

Ecofisiologia da Mandioca

Visando Altas Produtividades



Simanihot

Luana Fernades Tironi, Alencar Junior Zanon, Alexandre Ferigolo Alves,
Charles Patrick de Oliveira de Freitas, Amanda Thirza Lima Santos,
Paula de Souza Cardoso, Gilmara Peripolli Tonel,
Luíza Brum Rodrigues, Bruna Lago Tagliapietra,
Maritiele Naissinger da Silva, Nereu Augusto Streck.

Ecofisiologia da Mandioca

Visando Altas Produtividades

I^a Edição

Santa Maria
2023

© Todos os direitos reservados aos autores.

Projeto gráfico e capa

Fabricio Spanevello Pergher

Fotografia

Alfredo Schons (*in memoriam*)

Ary Duarte, Autores

Eduardo Daniel Friedrich

Fluída Assessoria de Comunicação

Marco Antonio Sedrez Rangel

Prof. Patrício Orozco - Contreras

Revisão

Autores

Impressão

Grafica Editora Pallotti

Dados Internacionais de Catalogação da Publicação - CIP

E19

Ecofisiologia da Mandioca Visando Altas Produtividades
[recurso eletrônico] / Luana Fernandes Tironi... [et al.].
– Santa Maria: [s.n.], 2023.
136 p.

Disponível em PDF.

ISBN: 978-65-89469-86-5

1.Mandioca 2. Manejo I. Título

CDU 633.493

Bibliotecária responsável Trilce Morales – CRB 10/2209

Conselho Editorial

Luana Fernandes Tironi, Engenheira Agrônoma, Dr^a. – Extensionista rural agropecuário da EMATER/ASCAR e integrante da Equipe Simanihot.

Alencar Junior Zanon, Engenheiro Agrônomo, Dr. - Professor do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e integrante da Equipe Simanihot.

Alexandre Ferigolo Alves, Engenheiro Agrônomo - Aluno de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na UFSM e integrante da Equipe Simanihot.

Charles Patrick de Oliveira de Freitas, Engenheiro Agrônomo - Aluno de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia na UFSM e integrante da Equipe Simanihot.

Amanda Thirza Lima Santos, Engenheira Agrônoma, Ma. – Aluna de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia na UFSM e integrante da Equipe Simanihot.

Paula de Souza Cardoso, Engenheira Agrícola – Aluna de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na UFSM e integrante da Equipe Simanihot.

Gilmara Peripolli Tonel, Técnica em Alimentos. – Aluna do Técnico em Agropecuária no Colégio Politécnico da UFSM e integrante da Equipe Simanihot.

Luiza Brum Rodrigues – Aluna de graduação em Agronomia da UFSM e integrante da Equipe Simanihot.

Bruna Lago Tagliapietra, Nutricionista – Aluna de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia dos Alimentos na UFSM e integrante da Equipe Simanihot.

Maritiele Naissinger da Silva, Nutricionista Ma. – Aluna de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia dos Alimentos na UFSM e integrante da Equipe Simanihot.

Nereu Augusto Streck, Engenheiro Agrônomo, PhD – Professor do Departamento de Fitotecnia da UFSM e integrante da Equipe Simanihot.

Agradecimentos

Este livro é resultado de 15 anos de pesquisa de campo, e com base em demanda do produtor e da extensão rural realizada pela Equipe Simanihot, com foco em propor alternativas para a Agricultura Familiar. Nossos agradecimentos às instituições parceiras da Equipe Simanihot que, de uma forma ou outra, contribuíram e viabilizaram a materialização do livro **Ecofisiologia da Mandioca Visando Altas Produtividades**.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelas bolsas de estudo a nível técnico, graduação e pós-graduação.

Aos Extensionistas da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/RS-ASCAR) e aos Pesquisadores da Empresa Brasileira de Assistência Agropecuária (EMBRAPA) pelo auxílio na condução e avaliação dos experimentos.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - *Campus* Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria - *Campus* Frederico Westphalen, Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – *Campus* Itaqui e aos professores, servidores e alunos da Escola Estadual de Ensino Fundamental Nossa Senhora Aparecida, pelo auxílio na condução e avaliação dos experimentos.

Aos produtores rurais que abriram suas propriedades e permitiram a condução de pesquisas em suas lavouras, em especial a família Muller de Vera Cruz/RS, a família Steindorff de Dilermando de Aguiar/RS,

a família Puntel de Ibarama/RS, a família Terhorst de Tupanciretã/RS e a família Avila de Santa Maria/RS.

Aos alunos de nível técnico, graduação e pós-graduação da UFSM - *Campus* Santa Maria e *Campus* Frederico Westphalen, UNIPAMPA e do Colégio Politécnico (UFSM) pela coleta de dados e condução dos experimentos com esforço e dedicação.

A Lenda da Mandioca...

Em tempo muito antigo uma tribo da nação guarani andava passando por grandes dificuldades para arranjar comida, pois o tempo correrá mal, as roças não estavam bem e até a caça andava pouca por todo aquele sertão. O cacique da referida tribo tinha uma filha muito linda e também muito bondosa, sendo por isso bastante estimada por todos. Pois aconteceu que um dia a jovem e bela índia, que não tinha marido, apareceu grávida. Como era natural, o inesperado acontecimento chocou profundamente e irritou ao valente cacique que botou a filha em confissão para revelar quem era o pai da criança. A jovem índia, por sua vez, insistia em dizer que nunca havia namorado ninguém.

O cacique não acreditando na filha rogou aos Deuses que punisse a jovem índia. Sua raiva por essa vergonha era tamanha que ele estava disposto a sacrificar a sua filha. Porém, numa noite ao dormir o cacique sonhara com um homem que lhe dizia para acreditar na índia e não a punir. Após os nove meses da gravidez, a jovem índia deu à luz a uma menina e deu-lhe o nome de Mani. A criança cresceu cercada pelo carinho de todos, sendo muito mimada e admirada por sua extraordinária beleza não só pelos índios da tribo como por todos das redondezas até onde chegava a sua fama. Entretanto, ao completar um ano, quando já falava e caminhava com desembaraço, a indiazinha morre de uma doença misteriosa e sem mostra de sofrimento, apesar de muitos esforços do pajé para a salvar.

Levaram então o corpinho de Mani e o enterraram em uma coxilha verdejante, e seu túmulo foi regado pelo pranto de todos os índios da tribo. Na noite que seguiu, a mãe de Mani, após muito chorar, dormiu

e sonhou. E no sonho lhe apareceu Tupã e lhe disse que da sepultura de Mani nasceria uma planta da qual, se fizessem alimento e bebida, a tribo jamais passaria fome. Passado algum tempo, ao raiar de um belo dia de sol, a mãe de Mani junto com outros índios viu deslumbrada que uma planta verde, bonita e até então desconhecida para eles, brotava do túmulo de Mani. Era o sonho da jovem índia que se realizava. E todos sentiram que Tupã os estava protegendo.

Em memória da indiazinha santa deram a nova planta o nome de Manioca, palavra que mais tarde se transformou em Mandioca. Com o passar do tempo os índios notaram que ao redor da planta a terra rachara. Cavaram e encontraram logo raízes carnosas com a massa branca lembrando-lhes o corpo da indiazinha morta. Com as raízes fizeram alimento, e também delas, conforme ordenara Tupã à filha do Cacique, prepararam uma bebida, o cauim, com o qual se embriagavam em dias de festa. (Machado, 1983)

Apresentação

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), espécie da família Euphorbiaceae, tem sido, através dos tempos, uma das culturas de maior importância para as populações de baixa renda nas regiões tropicais. Ela caracteriza-se pela ampla adaptação a condições de solo e clima e pela alta capacidade de produção de amido. Sua importância decorre, também, do aproveitamento integral da planta, já que a utilização da parte aérea apresenta grande potencial na alimentação animal, dado o seu alto teor de proteína. No entanto, devido ao baixo investimento em pesquisa na cultura da mandioca no país, há uma grande lacuna no conhecimento básico e aplicado sobre a mesma.

Embora a natureza seja responsável pela maior parte da variação ambiental sobre a produtividade de raízes, o produtor de mandioca pode alterar o ambiente pela adoção de práticas de manejo adequadas. No entanto, para que essa estratégia funcione, é necessário compreender como a planta cresce e se desenvolve. Este conhecimento é vital para que as práticas de manejo sejam utilizadas no momento mais oportuno para maximizar o potencial produtivo da planta.

Este livro tem como objetivo detalhar os eventos fenológicos, morfológicos e fisiológicos mais importantes associados ao desenvolvimento da cultura da mandioca, relacionando-os às decisões de manejo. Além disso, ele objetiva caracterizar as exigências climáticas da cultura e os fatores a serem considerados na definição da época de plantio e das demais práticas de manejo.

A expectativa dos autores é de que as informações nele contidas sejam úteis a estudantes de agronomia, professores, pesquisadores, extensionistas e produtores no sentido de atualizarem o conhecimento existente sobre esta importante cultura. Ele certamente contribuirá para preencher a lacuna atual existente no conhecimento.

Os autores e
Paulo Regis Ferreira da Silva, Eng. Agr. PhD,
Prof. da UFRGS (Aposentado),
que lecionou essa cultura no Curso de Graduação em Agronomia
e desenvolveu pesquisas sobre a mesma.

