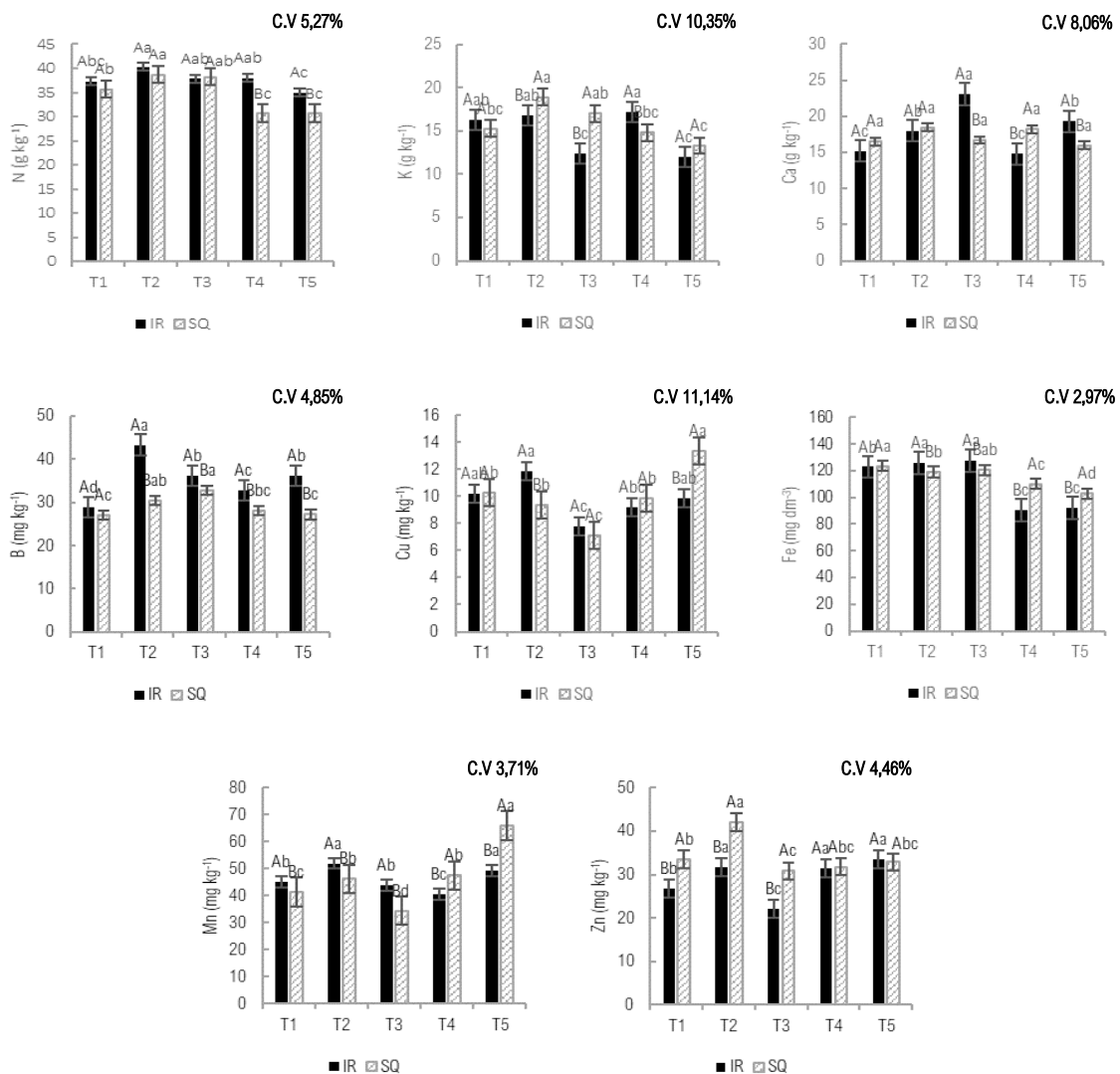
Quanto aos demais, observou-se interações significativas entre os fatores para os macronutrientes N, K e Ca, e para os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn (Figura 5).

De maneira geral, os teores de nitrogênio estiveram abaixo dos níveis adequados, 45 a 60 g kg<sup>-1</sup>. Para o potássio, todos os tratamentos promoveram quantidades ideais, de 10 até 20 g kg<sup>-1</sup>. Quanto ao cálcio, níveis acima de 5 a 15 g kg<sup>-1</sup> foram reportados, sobretudo o tratamento T2 que favoreceu desempenho semelhante da planta na absorção do elemento nas duas formas de cultivo estudadas, porém as maiores médias obtidas nestas condições experimentais ocorreram nos tratamentos T3 e T5 sob cultivo irrigado.

Os níveis de boro foram adequados em todos os tratamentos, se destacando quando associados ao cultivo irrigado, cujas recomendações são de 15 a 50 mg kg<sup>-1</sup>. Para o cobre, a maioria dos tratamentos proporcionaram teores dentro de 5 a 25 mg kg<sup>-1</sup>. De modo semelhante, os teores de ferro estiveram em conformidade com as indicações prescritas pelos autores nas duas formas de cultivo quando associadas aos tratamentos T1, T2 e T3 e sob sequeiro em T4 e T5, apresentando faixas entre 60 e 200 mg kg<sup>-1</sup>.

Por fim, todos os tratamentos proporcionaram níveis de manganês entre 25 e 100 mg kg<sup>-1</sup>. Já a taxa de zinco foi apropriada somente em T2 sob sequeiro, os demais tratamentos se mantiveram abaixo de 35 a 100 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 5).

**Figura 5 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) nos teores de macro e micronutrientes na folha diagnose da mandioca para indústria na safra 1**



Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Estercos bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

Na safra 2, houve interações significativas nos teores foliares de todos os nutrientes (Figura 6). Quanto aos macronutrientes, os desdobramentos indicam que

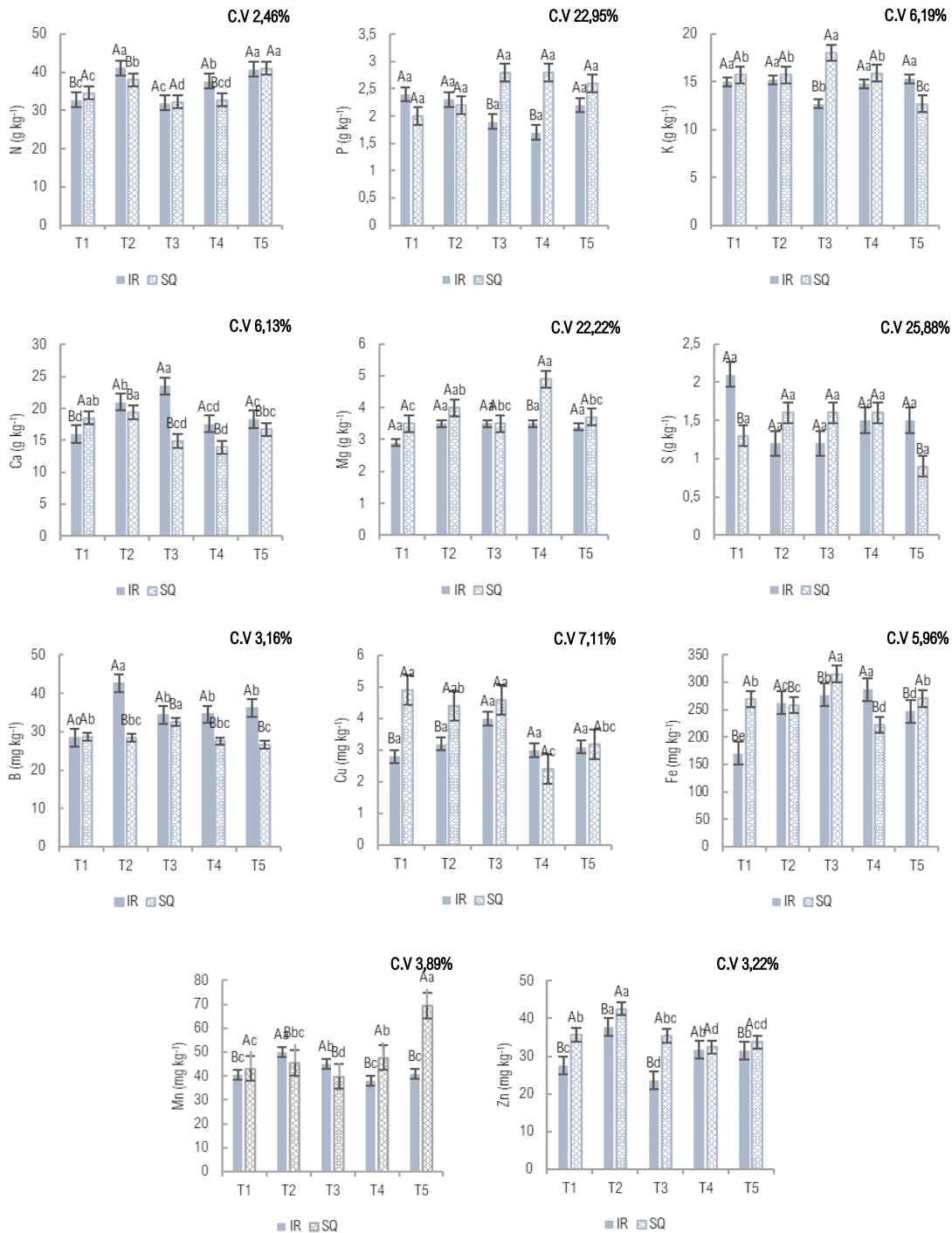
os teores de nitrogênio estiveram abaixo dos níveis recomendados por Lorenzi et al. (1997), porém o fósforo e o enxofre apresentaram taxas adequadas, sobretudo, nos tratamentos T3 e T4 sob sequeiro. De modo semelhante ao período anterior, os níveis de potássio nas folhas diagnose se mantiveram adequados em todos os tratamentos.

Para o cálcio, todos os tratamentos proporcionaram taxas acima do indicado, sendo que as maiores médias obtidas nestas condições experimentais ocorreram em T3 sob cultivo irrigado e em T2 nas duas formas de cultivo. Em contrapartida, os teores de magnésio estiveram dentro da faixa ideal, com destaque para o tratamento T4 sob sequeiro que apresentou a maior média em relação as demais adubações utilizadas.

Referente aos micronutrientes, todos os tratamentos nas duas formas de cultivo proporcionaram acúmulo de boro em teores adequados. Ao passo que os teores de cobre estiveram abaixo dos níveis recomendados, sendo as maiores médias obtidas sob cultivo de sequeiro.

Para o ferro, todos os níveis encontrados estiveram acima da faixa ideal, enquanto os teores manganês se mantiveram dentro do recomendado. Por fim, na maior parte dos tratamentos a taxa de zinco esteve em desconformidade com as indicações, exceto em T1 e T3 quando associado ao cultivo sob sequeiro e T2 nas duas formas de cultivo.

**Figura 6 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) nos teores de macro e micronutrientes na folha diagnose da mandioca para indústria na safra 2**



Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

Em ambos os períodos, os teores de N se mantiveram abaixo da faixa recomendada, mas o P, K e Mg se manteve dentro do intervalo indicado por Lorenzi et al. (1997) e os teores de Ca se mantiveram acima. Dentre os micronutrientes, o Zinco foi o elemento que esteve abaixo das recomendações.