Sumário

Introdução 15

Capítulo 1 | Crescimento e desenvolvimento da mandioca __ 19

1.1 Botânica e morfologia _____	19
1.2 Escala fenológica _____	27
1.2.1 A escala fenológica de Alves (2006) _____	27
1.2.2 A escala fenológica de Burgos (2013) _____	29
1.2.3 A escala fenológica Simanihot (2019) _____	31
1.2.3.1 Fase de emergência _____	33
1.2.3.2 Fase vegetativa _____	34
1.2.3.3 Fase reprodutiva _____	36
1.2.3.4 Fase repouso _____	40
1.3 Como a planta cresce e se desenvolve _____	41

Capítulo 2 | Exigências em manejo da cultura da mandioca __ 47

2.1 Pré-plantio _____	48
2.1.1 Cultivares _____	48
2.1.2 Manivas _____	52
2.1.3 Adubação e calagem _____	54
2.1.4 Arranjo de plantas _____	58
2.1.5 Consórcio _____	61
2.2 Plantio à emergência _____	63
2.3 Emergência à início de acumulação de amido _____	66
2.4 Acumulação de amido à colheita _____	74

2.5 Índice de área foliar	79
2.6 Componentes de produtividade	82
2.7 Armazenamento de ramas	83
Capítulo 3 Exigências climáticas da mandioca	87
3.1 Precipitação	87
3.1.1 Deficiência hídrica	88
3.1.2 Excesso hídrico	91
3.2 Temperatura	94
3.3 Radiação solar	96
3.4 Fotoperíodo	98
3.5 Mudança climática	98
Capítulo 4 Época de plantio	103
4.1 Época de plantio para atingir altas produtividades	103
4.2 Época de plantio para reduzir os riscos de perda de produtividade	106
Capítulo 5 Potencial e lacunas de produtividade	111
Considerações finais	115
Referências	117

Introdução

Você já parou para pensar que pode faltar alimento no futuro? A projeção da população mundial é passar de 7,6 bilhões de pessoas no ano de 2019 para 11,2 bilhões em 2100, gerando uma das principais preocupações e desafios da humanidade: a segurança e a soberania alimentar da população (FAO, 2019). Sendo assim, alimentos de baixo custo, fácil produção e com valor nutricional serão indispensáveis para as futuras gerações.

Mas o mundo está preparado para suportar essas 11 bilhões de pessoas? Teremos alimento para inúmeras “bocas” no futuro? Do que você se alimenta no dia a dia? Seus filhos? Seus Netos? São inúmeras incertezas que temos do futuro, sendo que o alimento que consumimos é fundamental para sobrevivência da humanidade. Uma das certezas que podemos salientar é que a mandioca (*Manihot esculenta* L. Crantz), a “rainha dos alimentos”, continuará sendo a cultura que matará a fome de milhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento.

A mandioca foi eleita pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) como o alimento do século XXI, pois através da produção desta cultura podemos reduzir a fome e a pobreza rural, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do país. A mandioca se destaca neste cenário por ser uma cultura de baixo custo, cultivada em uma ampla faixa de locais (regiões tropicais e subtropicais), fácil adaptação e apresenta tolerância a secas (Tironi et al., 2017a).

Originária da América do Sul, na região sul da Amazônia (Leotard et al, 2009), a mandioca nos séculos XVI e XVII foi amplamente disse-

minada pelos portugueses para áreas tropicais e subtropicais da África, Ásia e Caribe. Rapidamente a mandioca se tornou um alimento básico em muitos destes lugares do Planeta devido a capacidade de se desenvolver (Alves, 2002). Atualmente o Brasil é o quarto produtor de raízes de mandioca do mundo (FAO 2019), atrás de Nigéria, Tailândia e Indonésia, sendo utilizados 58% da planta para o consumo humano, 22% para alimentação animal e 20% para a indústria. O Pará é o maior produtor do país, seguido pelo Paraná e Bahia (IBGE, 2019). Esta cultura está presente em praticamente todas pequenas propriedades rurais do Brasil, principalmente na agricultura familiar.

O grande legado desse livro para a população brasileira é trazer o conhecimento da ecofisiologia da cultura da mandioca, apresentando as respostas morfofisiológicas que as plantas apresentam em determinados ambientes. Através das informações contidas neste livro será possível atingir altas produtividades na lavoura de mandioca, otimizando o uso de recursos disponíveis, no intuito de proteger o Planeta Terra e respeitando o ambiente e os recursos naturais. A Equipe Simanihot busca constantemente fomentar a produção deste alimento de forma sustentável, fomentar a agroindustrialização e resultar em crescimento socioeconômico do meio rural no Brasil através de uma agricultura de processos, sem comprometer as gerações futuras.



Capítulo I

Crescimento e desenvolvimento da mandioca

1.1 Botânica e morfologia

A planta de mandioca é um arbusto perene de hábito indeterminado propagado vegetativamente através de pedaços do caule denominados manivas (Câmara & Godoy, 1998). Pertence à família Euphorbiaceae, a qual tem como característica a presença de látex e glicosídeos cianogênicos, substâncias que nas populações de mandioca não melhoradas são tóxicas para animais herbívoros, uma estratégia de sobrevivência da espécie nos habitats naturais. Baixas temperaturas e/ou déficit hídrico prolongado levam a planta a um período dormente ou de repouso (Conceição, 1987; Alves, 2006), e neste caso, a cultura é geralmente cultivada de forma anual, com plantio no início do período das chuvas nas regiões tropicais e na primavera em regiões subtropicais como no Sul do Brasil. Além disso, esta cultura apresenta alta capacidade de adaptação a uma ampla gama de ambientes e ecossistemas, sendo cultivada em países tropicais situados entre 30° Norte e 30° ao Sul da Linha do Equador, e do nível do mar até altitudes de 2.000 metros, com precipitação de 400 mm até acima de 2.000 mm (El-Sharkawy, 2012).

A mandioca apresenta uma variabilidade genética extensa, com características de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (Faraldo et al., 2000; Nolasco, 2011). Os principais elementos que influenciam no

crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura da mandioca são radiação solar, temperatura, fotoperíodo, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e características físico-químicas do solo (Lorenzi, 2003).

A planta de mandioca constitui-se de haste, pecíolos, folhas, raízes fibrosas, raízes tuberosas e frutos (Figura 1).



Figura 1 - Planta de mandioca e suas estruturas morfológicas.

A morfologia da planta de mandioca pode diferir de acordo com a cultivar. Algumas apresentam haste ereta (monopodial), enquanto outras possuem haste ramificada, com duas, três ou quatro hastes, e na inserção das ramificações aparecem as inflorescências (do tipo simpódio), e por isso são denominadas ramificações simpodiais (Figura 2) (Peixoto, 1999;

Carvalho & Fukuda, 2006). O número de ramificações simpodiais pode ainda depender da sensibilidade da cultivar ao fotoperíodo, de modo que fotoperíodos longos estimulam a produção de ramificações simpodiais (Keating et al., 1982). Dependendo da cultivar, a planta pode apresentar brotações laterais, que se originam da axila das folhas da haste principal, produzindo novas hastes laterais (Matthews & Hunt, 1994).

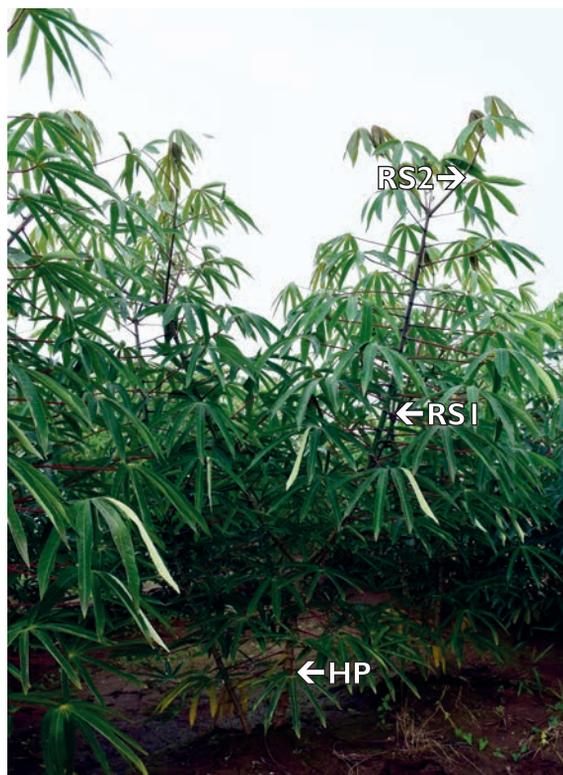


Figura 2 - Estrutura de uma planta de mandioca, sendo HP a haste principal, RSI a primeira ramificação simpodial, e RS2 a segunda ramificação simpodial.

A cor da haste varia de acordo com a idade da planta e com a cultivar. Nas partes mais jovens da planta, apresenta diversas tonalidades de verde, e nas partes mais velhas pode apresentar diferentes cores, sendo a cor acinzentada a mais comum (Figura 3).



Figura 3 - Cor da haste de cultivares de mandioca.

As folhas da mandioca são decíduas (perdem folhas ao longo do ciclo) e apresentam um tempo de vida característico de cada cultivar (Matthews & Hunt, 1994), que depende de condições climáticas como temperatura média do ar e de manejo. O pecíolo apresenta comprimento variável e diferentes inclinações em relação à haste principal. A coloração do pecíolo é variável, desde verde amarelado, verde, vermelha, até roxa-azulada (Figura 4).



Figura 4 - Posição e cor do pecíolo de cultivares de mandioca. Vassourinha (A), Aceguá (B), Poly (C) e Pioneira (D).

O limbo foliar apresenta de 3 a 11 lóbulos, com grande diversidade de formas, largura, cor e comprimento (Figura 5). Estas características são importantes e auxiliam na identificação de cultivares. As inflorescências são formadas na extremidade superior das hastes, geralmente onde acontece a ramificação das mesmas (Figura 6a). São panículas com 5 a 15 cm de comprimento, em média, apresentando brácteas basais curtas e agudas, com coloração variável dependendo da cultivar (Carvalho & Fukuda, 2006). No gênero *Manihot* verifica-se o fruto esquizocarpáceo, com a formação de cocas e a presença do carpóforo (coluna central), que persiste na planta após a deiscência do fruto (Figura 6b) (Carvalho & Fukuda, 2006). A maturação dos frutos dura em torno de cinco meses, quando abrem e dispersam as sementes (León, 1987).



Figura 5 - Número de lóbulos, forma e cor da nervura da folha de cultivares de mandioca.



Figura 6 - Inflorescência (A) e fruto da planta de mandioca (B).

As raízes da mandioca são tuberosas, intumescidas devido ao armazenamento de amido. As plantas de mandioca reproduzidas de maneira sexuada por sementes apresentam raiz primária pivotante, que se aprofunda no solo em um ângulo de 90° , tornando-se um órgão ereto, fusiforme, vertical e contínuo à haste (Viégas, 1976). Mas a maneira mais utilizada de reprodução dessa cultura é de forma assexuada por meio de propagação por estacas, popularmente chamada de maniva. Nessa forma de propagação o número de raízes é variável, sendo originadas dos bordos onde se forma o calo resultante da cicatrização do corte da maniva, e das cicatrizes deixadas pelas gemas (Léon, 1987). Em uma maniva são formadas entre uma e 10 raízes tuberosas, cuja distribuição dependem da cultivar e tipo de solo, apresentando diferentes tipos de forma, comprimento e presença de constrições nas raízes (Figura 7a). Essas raízes podem apresentar pedúnculos (Figura 7b), conhecidos popularmente por cepa, com comprimentos variáveis em função da cultivar, como também diversos tipos de forma, comprimento, presença de constrições e facilidade de destacar-se da maniva (Carvalho & Fukuda, 2006).



Figura 7 - Formas, comprimento e presença de constrictões nas raízes (A), e presença de pedúnculo nas raízes de mandioca (B).

De fora para dentro, as raízes apresentam as seguintes zonas: Na parte externa uma película suberosa que se destaca facilmente, juntamente com algumas células do feloderma, meristema secundário situado no córtex. Essa casca pode apresentar diferentes colorações, desde branca a marrom muito escuro (Figura 8). Sua superfície pode ser desde lisa a muito rugosa. Abaixo desta película vem uma camada cortical (córtex) bastante reduzida, que juntamente com o floema e seus componentes (vasos crivosos, células anexas, esclereídes, parênquima, fibras e canais laticíferos), constituem a região que normalmente se destaca no momento do cozimento das raízes. Essa região que pode apresentar diversas colorações, tais como branca, amarela, violácea e até roxa, característica fundamental para a caracterização das cultivares (Figura 9). É no floema, com vários anéis concêntricos de vasos contendo látex com o glicosídeo que, após hidrólise, dá origem a formação do ácido

cianídrico, que é a substância altamente tóxica. Por fim, temos a parte central carnosa e muito rica em amido (fécula), constituída pelo xilema, que é a parte comestível. Nesta encontramos ao centro os feixes do xilema que originam a fibra da mandioca rica em celulose, com aspecto de cordão que percorre a raiz no sentido do comprimento (Machado, 1983). Essa região pode apresentar diversas colorações, sendo mais comum o creme, o amarelo e o rosa, em função de algumas substâncias presentes, como o caroteno e o licopeno (Carvalho & Fukuda, 2006) (Figura 10).



Figura 8 - Cor e espessura da pelúcula externa suberosa da raiz de cultivares de mandioca.



Figura 9 - Cor do córtex da raiz de cultivares de mandioca.

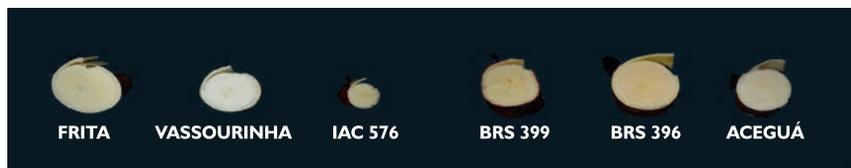


Figura 10 - Cor da polpa (xilema) da raiz de cultivares de mandioca.

1.2. Escala fenológica

Fenologia é o estudo de como as plantas se desenvolvem. As escalas fenológicas das culturas agrícolas são baseadas no desenvolvimento da planta (idade fisiológica), e não pelos dias do calendário civil (idade cronológica), permitindo assim acompanhar o ciclo de desenvolvimento da cultura e aplicar as práticas de manejo de acordo com o estágio de desenvolvimento.

1.2.1 Escala fenológica de Alves (2006)

A escala fenológica de Alves (2006) descreve o desenvolvimento da mandioca em dias após o plantio (DAP) com os seguintes estágios: emergência, formação de folhas e crescimento da raiz, desenvolvimento de ramos e folhas, translocação expressiva de carboidratos para as raízes e dormência (Tabela 1). Escala esta, que apresenta como principal vantagem a utilização de DAP para descrever o desenvolvimento da mandioca, tornando-a de fácil utilização e tem a desvantagem de não descrever as fases do crescimento, somente os estágios. Nesta escala desconsidera-se os fatores ambientais que possam aumentar ou diminuir a duração de cada fase e portanto a data de ocorrência de cada estágio (item 3.0), além de ser generalista, ou seja, não leva em conta a particularidade morfológica de cada grupo de cultivares (item 2.1.1).

Tabela I - Escala de desenvolvimento da mandioca proposta por Alves (2006).

Fase	Estágio	Descrição
5 – 15 DAP	Emergência (EM)	Desenvolvimento das primeiras raízes adventícias e brotos da estaca.
15 – 90 DAP	Formação de folhas e crescimento da raiz	Desenvolvimento das folhas e formação do sistema radicular. Até 30 DAP crescimento depende da reserva maniva semente. As raízes adventícias são substituídas pelas raízes fibrosas.
90 – 180 DAP	Desenvolvimento dos ramos e folhas (estabelecimento da copa).	Máximas taxas de crescimento de folhas e hastes. Ramificações e arquitetura definidas.
180 – 300 DAP	Translocação expressiva de carboidratos para as raízes.	A partição de fotoassimilados das folhas para as raízes é acelerada e aumenta ainda mais o início de acumulação de amido. Há maior acúmulo de massa seca das raízes e aumento da senescência foliar.
300 – 360 DAP	Dormência	A planta entra em dormência e finaliza o crescimento vegetativo, apenas ocorre a translocação do amido para as raízes.

DAP = Dias Após o Plantio

1.2.2 Escala fenológica de Burgos (2013)

A escala de Burgos et al. (2013) considera o acúmulo térmico, expresso em graus-dia de desenvolvimento (GDD). Descreve seis estágios: emissão de raízes, formação de brotos superficiais, formação de folhas, crescimento do talo, crescimento da raiz e maturação fisiológica (Tabela 2). As principais vantagens desta escala são o uso do acúmulo térmico (GDD) para descrever o desenvolvimento da mandioca e uso de duas cultivares de morfologia diferentes. Mas similar à Alves (2006), esta escala apresenta desvantagens, não descrevendo as fases de desenvolvimento, somente os estágios. Outra fraqueza nesta escala, é que ao usá-la, tem que dispor de dados meteorológicos para fazer o cálculo do acúmulo térmico (GDD), o que torna uma dificuldade no uso pelos agricultores, além de ser uma escala desenvolvida para ambientes subtropicais.

Tabela 2 - Escala de desenvolvimento da mandioca proposta por Burgos (2013).

Fase	Estágio	Código	Descrição
Estágio 00	Emissão de raízes	ER	Aparição de raízes nas estacas, por meio de escavação do solo, a partir do dia 5 após plantadas e cada dia em média até o final da FF.
Estágio 01	Formação de brotos superficiais	FB	Considera-se a aparição da primeira folha expandida (quando os lóbulos não se tocam mais) sobre a superfície do solo.