As observações contidas neste trabalho estão em conformidade com Magolbo (2019), utilizando a cultivar IAC14 para indústria. Entretanto, estas variações nos teores de nutrientes na folha diagnóstica provavelmente ocorreram devido à idade do material de coleta, fazendo com que a época de avaliação possivelmente não seja a mais indicada à mandioca para indústria. A recomendação para se realizar as amostragens se dá em torno dos 120 dias (Lorenzi et al., 1997), mas dependendo da cultivar o ciclo de cultivo pode ser mais curto ou longo, e isso pode interferir a realização do procedimento.

### **4.3 Acúmulo e partição de matéria seca (MS) em hastes, cepas e raízes tuberosas**

A Tabela 8 demonstra os resultados obtidos para o acúmulo de MS nas cepas e à partição de MS nas raízes nas safras 1 e 2, respectivamente. A análise de variância indica que houve efeitos isolados tanto das adubações empregadas quanto das formas de cultivo sobre as variáveis citadas.

O maior acúmulo nas cepas ocorreu de modo semelhante na maioria dos tratamentos e foi possível impulsionar o desenvolvimento desse órgão, sobretudo com os tratamentos T2 e T5. No que diz respeito as formas de cultivo, o acúmulo foi expressivamente maior quando a planta foi submetida ao cultivo de sequeiro.

A partição de matéria seca expressa em termos de porcentagem, representa o teor acumulado em cada parte da planta em relação a planta total. A maior concentração de MS nas raízes ocorreu no tratamento T2. No que diz respeito as formas de cultivo, esta foi significativamente maior quando a cultura foi submetida ao uso da irrigação controlada, proporcionando ganho de 9.14% em relação ao cultivo de sequeiro.

**Tabela 8 - Acúmulo de matéria seca na cepa e partição de matéria seca na raiz de mandioca para indústria em função fontes de adubação e sistemas de cultivo, em duas safras**

Variáveis	Tratamentos					Cultivo		C.V.	
	T1	T2	T3	T4	T5	IR	SQ		
Safra 1									
MS na Cepa (g planta <sup>-1</sup> )	(A,C) 56,20b	68,80a	64,10a	63,50a	68,60a	62,72B	65,76A	6,86%	
Safra 2									
MS na raiz (%)	(A,C) 72,08c	81,94a	77,58b	76,34b	75,95b	77,84A	70,72B	2,39%	

Variáveis seguidas de: (ns) indicam ausência de diferenças significativas; (C) indicam diferenças significativas somente no fator cultivo; (A) indicam diferenças significativas somente no fator adubação; (A,C) indicam diferenças significativas no fator Cultivo e também no fator Adubação, mas sem ocorrência de interações, pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos.

Houve interações significativas para acúmulo de MS nas hastes, raízes e planta total, bem como para a partição de MS nas hastes, cepa e raízes. Os resultados demonstram que o maior acúmulo nas hastes ocorreu no tratamento T2, especialmente quando a planta foi cultivada sob irrigação controlada.

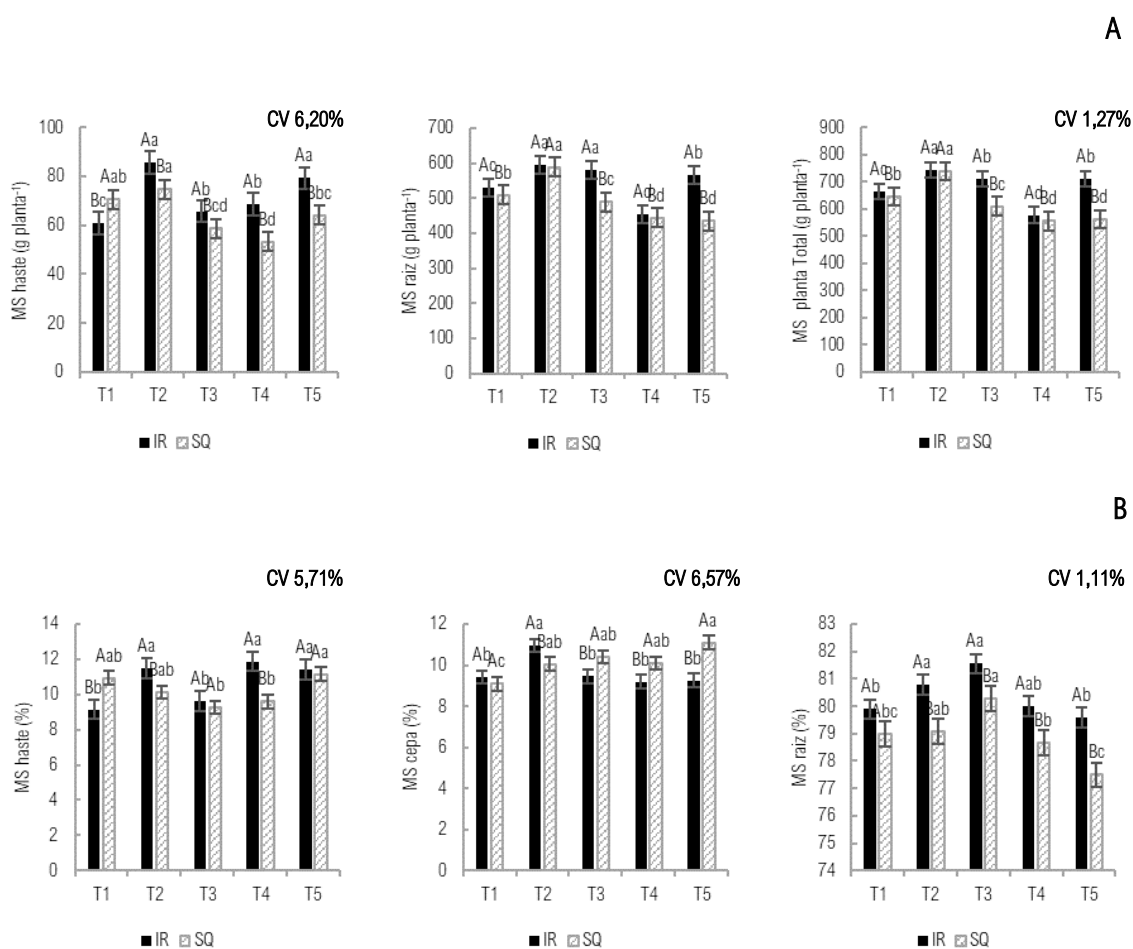
Nas raízes, o método de adubação utilizado no tratamento T2 proporcionou desempenho semelhante da cultura em ambos os sistemas de cultivo e se sobressaiu quando foi associado à irrigação, que proporcionou o maior o acúmulo de matéria seca. Dessa forma, isso influenciou o acúmulo na planta total, onde as médias foram maiores no tratamento T2 em ambos os sistemas de cultivo (Figura 7A).

Analisando o desdobramento dos fatores estudados no que diz respeito a partição de MS, foi observado que a maior concentração nas hastes ocorreu em T4 e T2 irrigado e em T5 em ambas as formas de cultivo. Nas cepas, o cultivo de sequeiro associado aos tratamentos T5, T3 e T4 proporcionou as maiores alocações de MS observadas (Figura 7B).

Em suma, a partição da MS ocorreu de maneira proporcional nas hastes e cepas na maioria dos tratamentos tanto sob irrigação quanto em sequeiro, e demonstram que o crescimento da planta foi homogêneo nestas regiões na maioria dos tratamentos. Nessa linha, se destacou T5 onde a alocação de MS foi sutilmente maior nas hastes, indicando que a presença do aminoácido possivelmente estimulou o crescimento da parte aérea da planta em maior intensidade em relação a cepa.

Nas raízes, a maior porcentagem observada ocorreu de modo semelhante nos tratamentos T2, T3 e T4 em sistema de irrigado, e os tratamentos T3 e T2 sob sequeiro. De maneira geral, os resultados apontam que os estímulos promovidos pelos tratamentos supracitados ocorreram de maneira mais expressiva na região radicular, isso porque o metabolismo da mandioca é capaz de alocar a maior parte de seu carbono para o órgão que determina o desempenho econômico, nesse caso, as raízes.

**Figura 7 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no acúmulo de matéria seca (A) e partição de matéria seca (B) na mandioca para indústria na safra 1**



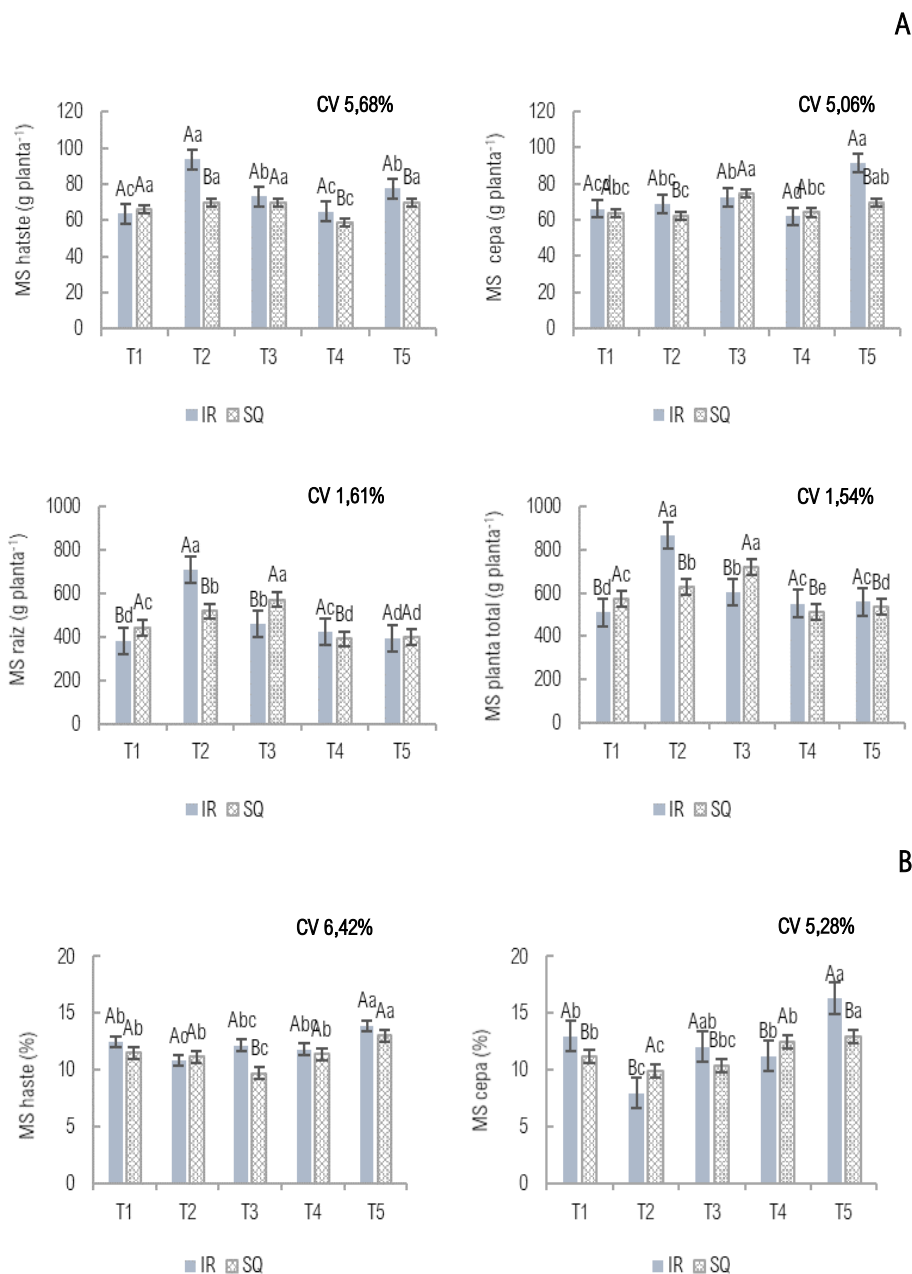
Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

Na safra 2, o maior acúmulo de MS nas hastes ocorreu em T5 e foi significativamente semelhante entre as formas de cultivo, seguido por T2 quando associado à irrigação. De modo semelhante, nas cepas o T2 promoveu o maior acúmulo de MS observado. No tocante ao acúmulo nas raízes, o tratamento T2 proporcionou melhores resultados especialmente quando associado à irrigação, mas em sequeiro a influência de T3 e T2 favorecera a obtenção de médias significativamente maiores (Figura 8A).

Por fim, levando em consideração a planta total, a planta se desenvolveu com maior intensidade em T2 seguido por T3 tanto em cultivo irrigado quanto em sequeiro, favorecendo a maior concentração de MS em relação as demais adubações empregadas (Figura 8A).

Relativo à partição de MS, o maior acúmulo nas hastes e nas cepas ocorreu em T5 independentemente do cultivo adotado. Entretanto, a concentração nas hastes foi maior nos tratamentos T5 e T2 em relação as cepas. Nos demais tratamentos, a distribuição foi homogênea entre as referidas regiões da planta (Figura 8B).

**Figura 8 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no acúmulo de matéria seca (A) e partição de matéria seca (B) na mandioca para indústria no safra 2**



Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

Conforme demonstrado, a resposta da cultura ao acúmulo de matéria seca ocorreu notadamente nas unidades experimentais que receberam esterco bovino,

assim como o uso isolado do ácido húmico e da sua combinação com aminoácidos independente do uso da irrigação. Contribuições pelo uso isolado de aminoácidos associado à irrigação também foram observadas.

A partição da matéria seca entre a raiz e a parte aérea é um parâmetro importante para a mandioca. Os resultados indicam que a regra de alocação seguiu o padrão esperado, que seria a maior taxa nas raízes. A relação parte aérea e cepas seguiu um padrão de crescimento homogêneo nesses tratamentos, evidenciando que não houve perturbação na regra de alocação de matéria seca.

De acordo com Alves (2002), a matéria seca da mandioca é principalmente translocada para os caules e raízes de armazenamento. A distribuição é medida pela razão entre o acúmulo de MS nas raízes e na planta total. O índice maior que 0.5 é considerado aceitável para mandioca (Howeler, 2002). Os valores para todos os tratamentos ficaram dentro da faixa aceitável, com médias variando de 0.77 a 0.82 no primeiro ano de avaliação e de 0.70 a 0.82 no segundo.

O efeito do uso do esterco foi relatado por Dordas et al. (2008) que obtiveram aumento na produção de matéria seca em torno de 39% em milho. De modo semelhante, Iqbal et al. (2020) alcançaram maior produção de MS em arroz com o uso de esterco combinado com adubação mineral, e atribuem estes efeitos ao aumento da atividade de enzimas metabolizantes de nitrogênio.

A aplicação de aminoácidos demonstrou aumentar a produção de biomassa em aipo (Shehata et al., 2011), aveia (Ghafoor et al., 2019) e beterraba sacarina (Hussein et al., 2019). Estes autores confirmam que estes efeitos ajudam a proteger as culturas de estresses bióticos e abióticos pela melhora no desempenho fisiológico. Nestas condições experimentais, o uso do aminoácido promoveu efeitos nos parâmetros agrônômicos quando combinado com ácidos húmicos.

O aumento da matéria seca é também atribuído ao modo de ação dessas substâncias como reguladoras do crescimento semelhantes aos hormônios, e não somente aos processos da fotossíntese. Estes podem interagir com diversos processos bioquímicos e fisiológicos da planta, possivelmente na glicólise e vias respiratórias (ERTANI et al, 2011; HALPERN et al., 2015).

Em pesquisas não tão recentes, Schiavon et al. (2008) e Ertani et al. (2009) sugerem efeitos nas enzimas de assimilação de  $\text{NO}_3$  com o uso dos aminoácidos originados da hidrólise de proteínas de plantas e de animais, e estes foram semelhantes as atividades dos hormônios dos tipos auxina e giberelina. Nesta linha,

Vasconcelos; Chaves (2019) sugerem que uma possível razão seria o aumento da divisão celular provocado hormônios tipo auxinas que afeta o crescimento e desenvolvimento, sendo o principal motivo do maior teor de MS, uma vez que células maiores e em maior quantidade possuem mais paredes e organelas celulares, que contribuem para maiores valores de matéria seca.

Quanto as substâncias húmicas, os ácidos húmicos agem de modo a promover a acidificação na região do apoplasto ativando enzimas que atuam diretamente na parede celular, aumentando a sua permeabilidade e plasticidade, levando ao alongamento celular e a entrada de nutrientes (CALVO et al., 2014; BETONI et al, 2016).

Algumas substâncias que atuam como reguladoras de crescimento foram encontradas em ácidos húmicos. Young; Chen (1997) e Kumar et al. (2007) identificaram a presença de poliaminas, putrescina, espermidina e espermina, e estimam que o aumento da biomassa das plantas pode estar associado a presença destas, uma vez que podem estar relacionadas aos mecanismos de divisão celular.

Quanto ao fator irrigação, dados consistentes certificam que a irrigação está intimamente ligada a fotossíntese. Ye et al. (2020) obtiveram reduções no teor de clorofila e conseqüentemente na taxa de fotossíntese em plantas de milho sob condições de estresse hídrico, e concluíram que a principal causa foi a redução da condutância estomática por ocasião da deficiência, afetando a difusão do CO<sub>2</sub> na planta, resultando em menor teor de MS.

Hazrati et al. (2017) encontraram correlações positivas entre o acúmulo de matéria seca e o uso de água. Dados encontrados por (Li et al., 2019) demonstram que o déficit moderado reduziu o conteúdo de água na beterraba, mas aumentou o acúmulo de matéria seca e foi favorável à sua alocação na raiz, aumentando a produtividade. Por outro lado, o déficit hídrico severo diminuiu a taxa fotossintética e perturbou a regra de alocação, pois a matéria seca foi realocada nas folhas para diminuir os danos e resultou na diminuição da produtividade.

Interações entre o acúmulo de matéria seca, uso de ácidos húmicos e irrigação para o milho foram identificadas por Abdulameer; Ahmed (2019), os quais observaram que nos solos com 50% da água disponível associado ao uso de substâncias húmicas, as plantas produziram mais matéria seca, e observaram reduções da MS nas plantas cultivadas em solos com 70% da água disponível esgotada, onde afetou de modo negativo a altura da planta, número de folhas e área foliar.

Isso está em conformidade com Mooney e Winner (1991). Os autores relatam que a alocação da MS da raiz para a parte aérea nas plantas é influenciada por fatores de estresse hídrico ou de nutrientes, as quais apresentam maiores proporções de raiz para parte aérea. Essa mudança nos padrões de crescimento é devido à compensação que a planta realiza, aumentando a alocação para órgãos onde o recurso é limitante, afetando a regra de alocação da matéria seca nos órgãos da planta

#### 4.4 Extração de nutrientes pelas raízes tuberosas

No tocante à extração de nutrientes pelas raízes, não houve efeitos significativos dos tratamentos sobre o potencial da cultura para a maioria dos elementos, com exceção do enxofre que foi influenciado de modo isolado pelo sistema de cultivo adotado, sendo as médias significativamente maiores com o uso da irrigação em ambos os períodos de condução do experimento (Tabela 9).

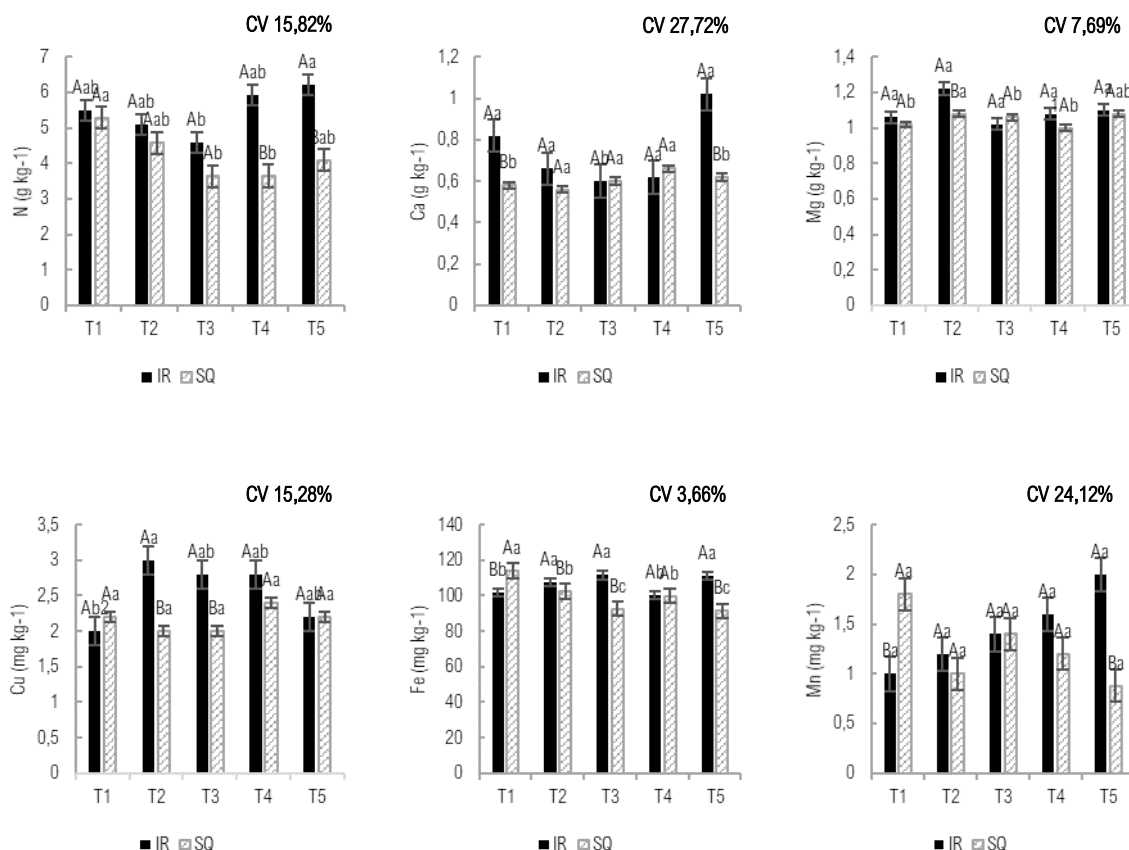
**Tabela 9 - Acúmulo de macro e micronutrientes em raízes de mandioca para indústria em função fontes de adubação e sistemas de cultivo, em duas safras.**

Variáveis		Tratamentos					Cultivo		C. V.
		T1	T2	T3	T4	T5	IR	SQ	
Saфра 1									
P (g kg <sup>-1</sup> )	<i>ns</i>	0.76	0.85	0.84	0.80	0.85	0.81	0.83	9.30%
K (g kg <sup>-1</sup> )	<i>ns</i>	7.56	8.25	7.70	8.26	7.92	7.92	7.96	13.97%
S (g kg <sup>-1</sup> )	(C)	0.71	0.73	0.73	0.72	0.73	0.75A	0.71B	7.69%
B (mg kg <sup>-1</sup> )	<i>ns</i>	2.99	4.40	2.63	3.21	3.20	3.26	3.30	28.55%
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	<i>ns</i>	6.10	5.60	5.50	5.80	5.80	5.76	5.76	14.73%
Saфра 2									
N (g kg <sup>-1</sup> )	<i>ns</i>	5.30	4.75	4.03	4.69	5.26	5.22	4.39	26.60%
P (g kg <sup>-1</sup> )	<i>ns</i>	0.75	0.76	0.67	0.71	0.76	0.72	0.74	10.41%
K (g kg <sup>-1</sup> )	<i>ns</i>	7.47	8.17	7.61	8.16	7.83	8.02	7.66	14.13%
S (g kg <sup>-1</sup> )	(C)	0.66	0.64	0.64	0.63	0.64	0.66A	0.62B	8.78%
B (mg kg <sup>-1</sup> )	<i>ns</i>	2.90	4.31	2.54	3.12	3.11	3.17	3.21	29.85%
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	<i>ns</i>	6.01	5.41	5.51	5.71	5.71	5.67	5.66	14.97%

Variáveis seguidas de: (ns) indicam ausência de diferenças significativas; (C) indicam diferenças significativas somente no fator cultivo; (A) indicam diferenças significativas somente no fator adubação; (A,C) indicam diferenças significativas no fator Cultivo e também no fator Adubação, mas sem ocorrência de interações, pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos.