Estágio 02	Formação de folhas	FH	Considera-se a partir da segunda folha expandida.
Estágio 03	Crescimento do talo	CT	Toma-se como início o alargamento do entrenó inferior a 1 e 2 cm de altura.
Estágio 04	Crescimento da raiz	Sub-estágio 01: Diferenciação das raízes de reserva. CR - D	Inicia com a formação das raízes de reserva, com diâmetro maior ou igual que 5 mm e final quando todas as plantas haviam formado quatro ou mais RR.
		Sub-estágio 02: Engrossamento das raízes de reserva. CR - E	Considera-se quando os diâmetros das raízes de reserva alcançam um tamanho potencial da cultivar. Se obteve que o final é quando mais de 50% das plantas atingiram o tamanho (comercial) da cultivar (maior ou igual a 5 cm de diâmetro).
Estágio 07	Maturação fisiológica do tubérculo	MF	Inicia com a senescência foliar acompanhada com a rachadura do solo em torno das plantas.

1.2.3 Escala fenológica Simanihot (2019)

A Equipe Simanihot desenvolveu uma escala fenológica para a cultura da mandioca que descreve os principais estágios de desenvolvimento da cultura de maneira simples, com base em critérios morfológicos e ecofisiológicos de fácil identificação a campo por produtores e extensionistas e que tem aplicação prática para o manejo da cultura (Tabela 3). A escala tem quatro fases: Fase de Emergência, Fase vegetativa, Fase Reprodutiva e Fase de Repouso.

Tabela 3 - Escala de desenvolvimento da mandioca proposta pela Equipe Simanihot.

Fase	Estágio	Código	Descrição
Emergência	Emergência	EM	Planta visível acima do solo (Início do desenvolvimento de raízes adventícias e parte aérea da maniva).
	Primeira folha	V1	Primeira folha (um dos lóbulos da folha não mais se tocando).
Vegetativa	Segunda folha	V2	Segunda folha (um dos lóbulos da folha não mais se tocando).
	Enésima folha	Vn	Enésima folha (um dos lóbulos da folha não mais se tocando).

Reprodutiva	Início do acúmulo de amido	IAA	Uma raiz apresentando 1 cm de diâmetro. A planta apresenta 25 a 30 folhas na haste principal.
	Primeira ramificação	RS1	Emissão da primeira ramificação simpodial (máxima taxa de aparecimento de folhas).
	Segunda ramificação	RS2	Emissão da segunda ramificação simpodial (aumenta a taxa do acúmulo de amido).
	Enésima ramificação	RSn	Emissão da enésima ramificação simpodial.
	Ponto de Colheita*	CO	75% das folhas em senescência natural e haste com cor acinzentada. Acumulação de amido nas raízes atinge o máximo.
Repouso**	Repouso Fisiológico	RF	A planta apresenta senescência natural de todas as folhas.

* Para cultivo em regiões onde ocorre Repouso Fisiológico.

**Esta fase só ocorre em ambientes onde a planta de mandioca interrompe o crescimento. Por exemplo, na região Sul do Brasil durante o inverno quando as temperaturas são baixas (clima subtropical) e na região Nordeste do Brasil durante a estação seca quando o déficit hídrico no solo é elevado (clima tropical). Nas regiões onde a temperatura e a precipitação pluvial são elevadas ao longo do ano, esta fase não ocorre e a planta de mandioca cresce o ano todo.

1.2.3.1. Fase de emergência

Estágio da emergência (EM): A emergência representa o aparecimento da planta acima do nível do solo (Figura 11).



Figura 11 - Estágio de emergência (EM) da mandioca, planta visível acima do solo.

1.2.3.2. Fase vegetativa

Estágio V1: Quando os lóbulos da primeira folha não estiverem mais se tocando, considera-se que a primeira folha está visível e pode ser identificada a olho nú pelo observador (Figura 12).



Figura 12 - Estágio V1 da mandioca, quando a planta apresenta a primeira folha com os lóbulos sem se tocar.

Estágio V2: Quando os lóbulos da segunda folha não estiverem mais se tocando, considera-se que a segunda folha está visível e pode ser identificada a olho nú pelo observador (Figura 13).



Figura 13 - Estágio V2 da mandioca, quando a planta apresenta a segunda folha com os lóbulos sem se tocar.

Estágio Vn: Conforme as folhas seguintes são emitidas, são atribuídos os estágios V3, V4, V5, e assim sucessivamente até a última folha formada, conforme o número de folhas visíveis em que os lóbulos não se tocam mais. Por exemplo, uma planta em V8 tem oito folhas visíveis, isto é, os lóbulos da oitava folha não estão mais se tocando (Figura 14).



Figura 14 - Estágio V8 da mandioca quando a planta apresenta a oitava folha com os lóbulos sem se tocar.

I.2.3.3. Fase Reprodutiva

Estágio IAA: o início de acumulação de amido (IAA) é o período que marca o início da translocação dos fotoassimilados para as raízes tuberosas. Este é um marco importante durante o ciclo de desenvolvimento da mandioca, pois a planta começa a dividir os fotoassimilados produzidos nas folhas com as raízes, onde ocorre a acumulação de amido nas raízes tuberosas.

O IAA ocorre quando uma raiz tuberosa qualquer apresentar 1 cm de diâmetro (Figura 15). Neste momento, a planta tem em torno de 25 a 30 folhas, aproximadamente.



Figura 15 - Estágio do início de acumulação de amido, quando a planta apresenta pelo menos uma raiz tuberosa com 1 cm de diâmetro.

Estágio RS1: O estágio da primeira ramificação simpodial (RS1) ocorre quando no ápice da planta aparece um aglomerado de folhas pequenas que estão encobrindo o primórdio floral. É neste momento que ocorre a primeira ramificação simpodial (Figura 16 e 17) e se define o número de hastes que irão crescer a partir desta ramificação, que podem ser dois, três e até quatro hastes. A partir daí continua a emissão de folhas em cada nova haste, até o aparecimento da segunda ramificação simpodial (RS2) e até a enésima ramificação simpodial (RSn). Na Figura 18 está representada uma planta de mandioca em RS2 (com duas ramificações simpodiais).



Figura 16 - Estágio da primeira ramificação simpodial (RSI) com duas hastes da mandioca.



Figura 17 - Primeira ramificação simpodial (RSI) da mandioca com o desenvolvimento avançado.



Figura 18 - Planta de mandioca com a haste principal (HP), duas ramificações simpodiais (RS1 e RS2) e três hastes em cada ramificação simpodial.

Estágio CO: nos cultivos de mandioca em regiões onde ocorre um período anual de repouso fisiológico em função de baixas temperaturas ou de deficiência hídrica no solo, a senescência natural das folhas de um dossel de mandioca inicia na parte inferior e vai intensificando para níveis superiores do dossel. Quando 75% da altura do dossel de folhas caíram (Figura 19), a maior parte da acumulação nas raízes está completa e, portanto, a colheita das raízes já pode ser realizada. A falta de folhas na parte inferior do dossel expõe as hastes, que estão na cor acinzentada típica de cada cultivar.



Figura 19 - Estágio de Colheita (CO) da mandioca em regiões que a cultura passa por um período anual de repouso fisiológico, quando 75% das folhas do dossel de folhas caíram e as hastes tem a cor acinzentada.

1.2.3.4. Fase de Repouso

Estágio de Repouso Fisiológico (RF): Ocorre exclusivamente em ambientes onde a planta de mandioca não consegue expressar a característica de perenidade. Nas regiões subtropicais, como no Sul do Brasil,

a senescência inicia geralmente em abril devido às baixas temperaturas noturnas e ao elevado índice de área foliar que sombreia as folhas baixei-ras. Estes dois fatores diminuem a longevidade de cada folha e na prá-tica observa-se um dossel que vai perdendo as folhas de baixo para cima. Nas regiões tropicais que apresentam um período de ano sem chuvas ou com baixos volumes de chuva, como nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, o RF ocorre devido ao déficit hídrico no solo.

No estágio RF, as folhas senescem e as hastes apresentam a cor acinzentada típica de cada cultivar, devido ao maior teor de lignificação dos tecidos. A parte da haste acinzentada está pronta para ser utilizada para propagação. Esta lignificação ocorre de baixo para cima, dos tecidos mais velhos em direção ao ápice da planta (Figura 20).



Figura 20 - Estágio de repouso fisiológico (RF) da mandioca. (Detalhe mostrando a cor acinzentada da haste).

1.3. Como a planta cresce e se desenvolve

O crescimento e o desenvolvimento da planta de mandioca é comandada por três relógios biológicos: Um relógio vegetativo (que co-

manda a emergência, faz crescer e aparecer folhas e hastes), um relógio reprodutivo (que faz aparecer as ramificações simpodiais) e um relógio de acumulação de amido (que comanda o tempo de desenvolvimento necessário para o início de acumulação de amido nas raízes tuberosas). As temperaturas cardinais da mandioca (mínima, ótima e máxima) são 14°C, 30°C e 42°C, respectivamente (Matthews & Hunt, 1994; Schons et al., 2007). Quando a temperatura do ar estiver entre esses limites, a planta vai avançar no seu desenvolvimento e crescimento. Além da temperatura do ar, radiação solar e fotoperíodo são os elementos meteorológicos responsáveis pelo desenvolvimento e crescimento da planta.

O crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas são dependentes da atividade fotossintética e da translocação de fotoassimilados do local de síntese para as regiões de utilização ou drenos. A mandioca é uma das culturas que convertem a maior quantidade de energia solar em carboidratos solúveis por unidade de área (Tonukari, 2004), pois a planta de mandioca apresenta características peculiares com relação ao mecanismo fotossintético de fixação de CO₂ atmosférico. Alguns pesquisadores afirmam que a planta de mandioca possui um ciclo fotossintético intermediário entre plantas C3 e C4, por apresentar os sistemas enzimáticos favoráveis à fixação de CO₂ pelos caminhos C3 e C4, mas sem a típica anatomia Kranz de folha C4 (El-Sharkawy et al., 1989; El-Sharkawy, 2004).

Na fase inicial de desenvolvimento das plantas de mandioca, os fotoassimilados são destinados na seguinte ordem de prioridade: folhas, hastes e raízes fibrosas (Figura 21). Desta forma, na partição da biomassa, o crescimento da parte aérea (folhas e hastes) e das raízes fibrosas têm prioridade na distribuição dos fotoassimilados, sendo que o restante da produção de biomassa total é acumulado nas raízes tuberosas (Tironi et al, 2017). Este conhecimento fisiológico da planta auxilia a tomada de decisão nas práticas de manejo da cultura. A prioridade da planta não é o acúmulo de amido nas raízes, e sim a produção de parte aérea, na qual

estão presentes as estruturas de propagação da espécie. O desenvolvimento vegetativo (faz aparecer folhas, crescer hastes e raízes fibrosas) é influenciado pela temperatura e estresse hídrico (por falta de água), este último se houver restrição hídrica.



Figura 21 - Planta de mandioca no início do ciclo de desenvolvimento, quando crescem folhas, hastes e raízes fibrosas.

As folhas, principal órgão responsável pela captação de energia solar e transformação desta energia solar em fotoassimilados para a planta, possui uma longevidade potencial que é influenciada pela temperatura média do ar, e pelo nível de sombreamento do dossel em cada folha (Matthews & Hunt, 1994; Tironi et al., 2017a). Quanto maior a vida útil das folhas de mandioca maior será o incremento de massa seca nas raízes tuberosas, já que as folhas vão deixando de ser dreno e passarão a ser fonte (Alves, 2006; Sagrilo et al., 2006).

O fotoperíodo e os hormônios vegetais desempenham um importante papel no processo de acumulação de amido. Isso ocorre quando os dias começam a ficar mais curtos, induzindo o processo da acumulação de amido, sendo o fitocromo B o fotorreceptor que intervém esta resposta. No processo de acumulação de amido da cultura da batata, por exemplo, o processo de indução da acumulação de amido se inicia nas folhas por meio do fitocromo B, sendo este estímulo transmitido às raízes por meio de fitohormônios (Gregory, 1956). Em dias curtos, ocorre a redução do conteúdo de giberelina e aumenta a concentração de citocinina, induzindo o acúmulo de amido nas raízes tuberosas (Aksenova et al., 2011).

O fotoperíodo também influencia o desenvolvimento reprodutivo (faz aparecer as ramificações simpodiais) e é fundamental por determinar a capacidade de criar ramificações que irão comandar o desenvolvimento reprodutivo da parte aérea, iniciando assim o segundo relógio da planta de mandioca. Isso acontece porque dias longos propiciam o desenvolvimento da parte aérea das plantas com alta atividade do hormônio giberelina, promovendo o alongamento das hastes e folhas (Smith & Rappaport, 1969; Aksenova et al., 2011; Dhita & Lim, 2012). Esse desenvolvimento e a sensibilidade ao fotoperíodo vai depender de cada cultivar e das condições do ambiente (estresses que a planta pode passar durante seu ciclo). A medida que se aumenta o número de ramificações simpodiais, consequentemente, aumenta-se a competição por fotoassimilados, água e nutrientes. Dessa forma, aumentando o número de ramificações na planta, aumenta-se o filocrono e reduz o número de folhas por haste (Fagundes et al., 2010).

Quando as plantas estão com uma média de 25 a 30 folhas, variando com a cultivar, fotoassimilados começam a ser acumulados nas raízes, iniciando o terceiro relógio da planta, que é o relógio de acumulação de amido (Figura 22).

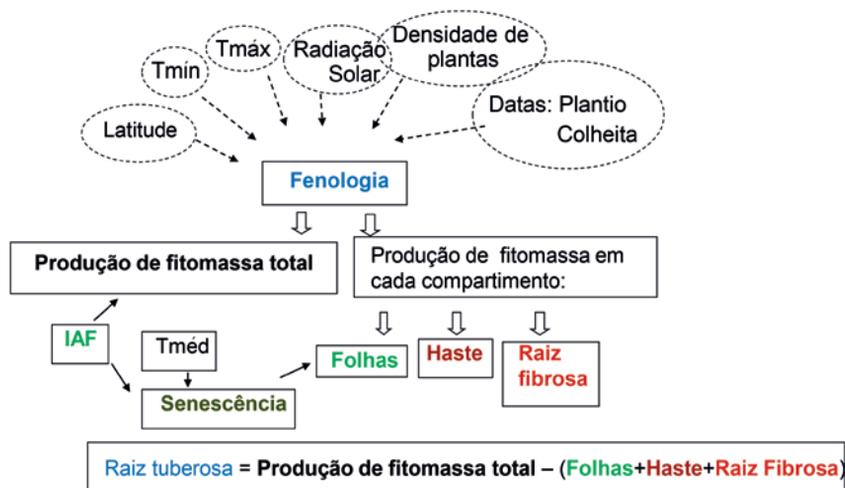


Figura 22 - Diagrama representativo do crescimento e do desenvolvimento da planta de mandioca. Fonte: Modelos GUMCAS e Simanihot.

Assim, a planta de mandioca é classificada como de dia curto para a acumulação de amido, e de dia longo para o florescimento (ramificação) e desenvolvimento da parte aérea. No Sul do Brasil, o início da acumulação de amido e o início da ramificação nas cultivares que apresentam essa característica acontecem muito próximos, pois a proximidade ao solstício de verão induz ao florescimento, e o início da redução do comprimento do dia induz a acumulação de amido.

Da produção de fitomassa total da planta no dia, acumulado em massa seca/dia, o que não for destinado para as prioridades que são folhas, haste e raízes fibrosas, acumula nas raízes tuberosas (Figura 22). Esse acúmulo se torna cada vez mais expressivo à medida que avança o ciclo da cultura, e apenas é interrompido quando a planta entra no seu período de dormência, por deficiência hídrica ou geadas.



Capítulo 2

Exigências em manejo na cultura de mandioca

As culturas agrícolas necessitam que um manejo adequado seja realizado para que o potencial produtivo seja atingido e para a cultura da mandioca essa regra não é diferente. Mesmo a mandiocultura apresentando como diferencial o fato de não exigir grandes investimentos iniciais, manejo e insumos caros, quando comparada a outras culturas, e mesmo assim apresentar produtividade satisfatória, o manejo correto poderá potencializar a produtividade de raízes e parte aérea. Estudos a nível mundial sobre os fatores que provocam as lacunas de produtividade nesta cultura, vêm mostrando que o manejo da lavoura se enquadra como um dos principais fatores que limitam alcançar altas produtividades.

Exemplo de como o manejo pode impactar são as lavouras brasileiras de mandioca, que infelizmente não recebe todas as práticas de manejo necessárias na maioria das propriedades onde são cultivadas, apresentando produtividade média dos últimos 5 anos de 14,7 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2019), bem abaixo do potencial da cultura que é 60 Mg ha⁻¹ (Cock, 1990) a 90 Mg ha⁻¹ (Cock et al, 1979).

Neste capítulo estão descritas as principais práticas de manejo realizadas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da mandioca para a obtenção de altas produtividades.

2.1 Pré-plantio

Buscando construir um ambiente para o estabelecimento das plantas na lavoura (primeiro e principal componente de produtividade), deve-se realizar um planejamento para que os requisitos exigidos pelos “pilares” de construção de produtividade (cultivar, ambiente e manejo) sejam atendidos. Primeiramente, é importante fazer uma pesquisa de mercado para verificar as cultivares de mandioca mais requeridas pelo consumidor e adaptadas ao local de cultivo. No Brasil, o plantio de mandioca se divide principalmente em três grandes grupos de cultivo: para subsistência, fornecimento ao mercado local e cultivo em escala comercial. Diante disso, deve-se ter como foco principal qual será o destino da produção de mandioca, para escolher cultivares que atendam as expectativas do produtor e as exigências do mercado consumidor.

Para favorecer o início da brotação das manivas e o melhor enraizamento das plantas, durante o planejamento do plantio é imprescindível que a escolha da época de plantio esteja dentro do período recomendado pelo Zoneamento Agroclimático da região de interesse (item 4), posicionando o plantio quando o ambiente disponibilizar as melhores condições hídricas, de temperatura e de radiação solar.

A seguir, serão apresentados os principais aspectos a serem considerados durante o pré-plantio da cultura da mandioca.

2.1.1 Cultivares

As cultivares de mandioca estão presentes em mais de 80 países ao redor do mundo, totalizando cerca de 9.000 acessos. A América do Sul, por sua vez, apresenta cerca de 7.500 acessos, sendo o Brasil detentor de mais de 4.500 cultivares. No Rio Grande do Sul estão presentes cerca de 90 a 100 cultivares. As cultivares são classificadas com base

no teor de ácido cianídrico contido em suas raízes, em mandioca mansa (doce, de mesa, aipim ou macaxeira) quando o teor de ácido cianídrico é menor que 100 mg/kg nas raízes frescas (Bolhuis, 1954). Essas cultivares são destinadas principalmente ao consumo *in natura* ou processadas na indústria.