Ademais, na safra 1 houve interações significativas entre os fatores para os teores de N, Ca, Mg, Cu, Fe e Mn nas raízes (Figura 9). De modo geral, as maiores contribuições ocorreram com uso dos tratamentos T5, T1 e T2, onde os teores se apresentaram em maior quantidade. Os teores de N e Ca foram significativamente maiores em T5 e T1 sob irrigação, enquanto o uso do esterco bovino em T2 favoreceu o maior acúmulo de Mg e Cu. A adubação exclusivamente mineral utilizada em T1 se destacou quando em cultivo de sequeiro para os teores de Fe e Mn.

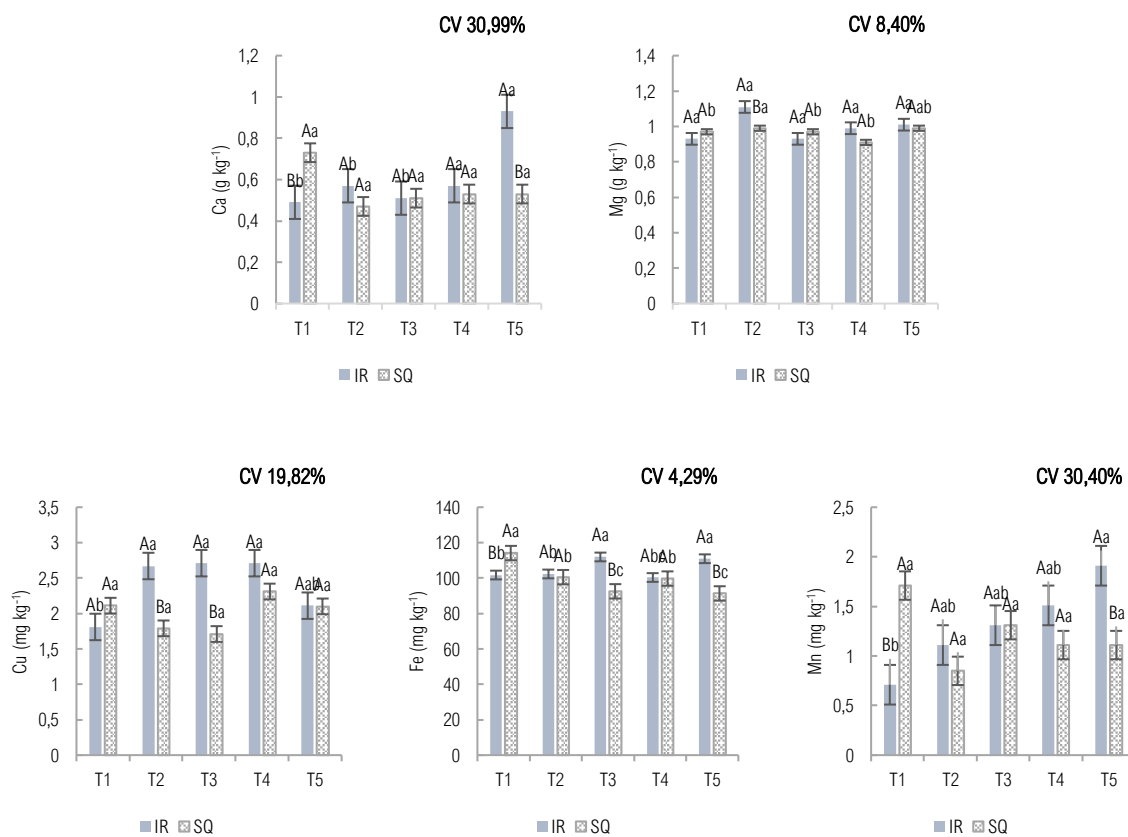
**Figura 9 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no acúmulo de nutrientes em raízes de mandioca para indústria na safra 1**



Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

Na safra 2, houve interação dos fatores somente sobre os teores de Ca, Mg, Cu, Fe e Mn (Figura 10). Os desdobramentos apontam que sob cultivo irrigado, T5 contribuiu com os maiores teores de Ca, Fe e Mn, enquanto T2 influenciou significativamente os teores de Mg e Cu, sendo o segundo elemento influenciado de maneira semelhante por T3 e T4. Sob cultivo de sequeiro, T1 se destaca com as maiores médias de Ca, Fe e Mn, respectivamente.

**Figura 10 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no acúmulo de nutrientes em raízes de mandioca para indústria na safra 2**



Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Estercos bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

De posse dos teores de nutrientes nas raízes e da produção média de matéria seca pela planta estimada em  $\text{kg ha}^{-1}$ , calculando-se o produto entre ambos, observou-se que a maior quantidade média extraída de macro e micronutrientes ocorreu nas parcelas irrigadas que receberam esterco bovino e ácido húmico nos dois anos de avaliação.

As quantidades médias exportadas de N, P, K, Ca, Mg e S pelas raízes foram na ordem de 9.44; 1.60; 16.25; 1.13; 2.03 e 1.35  $\text{kg ha}^{-1}$  com o uso de esterco e de 7.08; 1.25; 12.65; 0.92; 1.61 e 1.08  $\text{kg ha}^{-1}$  nas parcelas tratadas somente com ácido húmico, respectivamente. Nesta sequência, os valores acumulados de B, Cu, Fe, Mn e Zn foram de 8.63; 4.75; 207.39; 2.12 e 10.84  $\text{g ha}^{-1}$  com esterco e de 5.38; 3.72; 166.67; 1.98 e 8.51  $\text{g ha}^{-1}$  usando-se ácido húmico, respectivamente.

Em ambos os anos de avaliação o potássio foi o elemento mais exportado pela colheita das raízes, em seguida têm-se nitrogênio, magnésio e fósforo, enquanto o ferro e o zinco foram os micronutrientes mais exportados seguidos por boro e cobre.

Estes resultados estão de acordo com Leonel et al. (2015) sobre a mandioca para indústria, os quais reportaram que os nutrientes mais exportados são de fato o potássio e o nitrogênio, assim como o ferro e o zinco. Os autores reiteram que considerando a parte aérea, essas quantidades são elevadas e podem gerar o esgotamento do solo. Sendo assim, é preciso fazer a aplicação de doses adequadas no momento do plantio dando atenção aos referidos nutrientes, considerando a necessidade de reposição.

#### **4.5 Número, comprimento, diâmetro e produtividade de raízes tuberosas**

Por ocasião da colheita, foram avaliados os parâmetros agrônômicos relativos ao comprimento, diâmetro, número, produtividade e a composição físico-química das raízes.

No comprimento das raízes tuberosas produzidas, não se verificaram efeitos significativos em nenhum dos períodos avaliados. Para o número de raízes produzidas por planta na safra 1 não se verificou efeitos sobre a variável por nenhum dos tratamentos, contudo, incrementos na ordem de 18.33% foram obtidos com o uso isolado da irrigação no segundo período de avaliação (Tabela 10).

**Tabela 10 - Comprimento de raízes de mandioca para indústria entre fontes de adubação e regimes de irrigação, em duas safras**

Variáveis	Tratamentos					Cultivo		C.V.	
	T1	T2	T3	T4	T5	IR	SQ		
Safra 1									
Comprimento (cm)	(ns)	26.36	26.32	26.15	27.49	25.01	27.24	25.28	16.50%
Nº de raízes	(ns)	3.80	4.90	4.40	3.50	3.90	4.10	4.08	30.66%
Safra 2									
Comprimento (cm)	(ns)	25.11	24.39	25.27	24.13	22.46	24.59	23.95	13.47%
Nº de raízes	(C)	4.40	5.50	4.10	3.90	3.90	4.80A	3.92B	29.99%

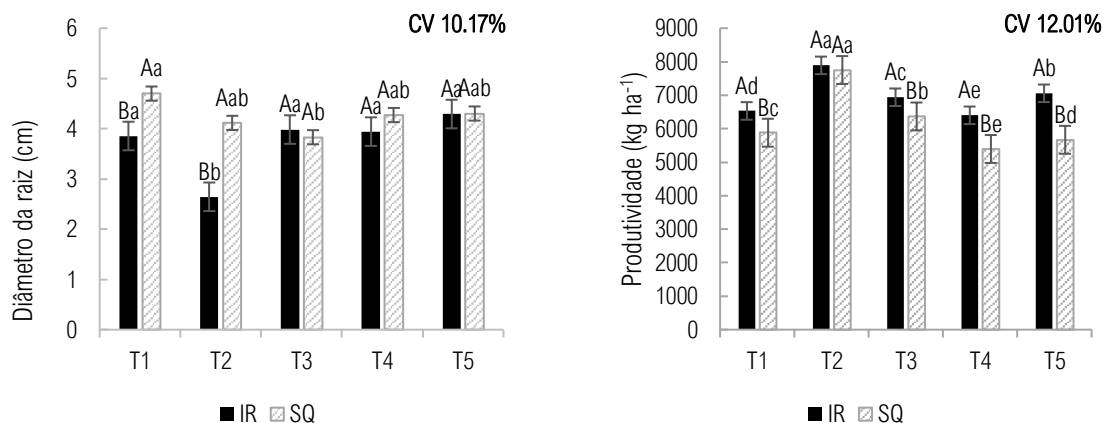
Variáveis seguidas de: (ns) indicam ausência de diferenças significativas; (C) indicam diferenças significativas somente no fator cultivo; (A) indicam diferenças significativas somente no fator adubação; (A,C) indicam diferenças significativas no fator Cultivo e também no fator Adubação, mas sem ocorrência de interações, pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos.

Por meio das adubações e dos sistemas de manejo utilizados, verificou-se a ocorrência de interações significativas dos fatores no diâmetro e na produtividade.

Na safra 1, os desdobramentos indicam que o diâmetro das raízes foi expressivamente maior com as adubações utilizadas nos tratamentos T1 e T2 em cultivo de sequeiro. Porém, é possível que o uso das adubações em T3, T4 e T5, respectivamente, permitiu que o comportamento da cultura fosse similar mesmo sem o uso da irrigação. Em contrapartida, as médias de produtividade foram significativamente maiores no cultivo irrigado quando associado ao tratamento T2, que proporcionou produtividades semelhantes entre os sistemas de cultivo. As produtividades médias alcançadas em T3 e T5, conferiram ganhos na ordem de 8.25 e 19.67%, respectivamente, em relação ao cultivo de sequeiro (Figura 11).

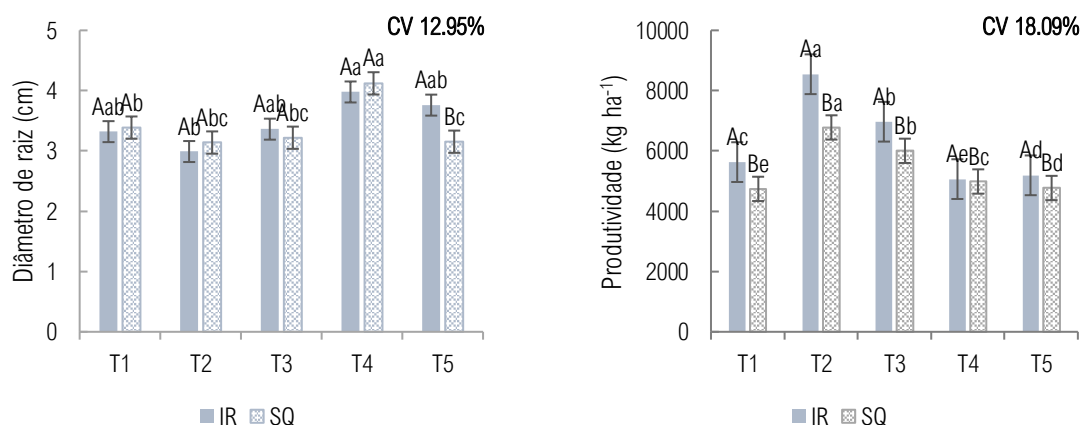
Na safra 2, de modo geral, é possível que as adubações permitiram que o desempenho da cultura referente ao diâmetro das raízes fosse similar mesmo quando cultivada sob sequeiro, com exceção do tratamento T5 onde a planta obteve melhor resultado com o uso da irrigação. Para a produtividade, o uso da irrigação proporcionou ganhos mais expressivos, sobretudo quando associado aos tratamentos T2 e T3, chegando a produtividades 20.65% e 13.84% maiores em relação ao cultivo de sequeiro, e de 34.12% e 19.22% quando comparadas à testemunha (Figura 12).

**Figura 11 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no diâmetro e na produtividade de raízes de mandioca para indústria na safra 1**



Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

**Figura 12 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) no diâmetro e na produtividade de raízes de mandioca para indústria na safra 2**



Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

Em suma, as plantas que receberam esterco, ácido húmico e ácido húmico+aminoácidos sob sequeiro apresentaram valores de diâmetro das raízes superiores aos das testemunhas irrigadas, e podem indicar a normalização da absorção de água. Estes efeitos podem indicar que a aplicação destes produtos ajuda as plantas de mandioca a desenvolverem mecanismos para que sejam capazes de absorver e repor a água perdida pela transpiração na parte aérea de modo eficiente, minimizando perdas no rendimento.

A produtividade em cultivo sob irrigação rendeu ganhos de até 1388 kg ha<sup>-1</sup> e 1765kg ha<sup>-1</sup> nas safras 1 e 2, respectivamente, em relação ao cultivo de sequeiro. É importante ressaltar ao se comparar as produtividades de cada tratamento entre os períodos de avaliação que houve reduções na safra 2 em relação à primeira, as quais variaram de 30 a 1865 kg ha<sup>-1</sup>, evidenciando que a resposta da planta às adubações e ao uso ou não da irrigação pode ser dependente das condições climáticas. Neste trabalho, isso pode ter ocorrido porque o primeiro período de avaliação obteve condições de temperatura e umidade mais favoráveis ao cultivo da mandioca.

Os resultados demonstram que o esterco bovino e tanto o uso do isolado de ácido húmico quanto da sua combinação com aminoácidos foram capazes de aumentar a produtividade da mandioca para indústria, sobretudo quando combinados com irrigação.

Referente ao uso de aminoácidos, Colla et al. (2017) aumentaram em 7.0% o rendimento de tomates produzidos em estufas, em comparação com plantas não tratadas. Além disso, identificaram alterações positivas nos teores de sólidos solúveis e licopeno. De modo semelhante, Grabowska et al. (2012) testaram cultivares de cenoura com aplicação foliar de aminoácidos e obtiveram maiores rendimentos e verificaram alterações no teor de açúcares totais e carotenóides.

Rouphael et al (2017) relataram que aplicações foliares de aminoácidos na dose de 5,0 ml L<sup>-1</sup> foram capazes de aumentar a taxa de fotossíntese, melhorar o estado nutricional das plantas, elevar o número e peso médio de frutos e, portanto, a produtividade comercial de tomates.

As discussões sobre o uso dos aminoácidos em plantas, se concentram no fato de que estes atuam em diversas vias metabólicas e por isso desencadeiam efeitos nas plantas a depender da dose e da espécie (ERTANI et al., 2012). Os efeitos diretos incluem a ativação de enzimas envolvidas na redução e assimilação de Nitrogênio, e que também incidem no metabolismo do Carbono (SCHIAVON et al., 2008). Além

disso também podem desencadear atividades do tipo auxina e giberelina por ocasião da presença de peptídeos bioativos, aprimorando o desempenho das culturas (COLLA et al., 2014).

De acordo com Colla et al. (2015) e Du Jardin (2015), as aplicações podem modificar o crescimento e a arquitetura da raiz, facilitando a absorção de macro e micronutrientes como consequência do aumento da área superficial radicular.

No que diz respeito ao uso de ácidos húmicos, é estimado que estes componentes agem como hormônios promovendo modificações nas raízes como resultado da influência sobre o pH do solo ao redor da raiz, agindo sobre a permeabilidade da membrana celular e estimulando a atividade da H<sup>+</sup>-ATPase de modo semelhante as auxinas (Maji et al., 2017). Guo et al. (2019) afirma que estes efeitos ajudam na absorção e acúmulo de água e nutrientes, como resultado do efeito estimulante sobre o alongamento e extensão das raízes.

Para Atiyeh et al. (2002) é possível que alguns hormônios de crescimento das plantas podem estar adsorvidos em frações húmicas e assim, influenciar o desempenho da planta como um efeito combinado, sendo confirmado por Canellas et al. (2002) que encontraram grupos de auxinas trocáveis na macroestrutura dos ácidos húmicos.

#### **4.6 Componentes físico-químicos de qualidade**

No tocante à composição físico-química das raízes, a Tabela 11 demonstra que a irrigação influenciou de modo isolado os componentes físico-químicos relativos à taxa de umidade e ao teor de proteína no safra 1. As adubações utilizadas não intervieram no desempenho da cultura.

Para o safra 2, houve efeitos isolados das adubações nas variáveis estudadas, com exceção do teor de açúcar redutor, o qual não apresentou variações significativas. A taxa de umidade foi inferior somente no tratamento T2. Quanto aos teores de fibra bruta, nesse caso, o tratamento T1 foi responsável pelo menor acúmulo, e os tratamentos T4, T2 e T5 foram os responsáveis por incrementos na ordem de 35.37%, 28.24% e 17.53%, respectivamente, em relação a menor média obtida (Tabela 11)

O uso da irrigação elevou significativamente o teor de proteínas, que não foi influenciado pelas adubações utilizadas. Ao passo que, o uso da irrigação juntamente

com as adubações empregadas em T2, T4, T3 e T5, respectivamente, aumentou o acúmulo de amido nas raízes (Tabela 11).

**Tabela 11 - Composição físico-química de raízes de mandioca para indústria entre fontes de adubação e regimes de irrigação, em duas safras**

Variáveis	Tratamentos					Cultivo		C.V.	
	T1	T2	T3	T4	T5	IR	SQ		
Safr 1									
Umidade	(C)	9.69	9.40	9.53	9.57	9.39	9.65A	9.38B	3.68%
Proteína	(C)	4.12	3.94	3.84	3.81	3.75	4.03A	3.75B	9.09%
Safr 2									
Umidade	(A)	9.09ab	8.94b	9.11ab	9.60ab	10.30a	9.58	9.24	10.31%
Fibras	(A)	2.54b	3.54ab	2.95ab	3.93a	3.08ab	3.07	3.34	30.61%
Proteína	(C)	4.42	4.24	4.14	4.11	4.05	4.33A	4.05B	8.44%
Amido	(A,C)	64.00b	74.88a	70.88ab	72.21a	70.33ab	73.21A	67.71B	8.07%
Açúcar reductor	(ns)	1.30	1.46	1.35	1.35	1.23	1.30	1.38	27.78%

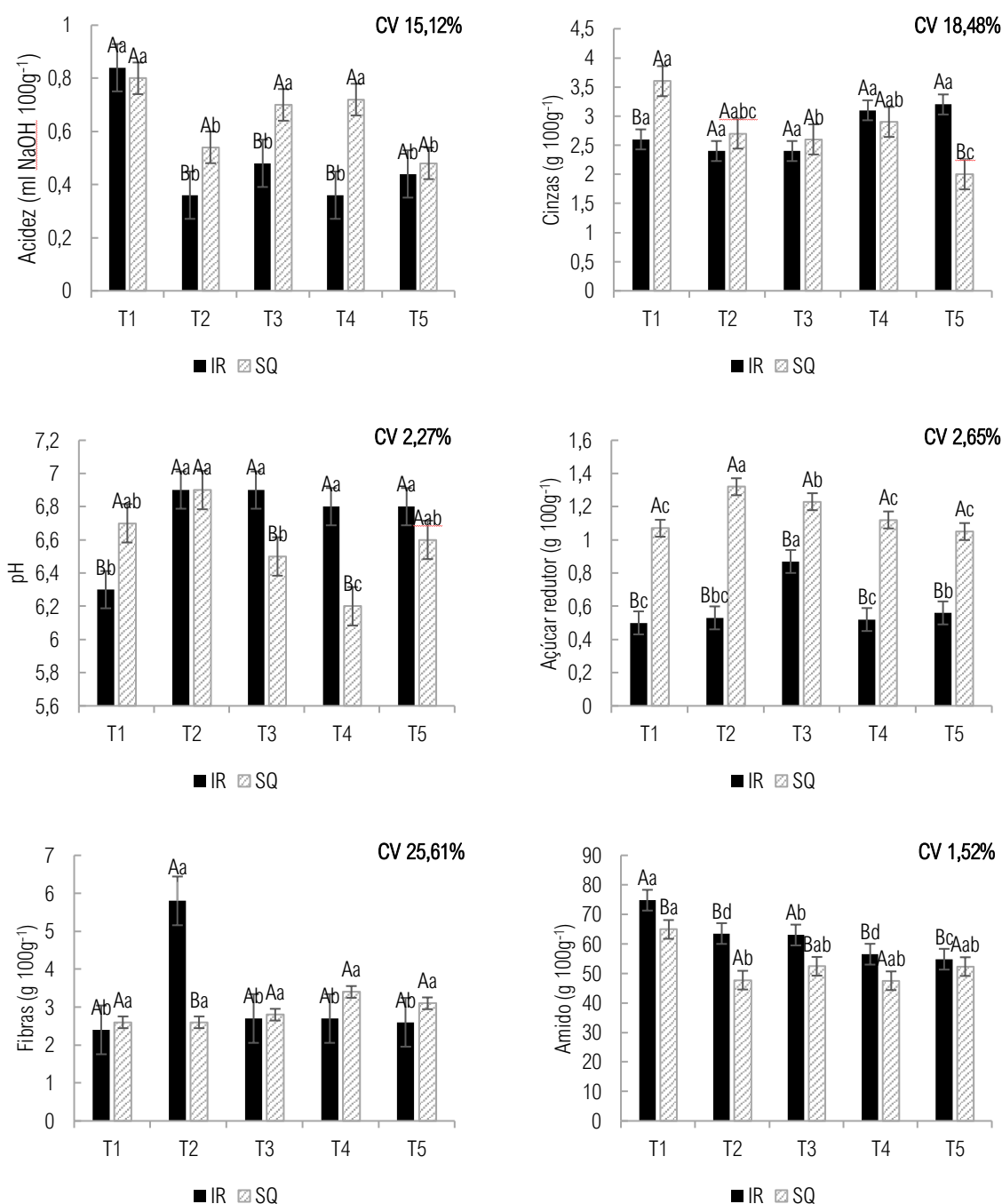
Variáveis seguidas de: (ns) indicam ausência de diferenças significativas; (C) indicam diferenças significativas somente no fator cultivo; (A) indicam diferenças significativas somente no fator adubação; (A,C) indicam diferenças significativas no fator Cultivo e também no fator Adubação, mas sem ocorrência de interações, pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos.