A principal característica das cultivares de mesa é seu cozimento rápido (30 minutos ou menos), que está ligado a três principais características de preferência do consumidor, que são a textura, a maciez e o sabor das raízes. Mandioca brava (amarga ou venenosa) é quando o teor de ácido cianídrico na raiz fresca é superior a 100 mg/kg (Bolhuis, 1954). Quando a concentração excede 100 mg/kg é considerado tóxica para o consumo humano *in natura*, sendo necessário o processamento antes do consumo. Essas cultivares de mandioca impróprias ao consumo fresco, são destinadas à indústria, onde a toxicidade da raiz é reduzida através do processamento.

Além disso, as cultivares também podem ser classificadas em relação a finalidade de uso, em mesa, indústria e forrageira. As cultivares de mesa tem como características alta produtividade de raízes, facilidade no descascamento e um tempo curto de cozimento. As forrageiras possuem grande crescimento da parte aérea, proporcionando boa produtividade e valor nutritivo para a alimentação animal, em especial na produção de silagens. As destinadas para indústria têm como característica alta capacidade de produção e devem apresentar elevado teor de amido, e geralmente são transformadas em farinha, fécula e polvilhos para a alimentação humana ou como insumos em diversos ramos industriais.

A forragem de mandioca é outra boa alternativa para os produtores, que podem utilizar tanto parte aérea como a raiz ou subprodutos da indústria de processamento na alimentação de ruminantes, pois representam ótimas fontes energéticas e proteicas, podendo substituir até mesmo o milho e a soja que tem alto custo e passam por constantes oscilações de

preço. As cultivares chamadas de forrageiras, normalmente apresentam elevada produção de parte aérea, o que é uma vantagem para a produção de feno e silagem.

As cultivares de mandioca apresentam adaptações a diferentes condições edafoclimáticas e normalmente são capazes de suportar condições adversas de cultivo, o que lhes confere maior estabilidade na produção, dificilmente uma mesma cultivar se comporta de forma semelhante em todos os ambientes (Gomes & Leal, 2003). Isso justifica, em parte, a grande diversidade de cultivares utilizadas pelos agricultores de mandioca do Brasil, como alguns exemplos citados na Tabela 4, das principais cultivares recomendadas para o Norte, Nordeste e Centro-Sul do Brasil (Embrapa, 2018), e para o Rio Grande do Sul. Porém, na maioria das vezes as cultivares não possuem sua origem conhecida, devido ao grande intercâmbio de ramas (material propagativo) realizado de material sem identificação de uma região para outra, se perdendo assim o nome das cultivares.

Centros de pesquisas pelo país continuam desenvolvendo estudos em busca de novas cultivares, que buscam atender as demandas de cada região, como aumento de produtividade, resistência a diferentes doenças, até o aumento da disponibilidade de nutrientes, através das cultivares biofortificadas.

As cultivares de mandioca de mesa biofortificadas BRS 396, BRS 397, BRS 398, BRS 399, BRS 400 e BRS 401 foram lançadas pela Embrapa em 2015. Essas cultivares biofortificadas são mais ricas em vitaminas e nutrientes dos que as consumidas atualmente, e uma de suas características peculiares é a coloração da polpa, que pode ser amarela, creme e rosada (Nutti et al., 2015). As raízes de polpa amarela e creme apresentam maiores teores de betacaroteno (precursor da vitamina A) em relação às cultivares tradicionais, já as de coloração rosada apresentam maiores teores de licopeno nas suas raízes. Essas novas opções de cultivares visam

agregar mais valor nutricional as raízes, sendo uma alternativa no combate a deficiência de vitamina A, que atinge grande parte da população mundial, principalmente em países em desenvolvimento.

Tabela 4 - Principais cultivares de mandioca utilizadas pelos agricultores no Brasil.

Regiões	Cultivares
Distrito Federal, Mato Grosso do Sul e Paraná	BRS 396 e BRS 399
Roraima	BRS Aciolina Sararuca, BRS Japonesa, BRS Moura, BRS Caipira e BRS Tapioqueira
Acre	BRS Panati, BRS Ribeirinha, BRS Colonial e BRS Caipora
Amazonas	BRS Purus, Mãe Joana, Aipim Manteiga
Amazônia Oriental	BRS Mari e BRS Poti
Nordeste	BRS Formosa, BRS Gema de Ovo, BRS CS01, BRS Mulatinha, BRS Verdinha e BRS Poti Branca
Rio Grande do Sul	Vassourinha, Aceguá, Gema de Ovo, Pioneira (Frita), Cruzeiroira, Estrangeira, Pronta Mesa, Fepagro RS13.

2.1.2 Manivas

A mandiocultura tem como principal forma de multiplicação da espécie a propagação vegetativa, que é realizada por meio de partes do caule da planta (ramas), denominadas “manivas”. Assim, o preparo adequado e a seleção de material para o plantio das manivas são importantes para garantir um rápido e uniforme estabelecimento da lavoura. As ramas utilizadas para preparação das manivas devem ser maduras, ou seja, devem estar com sua epiderme lignificada, de cor cinza-prateada (Figura 23a), na maioria das cultivares, e isso acontece a partir do quinto mês após o plantio. As manivas devem ser cortadas do terço médio e inferior da planta matriz, pois as provenientes do terço superior geralmente estão “verdes”, possuindo assim poucas reservas, e sendo mais suscetíveis ao ataque de pragas (Figura 23b).



Figura 23 - Ramas de mandioca com epiderme lignificada (A), manivas de mandioca provenientes de diferentes partes da haste da planta (B1 parte de cima da haste; B2 parte do meio da haste, B3 parte de baixo da haste).

Deve-se armazenar apenas ramas sadias, ou seja, que não tenham sido atacados por nenhum patógeno e/ou insetos-praga, como a bacteriose (*Xanthomonas campestris* pv. *manihot*), cercosporiose (*Cercosporidium henningsii*), superalongamento (*Sphaceloma manihoticola*), antracnose (*Colletotrichum gleosporioides*), mosaico da mandioca (*Cassava vein mosaic virus*), podridão das raízes (*Phytophthora* sp., *Pythium scleroteichum* e *Fusarium solani*), superbrotamento (*Fitoplasma*), broca-da-haste (*Sternocoelus* spp.), besouro congo (*Mygdolus* sp.), ou que sofreram danos por granizo. Antes do plantio, em local protegido do sol, deve ser realizada a seleção das ramas e verificar o aspecto fitossanitário em que a medula (miolo) da rama se encontra, que, ao ser cortada, não deve apresentar escurecimento ou manchas.

Quanto ao tamanho da maniva, deve ter de 4 a 7 gemas (Figura 24a) para ter boa brotação, maior reserva de água, nutrientes e maior vigor inicial (Samboranha et al., 2010). O corte, normalmente é feito manualmente ou de forma mecânica. É importante se observar ao cortar as manivas se há presença de seiva, indicando vigor e capacidade de brotamento das gemas (Figura 24b).



Figura 24 - Manivas com 4 a 7 gemas prontas para o plantio (A), detalhe do látex na maniva de mandioca (B).

2.1.3 Preparo do solo, calagem e adubação

A mandioca é conhecida por sua rusticidade e fácil adaptação em áreas de baixa fertilidade, ou seja, é uma cultura muito eficiente. Nestas condições outras culturas (soja, milho, arroz), sem correção mínima de fertilidade no solo, não seria possível produzir. Mas a principal diferença desta cultura é a sua capacidade de aumento de produtividade quando bem manejada, podendo apresentar produtividades próximas do potencial da cultura.

Para um adequado crescimento e desenvolvimento da cultura, principalmente com relação a qualidade das raízes tuberosas de mandioca, o ideal é o cultivo em solos arenosos ou textura média, por serem solos profundos, friáveis e bem drenados (Streck, 2008). Mas também podemos cultivar mandioca em solos argilosos com seus devidos cuidados, utilizando técnicas no preparo do solo que facilitem a descompactação e a drenagem da água da área de cultivo (uso de drenos e/ou camalhões, item 3.1.2). Áreas de fácil encharcamento são indesejáveis para o cultivo de mandioca, pois favorecem o desenvolvimento de fungos nas raízes, podridão radicular e redução do estande inicial de plantas.

Antes da implantação da lavoura também é importante traçar estratégias para o controle de plantas daninhas, pois a presença destas em lavouras de mandioca ocasiona grandes prejuízos devido a competição por água, nutrientes e radiação solar (Peressin, 2013). Os principais danos causados pelas plantas daninhas são: redução na produtividade, aumento no custo de produção, dificuldade na colheita, redução qualitativa do produto, danos na aparência das raízes comerciais e redução no tempo para comercialização. Desta forma, quando a área para o plantio já está preparada, mas está se aguardando condições propícias para o plantio, como a ocorrência de chuvas, e existe um grande número de plantas daninhas emergidas na área, para que o plantio seja realizado em uma área limpa é indicado a realização do controle destas plantas, podendo ser via controle mecânico (capina) ou aplicação de um herbicida recomendado para a cultura.