No que diz respeito as interações, na primeira safra houve reduções nos teores de acidez titulável com uso da irrigação com exceção dos tratamentos T1 e T5, que também demonstraram desempenho similar entre os sistemas de cultivo adotados. Ao mesmo tempo, aumentos nas faixas de pH foram obtidos com o uso da irrigação e, nesse caso, os tratamentos T2 e T5 não demonstraram variações entre o sistema de manejo adotado (Figura 13).

De modo geral, no que concerne aos acúmulos de cinzas e de fibra bruta, as adubações utilizadas em T2, T3 e T4 contribuíram para que o desempenho da cultura fosse superior em sistema irrigado e de sequeiro (Figura 13).

Quanto aos teores de amido e açúcares redutores, as médias para ambas as variáveis foram significativamente maiores nos tratamentos T1, T2 e T3. O uso da irrigação aumentou as taxas de amido, mas reduziu os índices de açúcares redutores (Figura 13).

**Figura 13 - Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) na composição físico-química de raízes de mandioca para indústria na safra 1**

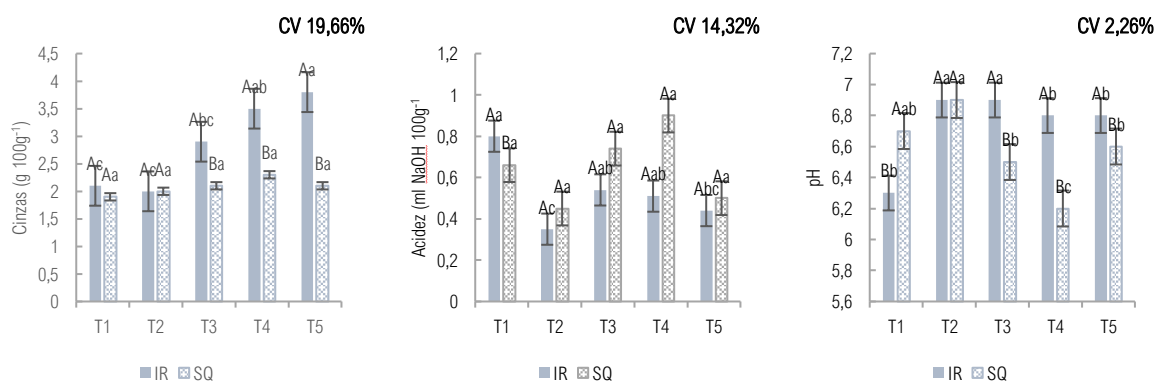


Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

A Figura 14 demonstra a ocorrência de interações entre os fatores nos teores de cinzas, acidez titulável e níveis de pH na safra 2. Os desdobramentos indicam que houve incrementos expressivos nos teores de cinzas quando foram utilizados os tratamentos T4 e T2 em sequeiro, e T4 e T5 em cultivo irrigado. De modo geral, o desempenho da cultura foi significativamente maior quando atrelados os tratamentos supracitados ao uso da irrigação e, mesmo nos tratamentos controle, a irrigação foi capaz de influenciar positivamente.

Para a acidez titulável, observou-se reduções nos índices médios em cultivo irrigado, à medida que as faixas de pH foram significativamente superiores quando a cultura foi submetida ao manejo irrigado, notadamente nos tratamentos T3, T5 e T4.

**Figura 14. Interação entre fontes de adubação e sistemas de cultivo (IR - Irrigado; SQ - Sequeiro) na composição físico-química de raízes de mandioca para indústria na safra 2.**



Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo fator cultivo (IR; SQ) e seguidas de letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo fator adubação (T1, T2, T3, T4 e T5), pelo teste de Tukey a 5% ou 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação. Legenda: IR – cultivo irrigado; SQ – cultivo de sequeiro; T1 – NPK/ Testemunha, T2 – NPK + Esterco bovino, T3 – NPK + Ácido húmico, T4 – NPK + Aminoácidos, T5 – NPK + Ácidos húmicos+ Aminoácidos

Na composição físico-química, os teores de umidade se mantiveram abaixo da legislação – 14% (BRASIL, 2011), mas se adequaram às recomendações da TACO (2011), que preconiza o nível de umidade ideal de 9.4%. Os níveis de pH e acidez foram satisfatórios, sendo em ambas as safras acima de 4.5 (pH) e abaixo 3.0 (acidez), respectivamente. Segundo Suarez et al. (2013), a maioria dos microrganismos se proliferam em pH inferior a 4.5 e isso significa que os tratamentos utilizados não afetaram negativamente na qualidade das raízes, sendo aptas para o

processamento industrial. Para acidez, valores abaixo de 3 indicam que as raízes podem estar sob deterioração microbiana.

O teor de cinzas, matéria total não cinerável, é uma indicação da riqueza mineral e do conteúdo não volátil da mandioca (MONTAGNAC et al., 2009). Todos os níveis atingidos neste trabalho, inclusive nos tratamentos controle, foram superiores aos indicados pela legislação (BRASIL, 2011) cujo valor ótimo é de até 1.4 g 100g<sup>-1</sup>, e também foram maiores do que os níveis indicados pela TACO (2011) que é de 0.9 g 100g<sup>-1</sup>.

Os teores médios de fibra bruta estão abaixo de 6.4 g 100g<sup>-1</sup> conforme a TACO (2011), mas estão acima da recomendação da legislação que indica 2.3 g 100g<sup>-1</sup> (BRASIL, 2011). Apesar disso, não são características que conferem qualidade imprópria para a mandioca, uma vez que as recomendações estimativas não levam em consideração as particularidades das cultivares. As taxas de proteínas encontradas neste trabalho foram superiores a indicada pela TACO (2011) que é de 1.6g 100g<sup>-1</sup>.

Os teores de amido estiveram abaixo das recomendações postuladas pela Legislação (BRASIL, 2011), cujo valor mínimo é de 80 g 100g<sup>-1</sup>, mas os valores de açúcares redutores foram superiores aos reportados por Cereda (2003), que estimaram valor médio de até 0.2g 100g<sup>-1</sup>.

Além da obtenção de rendimentos elevados, a composição físico-química foi afetada pela irrigação, principalmente nos valores de amido e açúcares redutores, os resultados sugerem que estas variáveis foram mais dependentes do sistema de cultivo utilizado em relação as adubações. A irrigação foi apontada por Orek et al. (2020) como fator chave no rendimento da mandioca. Além disso, têm efeitos significativos nas propriedades físico-químicas (AHMED et al., 2019)

O amido é o principal componente da mandioca e é uma matéria-prima utilizada para diversas finalidades (Santelia; Zeeman, 2011). Nos resultados obtidos neste trabalho, verificaram-se reduções nos teores de amido e aumento nos teores de açúcares redutores nos tratamentos sob regime de sequeiro. Isso pode ser um indicativo de que a degradação do amido nestes tratamentos ocorreu em uma taxa maior, ou pode indicar a realocação deste para outras partes da planta.

Reduções nos teores de amido e elevação nos teores de açúcares redutores em plantas de milho sob estresse hídrico já haviam sido relatados por Tharkur; Rai (1980). Desde então, trabalhos recentes como os de Dien et al. (2019) e Thalman;

Santelia (2017) têm buscado respostas sobre o amido como uma molécula chave na mediação das respostas de diferentes espécies de plantas aos estresses abióticos.

De acordo Krasensky; Jonak (2012), nestas condições, as plantas remobilizam o amido para fornecer energia e carbono para a fotossíntese. Os açúcares liberados e outros metabólitos derivados regulam o crescimento da planta sob estresse e funcionam como osmorreguladores, uma vez que são ricos em potássio e solutos compatíveis para inibir o efeito negativo da disponibilidade de água em níveis insustentáveis.

Por fim, tendo em vista os resultados obtidos neste trabalho, foi possível verificar que a mandioca foi capaz de responder à irrigação e apesar de seus mecanismos naturais de proteção contra estresses, a aplicação de ácidos húmicos associada a aminoácidos pode ser fonte de nutrientes e de substâncias que ajudam na modulação de processos bioquímicos e fisiológicos que elevam o desempenho da cultura, de maneira sustentável.

O uso isolado de aminoácidos não foi suficiente para elevar o desempenho da cultura nessas condições experimentais, mas aumentou a absorção de nutrientes e promoveu mudanças notórias na composição físico-química. Entretanto, é possível que alguns de seus componentes sejam estocados de alguma maneira pela cultura como mecanismo de defesa para serem utilizados na ocasião de estresses abióticos mais acentuados.

O uso do esterco bovino proporcionou comportamento semelhante da planta em relação aos sistemas de cultivo adotados, sendo similar tanto em cultivo irrigado quanto em sequeiro. Isso evidencia que caso não haja a possibilidade ou mesmo que não seja adotada a irrigação para o cultivo da mandioca, o uso deste tratamento pode ajudar a cultura a manter o desempenho mesmo não sendo irrigada. Dessa forma, sendo possível elevar a produtividade e manter ou melhorar a qualidade físico-química, podendo variar de acordo com a cultivar utilizada e com as condições climáticas.

## 5 CONCLUSÕES

Todos os tratamentos foram eficazes para a nutrição da mandioca.

O uso de esterco bovino aumenta a altura, o diâmetro das hastes, eleva o acúmulo e partição de matéria seca e, sobretudo, proporciona as maiores produtividades independentemente do uso da irrigação.

As adubações com esterco bovino, ou aminoácidos, ou ácido húmico+aminoácidos aumentam o diâmetro das raízes, o teor de fibras, cinzas, umidade, amido e açúcares redutores.

A irrigação aumenta o diâmetro e a altura das hastes, a extração de macro e micronutrientes, assim como amplifica o número de raízes e eleva a produtividade; melhora a qualidade físico-química das raízes de mandioca para indústria, mas diminui o teor de fibra bruta e de açúcares redutores.

Os padrões de qualidade das raízes obtidas se mantiveram dentro dos índices recomendados. Não houve interferências negativas dos tratamentos.



## REFERÊNCIAS

- ABDULAMEER, O. Q.; AHMED, S. A. Role of humic acid in improving growth characters of corn under water stress. **The Iraqi Journal of Agricultural Science**, v. 50, n. 1, p. 420-430, 2019. DOI: <https://doi.org/10.36103/ijas.v50i1.308>
- ADJEBENG-DANQUAH, J.; et al. Genetic variability in storage root bulking of cassava genotypes under irrigation and no irrigation. **Agriculture & Food Security**, v.5, p.9, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40066-016-0055-7>
- AHMED, S. et al. Fine molecular structure and its effects on physicochemical properties of starches in potatoes grown in two locations. **Food Hydrocolloids**, v. 97, p. 105172, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105172>
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, Rome: FAO. **Irrigation and drainage paper**, v. 56, 301p., 1998.
- ALVES, A. A. C. et al. **Cassava botany and physiology**. Cassava: biology, production and utilization, v. 1, p. 67-89, 2002.
- AMIRKHANI, M. et al. Investigation of soy protein–based biostimulant seed coating for broccoli seedling and plant growth enhancement. **HortScience**, v. 51, n. 9, p. 1121-1126, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10913-16>
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL. 19th. AOAC INTERNATIONAL. Gaithersburg, MD, EUA. 2012.
- ATIYEH, R. M. et al. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. **Bioresource technology**, v. 84, n. 1, p. 7-14, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00017-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00017-2)
- BEECHING, J. R. Manihot esculenta Cassava. Wiley Online Library, **Enciclopedy Life Sciences**, p. 1–7, 2013. DOI: 10.1002/9780470015902.a0023710
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. FUNEP, 2003. 41p.
- BENNETT, B. Guest editorial: smallholder cassava production and the cassava processing sector in Africa. **Food Chain**, v. 5, p.1–2, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.3362/2046-1887.2015.001>
- BETTONI, M. M. et al. Nutritional quality and yield of onion as affected by different application methods and doses of humic substances. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 51, p. 37-44, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.06.008>
- BRASIL, Instrução Normativa n. 52, de 07 de novembro de 2011. Regulamento técnico para o padrão oficial de classificação da farinha de mandioca. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Acesso em: 23 de dez. 2021.

BRASIL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Coordenadores: Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet, Paulo Tiglea. ed. 1. ed. digital. São Paulo: **Instituto Adolfo Lutz**, 2008. 1020p.

BRAZINSKIENE, V.; GAIVELYTE, K. **Organic potatoes**. In: Singh J, Kaur L (eds) *Advances in potato chemistry and technology*. Academic Press, London, p 315–337, 2016.

BULGARI, R. et al. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. **Agronomy**, v. 9, n. 6, p. 306, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>

BURNS, A.; GLEADOW, R., CLIFF, J.; ZACARIAS, A.; CAVAGNARO, T. Cassava: the drought, war and famine crop in a changing world. **Sustainability**, v. 2, p. 3572–3607, 2010. DOI:10.3390/su2113572

BYJU, G.; SUJA, G. Mineral nutrition of cassava. In: *Advances in Agronomy*. **Academic Press**, p. 169-235, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.08.005>

CAMPO, B.V.H.; HYMAN, G.; BELLOTTI, A. Threats to cassava production: known and potential geographic distribution of four key biotic constraints. **Food Security**, v. 3 (3), p. 329-345, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0141-4>

CANELLAS, P. L. et al. A combination of humic substances and *Herbaspirillum seropedicae* inoculation enhances the growth of maize (*Zea mays* L.). **Plant Soil**, v.366, p.119–132, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1382-5>

CANELLAS, L. P. et al. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase activity in maize roots. **Plant physiology**, v. 130, n. 4, p. 1951-1957, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.007088>

CALVO, P. et al. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and soil**, v. 383, n. 1-2, p. 3-41, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>

CARADONIA, F. et al. Plant biostimulant regulatory framework: prospects in europe and current situation at international level. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, n. 2, p. 438-448, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9853-4>

CASSITY-DUFFEY, K.; CABRERA, M.; REMA, J. Ammonia volatilization from broiler litter: effect of soil water content and humidity. **Soil Science Society of America Journal**, v.79, p.543-550, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.07.0294>

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3, 711 p.

- CHBANI, A.; MAWLAWI, H.; ZAOUK, L. Evaluation of brown seaweed (Padinapavonica) as biostimulant of plant growth and development. **Afr J Ag Res**, v.8: p. 1155–1165, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1346>
- COLLA, G. et al. Foliar applications of protein hydrolysate, plant and seaweed extracts increase yield but differentially modulate fruit quality of greenhouse tomato. **HortScience**, v. 52, n. 9, p. 1214-1220, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12200-17>
- COLLA, G. et al. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 28-38, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.037>
- COLLA, G., ROUPHAEL, Y. Biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 1-134, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.044>
- COLLA, G. et al. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 448, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00448>
- CONNOR, D. J. An experimentally-calibrated model of photosynthesis, assimilate partitioning and tuber yield in cassava in response to water supply to assist crop management and improvement. **Field Crops Research**, v. 242, p. 107606, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107606>
- CORREA, J.C. et al. Organic, organomineral, and mineral fertilizers with uréase and nitrification inhibitors for wheat and corn under no-tillage. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.51, n.8, p.916-924, 2016.
- DA SILVA, P. P. et al. Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. **Industrial Crops and Products**, v. 37, n. 1, p. 11-19, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.11.015>
- De TARSO, A.S. et al. Características fisiológicas, produção total de raízes e de parte aérea em acessos de Manihot esculenta em condições de déficit hídrico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n.7, p. 685-696, 2015.
- DELAQUIS, E. et al. On-farm diversity offsets environmental pressures in tropical agro-ecosystems: a synthetic review for cassava-based systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 251, p. 226-235, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.037>
- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.
- de VASCONCELOS, A.C. F.; CHAVES, L. H. G. **Biostimulants and their role in improving plant growth under abiotic stresses**. In: MIRMAJLESSI, S. M.;

RADHAKRISHMAN, R. (Ed.). **Biostimulants in plant Science**. London, UK: IntechOpen, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.88829>

DIEN, D. et al. Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in Rice (*Oryza sativa* L.) varieties. **Plant Production Science**, v.22 n 4, p.530–545, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/1343943X.2019.1647787>

DORDAS, C. A. et al. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 80, n. 3, p. 283-296, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-007-9143-1>

DRUILHE, Z.; BARREIRO-HURLÉ, J. Fertilizer subsidies in sub-Saharan Africa. ESA Working paper. Rome, **FAO**. 2002. 73p. DOI: 10.22004 / ag.econ.288997

DU JARDIN, P. et al. Agricultural Functions and Action Mechanisms of Plant Biostimulants (PBs) an Introduction. **The Chemical Biology of Plant Biostimulants**, p. 1-30, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119357254.ch1>

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

DUQUE, L. O.; SETTER, T. L. Partitioning index and non-structural carbohydrate dynamics among contrasting cassava genotypes under early terminal water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 163, p. 24-35, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.03.023>

EMBRAPA - Mandioca e Fruticultura. **Produção de raízes e manivas de mandioca - Práticas agrícolas essenciais para a boa produção de raízes e de manivas**, 2017. 6 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2006. 306 p.

ERTANI, A. et al. The use of organic biostimulants in hot pepper plants to help low input sustainable agriculture. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 11, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-015-0039-z>

ERTANI, A et al. **Long-term research activity on the biostimulant properties of natural origin compounds**. In: I World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture 1009. p. 181-187, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1009.22>

ERTANI, A. et al. Effect of commercial lignosulfonate-humate on *Zea mays* L. metabolism. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 22, p. 11940-11948, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf202473e>

- ERTANI, A. et al. Biostimulant activity of two protein hydrolyzates in the growth and nitrogen metabolism of maize seedlings. **Journal of plant nutrition and soil science**, v. 172, n. 2, p. 237-244, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200800174>
- EZUI, K. S. et al. Water and radiation use efficiencies explain the effect of potassium on the productivity of cassava. **European Journal of Agronomy**, v. 83, p. 28-39, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.005>
- EZUI, K.S. et al. Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West. **Africa Field Crops Res.**, v. 185, p.69-78, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.005>
- FAN, H. et al. Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. **Scientia Horticulturae**, v. 177, p. 118-123, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.010>
- FAOSTAT. (2020). Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> > Acesso em: 10 nov. 2021.
- FENING, J. O. et al. Effect of site characteristics on the productivity and economic returns from cassava legume intercropping in Ghana. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 3, n. 10, p. 326 – 331, 2009.
- FIUZA, D.S. et al. Avaliação de condutância estomática e temperatura foliar em variedades de mandioca submetidos a diferentes regimes climáticos. In: XIII **Congresso Brasileiro de mandioca**. Botucatu, jul. 2009. Anais do XIII Congresso Brasileiro de mandioca. Botucatu, p. 632-637, 2009.
- FORBES, S. J. et al. Elevated temperature and carbon dioxide alter resource allocation to growth, storage and defence in cassava (*Manihot esculenta*). **Environmental and Experimental Botany**, p. 103997, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.103997>
- GATIBONI, L. C.; NICOLOSO, R. da S. **Uso de dejetos animais como fertilizante: impactos ambientais e a experiência de Santa Catarina**. In: PALHARES, J. C. P. P. Produção animal e recursos hídricos: Tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente de insumos. Brasília-DF: Embrapa Suínos e Aves-Livro científico (ALICE), 2019.
- GHAFOOR, R. et al. Exogenously applied proline induced changes in key anatomical features and physio-biochemical attributes in water stressed oat (*Avena sativa* L.) plants. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 25, n. 5, p. 1121-1135, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00683-3>
- GRABOWSKA, A. et al. The effect of cultivar and biostimulant treatment on the carrot yield and its quality. **Vegetable Crops Research Bulletin**, v. 77, n. 2012, p. 37-48, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10032-012-0014-1>

GUO, X. et al. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. **Science of the total environment**, v. 662, p. 501-510, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>

HALPERN, M. et al. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. **Advances in agronomy. Academic Press**, p. 141-174, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001>

HAZRATI, S. et al. Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of Aloe vera L. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 66-72, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.026>

HONG, J.; et al. Recent Advances in Techniques for Starch Esters and the Applications: **A Review. Foods**, v. 5, n. 3, p. 50, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods5030050>

HOWELER, R.L., et al. Save and Grow Cassava: A Guide to Sustainable Production Intensification. FAO, Roma (Italia), 2013. *Disponível em*: <<http://www.fao.org/3/a-i3278e.pdf>>

HOWELER, R.H. Cassava mineral nutrition and utilization. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A.C. (Ed.). Cassava: Biology, Production and Utilization. Wallingford NY: CABI Publishing, p.115-147, 2002.

HOWELER, R.H. **Potassium nutrition of cassava**. In: MUNSON, R.D., (Ed). Potassium in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, p. 819-841, 1985. DOI: <https://doi.org/10.2134/1985.potassium.c35>

HUSSEIN, H. A. et al. Effect of L-Ornithine application on improving drought tolerance in sugar beet plants. **Heliyon**, v. 5, n. 10, p. e02631, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02631>

IAEA. **Guidelines on Nitrogen Management in Agricultural Systems International Atomic Energy Agency**. Agency's Laboratories, Seibersdorf, Austria, 2008.

IDAE. **Ahorro e Eficiência Energética na Agricultura de Regadío**, Madri, 2005.

ILLERA-VIVES, M. et al. Agronomic assessment of a compost consisting of seaweed and fish waste as organic fertilizer for organic potato crops. **J ApplPhycol**, v.29, p.1663–1671, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1053-2>

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION. 1987. Norme ISO 6647 (F). **Riz – Determination de La teneur em amylose**. Switzerland. 3p.