Após definida a área a ser cultivada, a próxima etapa é a escolha do sistema de plantio, podendo este ser realizado no sistema convencional ou no sistema plantio direto. Sistemas de plantio direto com preparo mínimo do solo tem por objetivo revolver o mínimo possível de solo (Figura 25a), mantendo resíduos culturais na superfície, os quais auxiliam a melhorar a condição físico-hídrica do solo evitando o “selamento superficial do solo”, reduzir a infestação por plantas daninhas, aumentar a estabilidade de agregados, o estabelecimento de porosidade contínua (bioporos) e o equilíbrio entre a macro e microporosidade, fatores que contribuem para um maior volume de água disponível no solo (Salton & Mielniczuk, 1995; Rangel et al., 2018).



Figura 25 - Cultivo de mandioca em sistema plantio direto (A), solo pronto para plantio em sistema convencional (B), plantio de mandioca realizado de forma manual (C) e plantadora de mandioca para plantio mecanizado (D).

O sistema convencional (Figura 25b) vai em sentido contrário ao mencionado acima, pois para o plantio é necessário realizar no mínimo uma aração e duas gradagens no solo, expondo-o a erosões e ocasionando modificações na rugosidade superficial, que com a incorporação de resíduos vegetais diminuem a capacidade de infiltração aumentando a evaporação da água (Silva et al., 2006). Porém este método é muito utilizado por favorecer o desenvolvimento das raízes e facilitar o arranquio no momento da colheita. O plantio pode ser realizado de forma manual (Figura 25c), ou de forma mecanizada (Figura 25d).

Para ambos os sistemas de plantio, deve-se realizar com antecedência uma coleta e análise de solo, para verificar se há necessidade de realizar calagem e aplicação de fertilizantes para suprir as exigências nutricionais das plantas de mandioca. A calagem é uma prática de manejo realizada antes do plantio, e na cultura da mandioca tem como objetivo aumentar os níveis de cálcio e magnésio do solo (Howeler, 1978; Miranda et al., 1980), já que a mandioca é considerada uma planta tolerante à acidez do solo.

A falta de uma adubação adequada também é outro fator relacionado com a baixa produtividade de raízes, pois este reduz o crescimento e desenvolvimento da cultura (Alves, 2006). No Brasil, de acordo com os dados levantados pelo IBGE (2019) todas as regiões produtoras de mandioca estão abaixo do potencial produtivo da cultura. Para que se atinja altas produtividades de raízes tuberosas de mandioca é necessário realizar adubação de acordo com a análise química de solo, pois as plantas necessitam de fertilização para que não haja limitação no crescimento e desenvolvimento das plantas e conseqüentemente no acúmulo de amido nas raízes.

A adubação realizada para a cultura da mandioca pressupõe que os nutrientes extraídos pela cultura como cálcio, potássio, fósforo, nitrogênio serão repostos no solo, obtendo assim, maiores produtividades da cultura relacionado à adubação (Fialho & Vieira, 2011). As grandes quantidades de nutrientes que são absorvidas pela cultura da mandioca são praticamente todas exportadas. Em média, para uma produção de 25 Mg ha⁻¹ de raízes de mandioca, são extraídos 123 kg de nitrogênio, 146 kg de potássio, 27 kg de fósforo, 46 kg de cálcio e 20 kg de magnésio por hectare. Em ordem decrescente, a absorção de nutrientes é a seguinte: K > N > Ca > P > Mg (Mattos & Cardoso, 2003). Assim, para expressar o aumento do potencial produtivo na cultura da mandioca são necessárias adaptações no sistema de produção, como implementação de tecnologias principalmente no manejo de adubação.

Conforme a Tabela 5, o potássio é o nutriente mais requerido pela cultura, estimula a absorção do dióxido de carbono, a concentração de amido e a translocação de carboidrato das folhas para as raízes tuberosas (Mehdi et al., 2007). A baixa disponibilidade no solo reduz o crescimento da planta, o desenvolvimento da parte aérea, e a produtividade, reduzindo os teores de carboidrato e proteínas (Gierth & Maser, 2007). O fósforo como fosfato é um elemento indispensável na constituição da planta, fornece açúcares, fosfolipídios de membranas, nucleotídeos usados como fonte de energia (Taiz & Zeiger, 2013), a deficiência desse nutriente reduz o crescimento da planta, apresentam folhas menores e raízes tuberosas com pouco desenvolvimento, ou seja, pouco acúmulo de amido.

Tabela 5 - Exigências nutricionais da cultura da mandioca para produzir 25 Mg ha⁻¹ de raízes frescas.

Nutrientes	Exigência de nutrientes em kg ha ⁻¹		
	Raízes	Parte aérea	Total extraído
Nitrogênio (N)	58	65	123
Fósforo (P)	13	14	27
Potássio (K)	103	43	146
Cálcio (Ca)	15	31	46
Magnésio (Mg)	9	11	20

Fonte: Howeler (1981), adaptado.

O nitrogênio é o nutriente que limita a produção de biomassa, pois é essencial para a estrutura da planta com funções metabólicas importantes para o crescimento e desenvolvimento. Além da adubação nitrogenada fornecida na base, junto com o fósforo e o potássio, é importante realizar uma adubação de cobertura, que pode ser na forma de uréia ou sulfato de amônio quando a planta apresentar o início da acumulação de amido (entre 25 a 30 folhas). Essa prática de manejo é fundamental para o desenvolvimento da parte aérea, acelerando o transporte de fotoassimilados para as raízes, onde inicia a produção de amido para obter altas produtividades. Parte da recomendação de adubação potássica pode ser realizada junto com o nitrogênio na adubação de cobertura, trazendo melhores benefícios para o desenvolvimento da cultura.

2.1.4. Arranjo de plantas

A densidade de plantas, espaçamento entre fileiras, distribuição espacial de plantas na linha e uniformidade de emergência, são variáveis

que compõem o arranjo de plantas e que, quando manejados de forma incorreta, ocasionam perdas da produtividade (Sangoi et al, 2010). O arranjo de plantas irá determinar a competição intra e interespecífica por água, nutrientes e principalmente por radiação solar.

A produção de raízes tuberosas de mandioca está diretamente relacionada à capacidade fotossintética das plantas e conseqüentemente ao índice de área foliar (Peterson et al., 1998). Dessa forma, a interceptação da radiação solar e o índice de área foliar são fatores que determinam a densidade ótima, que pode ser definida como sendo a população de plantas capaz de maximizar o uso de recursos disponíveis no ambiente simultaneamente com o aumento da produção de raízes tuberosas (Sangoi et al., 2010).

Os espaçamentos são ajustados entre as plantas dentro da linha de modo que a densidade de plantas fique entre 10.000 e 15.625 plantas ha^{-1} . Os espaçamentos utilizados nos cultivos de mandioca são diversos, variando de 0,80 a 1,50 m entre linhas de plantio, além de existir o cultivo consorciado (item 2.1.5). A densidade populacional interfere no crescimento e desenvolvimento da cultura, sendo que a distância entre as linhas ocasiona interferência na altura da planta, diâmetro do caule, índice de área foliar, número de folhas, e produtividade de raiz (Rojas et al., 2007).

Dentre os principais fatores que determinam o arranjo de plantas está a escolha da cultivar. Deve-se escolher a cultivar de acordo com o destino final da produção, utilizando cultivares de mesa quando o objetivo é para o consumo in natura, cultivares de indústria para produção de fécula, e cultivares forrageiras para a produção de silagem. A principal diferença entre cultivares destes grupos está no hábito de crescimento e na capacidade de brotamento lateral que existe nas cultivares forrageiras (Figura 26a) em relação às de mesa (Figura 26b). As cultivares forrageiras podem ser plantadas em espaçamentos maiores, assim beneficiando o crescimento de parte aérea (insumo principal da silagem e feno).



Figura 26 - Dossel de uma cultivar forrageira, com muitas ramificações e brotações laterais (A), e de uma cultivar de mesa, com porte baixo, sem ramificações simpodiais (B).

Lavouras cultivadas em densidades maiores (menor espaçamento) favorecem o fechamento do dossel mais rapidamente, favorecendo o controle de plantas daninhas, e resultando em maiores produtividades por área (Figura 27) (Streck et al., 2014).