IQBAL, A. et al. Manure combined with chemical fertilizer increases rice productivity by improving soil health, post-anthesis biomass yield, and nitrogen metabolism. **Plos one**, v. 15, n. 10, p. e0238934, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238934>

JANSSON, C. et al. Cassava, a potential biofuel crop in China. **Applied Energy**., v. 86, p. 95-9, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.05.011>

JANZEN, H. H., et al. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Science Society of America Journal*, v. 56, n. 6, p. 1799-1806, 1992. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600060025x>

LEONEL, M. et al. Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). In: LEONEL, M.; FERNANDES, A. M.; FRANCO, C. M. L. (1ª Ed). Culturas amiláceas: batata-doce, inhame, mandioca e mandioquinha-salsa. Botucatu-SP: CERAT/UNESP, p. 183-303, 2015.

KANG, L. et al. Screening of diverse cassava genotypes based on nitrogen uptake efficiency and yield. **Journal of Integrative Agriculture**, v.19, p.965-974, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62746-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62746-2)

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649p.

KRASENSKY, J. et al. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. **Journal of Experimental Botany**, v, 63, n.4, p.1593–1608, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/err460>

KUMAR, S. et al. Effect of differential soil moisture and nutrient regimes on postharvest attributes of onion (*Allium cepa* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 112, n. 2, p. 121-129, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.024>

LABAN, T.F. et al. Evaluation of Ugandan cassava germplasm for drought tolerance. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v.5, p.212-226, 2013.

LI, Y. et al. Effects of deficit irrigation on photosynthesis, photosynthate allocation, and water use efficiency of sugar beet. **Agricultural Water Management**, v. 223, p. 105701, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105701>

LOBELL, D. B.; et al. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. **Science**, v.319, p.607-610, 2008.

LOPES, A. C. et al. Complementação da irrigação e épocas de colheita de mandioca cv. coqueiro no Planalto de Conquista, BA. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 579-587, 2010.

LORENZI, J. O. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 221-229. (Boletim Técnico, 100).

MAFRA, M.S.H. et al. Organic carbon contents and stocks in particle size fractions of a Typic Hapludox fertilized with pig slurry and soluble fertilizer. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1161-1171, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcS20140177>

MAGOLBO, L. A. S. **Efeito da adubação fosfatada no crescimento, produtividade e acúmulo de fósforo e amido em mandioca para indústria.** 2019. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Luiz de Mesquita Filho”, Botucatu - SP, 2019.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Potafós, 1997. 304p.

MAJI, D. et al. Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. **Applied soil ecology**, v. 110, p. 97-108, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.10.008>

MATOS, F. S. et al. Produtividade de cultivares de mandioca sob déficit hídrico. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v. 2, n. 1, 2016.

MIRANDA, V. R.; CARVALHO, A. J. F. Blendas compatíveis de amido termoplástico e polietileno de baixa densidade compatibilizadas com ácido cítrico. **Polímeros**, v. 21, n. 5, p. 353-360, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282011005000067>

MONTAGNAC, J. A. et al. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 8, n. 3, p. 181-194, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00077.x>

MOONEY, H. A.; WINNER, W. E. Partitioning response of plants to stress. In: MOONEY, H. A.; WINNER, W. E.; PELL, E. J. (Ed). *Responses of plants to multiple stresses*, San Diego, USA: Academic Press, p.129-142, 1991.

NELSON, N. et al. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **J. biol. Chem**, v. 153, n. 2, p. 375-380, 1944.

NETTO, A. T., et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Cientia Horticulturae**, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.013>

NJUKI, E.; BRAVO-URETA, B. Irrigation water use and technical efficiencies: Accounting for technological and environmental heterogeneity in U.S. agriculture using random parameters. **Water Resources and Economics**, v. 24, p.1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wre.2018.02.004>

OLIVEIRA, F. A. et al. Tolerância do maxixeiro, cultivado em vasos, à salinidade da água de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa - MG, v. 61, n.1, p. 147-154, 2014.

OLIVEIRA, M. et al. Produtividade de raízes de mandioca em função do emprego de biofertilizante, composto orgânico e adubação verde. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n.1, 2018.

OKOGBENIN, E. et al. Phenotypic approaches to drought in *Manihot esculenta*. **Frontiers in Physiology**, v. 4, p. 93, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00093>

OREK, C. et al. Morpho-physiological and molecular evaluation of drought tolerance in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Field Crops Research**, v. 255, p. 107861, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107861>

PAPONG, S. et al. Life cycle energy and environmental assessment of bio-CNG utilization from cassava starch wastewater treatment plants in Thailand Renew. **Energy**, v. 65, p. 64-69, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.012>

PARRY, M. M. et al. Estado nutricional da mandioca cultivada em diferentes épocas sob cobertura morta e duas adubações. **Rev. ciênc. agrária.**, Belém, n. 43, p. 91-114, 2005.

PRAMANICK, B.; et al. Growth, yield and quality improvement of potato tubers through the application of seaweed sap derived from the marine alga *Kappaphycus alvarezii*. **J ApplPhycol**, v.29, p.3253–3260, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1189-0>

PUERTO. P. et al. Remote management of deficit irrigation in almond trees based on maximum daily trunk shrinkage. Water relations and yield. **Agr. Water Management**, n.126, p. 33-45, 2013. DOI: [10.1016/j.agwat.2013.04.013](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.04.013)

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas - SP, Instituto Agrônômico. 284p. 2001.

RAIJ, B. Van et al. **Recomendação de adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 300p. (Boletim 100).

RAMOS, A. R. et al. Bioestimulante no condicionamento fisiológico e tratamento de sementes de feijão. **Revista Biociências**, v. 21, n.1, p. 76-88, 2015.

REDDING, M.R. et al. Manure and sorbent fertilisers increase on-going nutrient availability relative to conventional fertilisers. **Science of the Total Environment**, v. 569–570, p. 927–936, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.068>

RÓS, A. B.; HIRATA, A. C. S.; NARITA, N. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, n.3, p.247-254, 2013.

ROUPHAEL, Y. et al. Foliar applications of a legume-derived protein hydrolysate elicit dose-dependent increases of growth, leaf mineral composition, yield and fruit quality in two greenhouse tomato cultivars. **Scientia horticultrae**, v. 226, p. 353-360, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.007>

ROUPHAEL, Y. et al. Effect of *Ecklonia maxima* seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange, and leaf anatomy of zucchini squash grown under saline

conditions. **Journal of applied phycology**, v. 29, n. 1, p. 459-470, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0937-x>

SANTELIA, Diana; ZEEMAN, Samuel C. Progress in Arabidopsis starch research and potential biotechnological applications. **Current opinion in biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 271-280, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.11.014>

SANTI, C. et al. Growth stimulatory effects and genome-wide transcriptional changes produced by protein hydrolysates in maize seedlings. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 433, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00433>

SANTOS, C. M.; ESCOBEDO, J. F. Temporal variability of atmospheric turbidity and DNI attenuation in the sugarcane region, Botucatu/SP. **Atmospheric Research**, v.181, p. 312–321, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.07.012>

SCHIAVON, M.; ERTANI, A.; NARDI, S. Effects of an alfalfa protein hydrolysate on the gene expression and activity of enzymes of the tricarboxylic acid (TCA) cycle and nitrogen metabolism in *Zea mays* L. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 56, n. 24, p. 11800-11808, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf802362g>

SHEHATA, S. M. et al. Effect of foliar spraying with amino acids and seaweed extract on growth chemical constituents, yield and its quality of celeriac plant. **European Journal of Scientific Research**, v. 58, n. 2, p. 257-265, 2011.

SILESHI, G. W. et al. Stoichiometry of animal manure and implications for nutrient cycling and agriculture in sub-Saharan Africa. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, v. 107, n. 1, p. 91-105, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9817-7>

SILVA, A. et al. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. **The Journal of Agricultural Science**, v.152, n.1, p.104-118, 2014. DOI:10.1017/S0021859612000834

SILVA, C. F. et al. Cultivo de mandioca com emprego de adubos orgânicos e seu efeito na qualidade industrial das raízes. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

SINGH, M. et al. Role of Biofertilizers in Conservation Agriculture. **Conservation Agriculture**, p. 113-134, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-2558-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-10-2558-7_4)

SUAREZ, T. O. F. et al. **Teor de umidade e pH da farinha de mandioca comercializada na feira do produtor no município de Coari-AM**. In: Anais do simpósio latino americano de ciências de alimentos, 2013, Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2013. Disponível em: <<https://proceedings.science/slaca/slaca-2013/trabalhos/teor-de-umidade-e-ph-da-farinha-de-mandioca-comercializada-na-feira-do-produtor-no-municipio-de>>. Acesso em: 21 dez. 2021.

SOMOGY, M. Determination of blood sugar. *J. biol. Chem*, v. 160, p. 69-73, 1945.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO 4ª edição revisada e ampliada. 2011. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Disponível em:

<[http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_](http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_)>. Acesso em: 16 nov 2021.

TAPPIBAN, P. et al. Effects of cassava variety and growth location on starch fine structure and physicochemical properties. **Food Hydrocolloids**, p. 106074, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106074>

TAVORA, F.J.A.; BARBOSA FILHO, M. Antecipação de plantio, com irrigação suplementar, no crescimento e produção de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.12, p.1919-1926, 1994.

THALMANN, M.; SANTELIA, D. Starch as a determinant of plant fitness under abiotic stress. **New phytologist**, v. 214, n.3, p.943-951, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14491>

THAKUR, P.S; RAI, V. K. Water stress effects on maize: Carbohydrate metabolism of resistente e suscetível cultivars of Zea mays L. **Biologia Plantarum**, v. 22, p. 50-56, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02878127>

TURYAGYENDA, L.F. et al. Physiological and molecular haracterization of drought responses and identification of candidate tolerance genes in cassava. *AoB Plants*, v.5, p. 1-17, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plt007>

WADDINGTON. S.R. et al. Getting the focus right: production constraints for six major food crops in Asian and African farming systems. **Food Security**, v. 2, n.1, p. 27-48, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0053-8>

WESTERMANN, D. T. et al. Nitrogen and potassium fertilization of potatos: sugars and starch. **American Potato Journal**, v. 71, n. 7, p. 433-453, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02849098>

XU, J. et al. Enhanced reactive oxygen species scavenging by overproduction of superoxide dismutase and catalase delays postharvest physiological deterioration of cassava storage roots. **Plant Physiology**, v. 161 (3), p.1517-1528, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.112.212803>

YAKHIN, O. I. et al. Biostimulants in plant science: a global perspective. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 2049, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

YE, Y. et al. Effects of post-silking water deficit on the leaf photosynthesis and senescence of waxy maize. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 9, p. 2216-2228, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63158-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63158-6)

YINGDONG, Y.; JIAJONG, L.; YING, W.; CHENYAO, X.; JINJUN, Z. Practicality of using solar energy for cassava irrigation in the Guangxi Autonomous Region, China. **Applied energy**, v. 230, p. 31-41, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.060>

YOUNG, C. C.; CHEN, L. F. Polyamines in humic acid and their effect on radical growth of lettuce seedlings. **Plant and Soil**, v. 195, n. 1, p. 143-149, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004247302388>

ZANETTI, S. Caracterização morfológica e nutricional em diferentes estádios fenológicos da mandioca em diferentes estádios fenológicos da mandioca de mesa IAC 576-70 sob deficiência hídrica. 2016. 72f. (Mestrado em Agronomia: Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu-SP, 2016.

ZHAO, P.; et al. Analysis of different strategies adapted by two cassava cultivars in response to drought stress: ensuring survival or continuing growth. **Journal of Experimental Botany**, v.66, p. 1477-1488, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eru507>