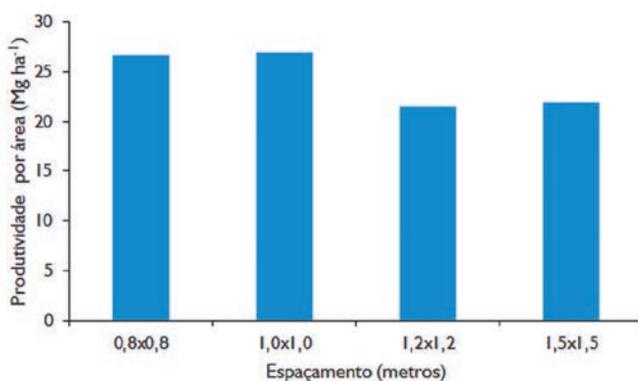


Figura 27 - Produtividade de raízes de mandioca (em massa fresca e seca) em diferentes espaçamentos, cultivar Fepagro RS 13. Fonte: Streck et al. (2014)

Apesar da produtividade ser maior em densidades elevadas, as raízes apresentam tamanho reduzido e hastes mais finas, comprometendo a qualidade comercial (Streck et al, 2014). Isso ocorre devido ao sombreamento entre as plantas próximas e o próprio auto sombreamento, forçando as plantas e as folhas de mandioca competirem por radiação. A competição intraespecífica por radiação faz com que as plantas tenham um crescimento vegetativo maior, devido a competição por luz, obtendo baixa translocação de fotoassimilados para as raízes e conseqüentemente, proporcionando produções inferiores de raízes e de amido acumulado, como também a produção de hastes mais finas (Oliveira et al., 2010). Por outro lado, lavouras com menores densidades de plantio apresentam maior produtividade por planta (Figura 28), proporcionando maior qualidade comercial (Streck et al, 2014).

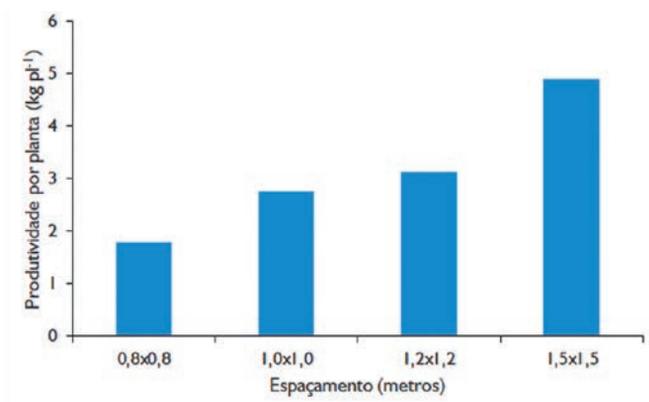


Figura 28 - Produtividade por planta de raízes de mandioca (em massa fresca) em diferentes espaçamentos, cultivar Fepagro - RS 13. Fonte: Streck et al. (2014)

2.1.5. Consórcio

Na cultura da mandioca o sistema de cultivo consorciado é uma prática de manejo importante, para obter a máxima eficiência no uso de

recursos e espaço disponíveis no ambiente. O uso do consórcio é geralmente utilizado em propriedades familiares, onde possibilita trazer maior diversidade de produtos e agregar mais renda, através de cultivos simultâneos (Albuquerque et al., 2012).

Uma das principais vantagens no consórcio é o controle de plantas daninhas, que na cultura da mandioca representa um grande gargalo para a produção, por ser cultivada em espaçamentos grandes (item 2.1.3) e apresentar desenvolvimento na fase inicial lento. Estes fatores tornam as plantas de mandioca suscetíveis a competição interespecífica com plantas daninhas, por um longo período (de dois a três meses após o plantio). Outra vantagem é o controle da erosão superficial, que é uma realidade encontrada nas lavouras de mandioca, devido ao preparo convencional do solo que intensifica esse processo (Devide et al., 2009; Takahashi & Bicudo, 2009).

O sistema de cultivo consorciado consiste em plantar ou semear duas ou mais espécies juntas, lado a lado, buscando espécies com arquitetura vegetal, hábitos de crescimento e fisiologia distintas, a fim de ambas culturas se beneficiarem, buscando obter o máximo da produtividade, reduzindo assim a competição (Albuquerque et al., 2012). A competição intra e interespecífica no sistema consorciado é determinada pela disposição das plantas entre e dentro das linhas de plantio e pela época em que se inicia a competição (Schons et al., 2009).

O consórcio com fileiras duplas de mandioca é uma ótima opção, aumenta o índice de “uso eficiente da terra” (UET), indicando que a competição de espécies diferentes entre as culturas não afeta os parâmetros de crescimento, desenvolvimento e a produtividade, mas deve-se ficar atento ao espaçamento utilizado (Schons et al., 2009; Albuquerque et al., 2012). O consórcio com a cultura da mandioca pode ser realizado com diferentes culturas com o milho, a melancia, batata doce, abóboras, melão (Figura 29), e também, em pomares de citros, nogueira e erva mate. No consórcio de mandioca com milho, o arranjo de mandioca em fileiras

duplas no espaçamento de 1,6 x 0,5 x 0,6 m com duas fileiras de milho no espaçamento 0,4 x 0,4 m dispostas entre as fileiras duplas de mandioca, com semeadura na emergência da mesma é o mais recomendado (Schons et al., 2009). Fabáceas (Leguminosas) também são espécies interessantes em consórcio, por fixar nitrogênio (N) da atmosfera, incorporando N ao solo, beneficiando o crescimento e desenvolvimento da mandioca, como por exemplo amendoim, feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) (Devide et al., 2009) e feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) (Albuquerque et al., 2012).



Figura 29 - Consórcio de milho com a cultura de mandioca.

2.2 Plantio à emergência

O plantio da mandioca deve ser realizado no início do período chuvoso em regiões tropicais (exemplo região Nordeste) ou no início

da primavera em regiões subtropicais (região Sul do Brasil), quando há condições favoráveis de temperatura do ar e umidade no solo para brotação e enraizamento das plantas. Definido o arranjo de plantas que será utilizado, pode se fazer as covas ou sulcos para o plantio das manivas, com cerca de aproximadamente 5 a 10 cm de profundidade e as manivas devem ser preparadas no dia do plantio para que não se desidratem, contendo de 4 a 7 gemas.

O período crítico de controle de plantas daninhas depende das condições climáticas da região, e normalmente inicia ao redor de 15 dias após o plantio (DAP). Para facilitar o manejo das plantas daninhas quando não há mão-de-obra disponível para realizar o controle manual das plantas daninhas, uma opção eficiente é a aplicação de herbicida pré-emergente logo após o plantio da lavoura, visando que a cultura fique livre da comunidade infestante até o estabelecimento inicial do estande de plantas. Alguns herbicidas registrados para uso nesta fase são a base de ametrina, clomazone, metribuzin, e isoxaflutol (MAPA, 2019).

O controle de pragas e doenças na cultura da mandioca representa um fator muito importante na proteção da produtividade, pois um grande investimento foi realizado na implantação da lavoura, e o ataque de pragas e doenças afetará a produtividade final. Os danos causados são variáveis, podendo chegar a perda total da lavoura, quando não controlada. Existem muitos métodos de controle, mas devemos sempre pensar em trabalhar com o manejo integrado de pragas e doenças, a fim de reduzir danos ao meio ambiente e buscando a sustentabilidade do sistema produtivo. Para isso, abaixo será citado as principais pragas e doenças que atacam a cultura da mandioca e seu controle.

Na fase de plantio a emergência, temos como uma das principais pragas os cupins que atacam as manivas armazenadas, penetram

pela parte seca, podendo invadi-las e destruí-las totalmente, afetando o estabelecimento do cultivo, especialmente durante épocas de secas prolongadas. Em áreas que há presença de cupins, visando controlar e evitar que ocorra danos na cultura, pode-se utilizar inseticida no fundo dos sulcos ou das covas (abaixo das manivas), durante o plantio (Dias et al., 2004).

As brocas-do-caule ou brocas-da-haste também podem causar danos nesta fase. As fêmeas da broca ovipositam em várias partes da planta. As larvas, com coloração branca, amarela ou marrom-clara, penetram nas manivas fazem túneis e as debilitam, podendo secar as manivas e se partirem, ocorrendo redução na qualidade e quantidade do material propagativo (Noronha, 2014). Os sintomas da presença destas pragas são os excrementos ou exsudatos deixados junto à base da planta ou próximo aos orifícios nas ramas (Bandeira, 1981). Medidas de controle devem ser realizadas, como o plantio de cultivares resistentes de mandioca, utilização de manivas sadias provenientes de lavouras que não tiveram presença da broca, manter a área cultivada livre de plantas daninhas e caso tenha ocorrência da praga, queimar o material atacado (Dias et al., 2004). Essa praga também pode atacar em outras fases da planta, podendo-se fazer o controle químico com a aplicação de iscas (pulverizado na cultura), para isso é necessário nove litros de melado e 25 mL de paration metílico, para 18 litros d'água, pulverizando a cultura. Outra opção é pulverizar com produtos à base de inseticida biológico *Bacillus thuringiensis* (Dias et al., 2004).

Durante esta fase, a principal doença é o apodrecimento das manivas, que ocorre quando o plantio é realizado em solos mal drenados e há um período prolongado de chuvas. Visando evitar o apodrecimento das manivas, recomenda-se o plantio em camalhões.

2.3. Emergência à início de acumulação de amido (IAA)

Após a emergência da mandioca, as plantas ficam expostas às intempéries do ambiente. O primeiro fator a ser cuidado é o excesso hídrico, que propicia um ambiente favorável a podridões radiculares como *Phytophthora drechsleri*, *P. nicotianiae* var. *parasitica*, *P. richardiae*, *Pythium scleroteichum*, *Fusarium solani*, *Rosellinia necatrix* e *Diplodia manihotis* (Otsubo & Lorenzi, 2002), além disso, o excesso hídrico pode causar interferência na fisiologia da planta, pela falta de oxigênio prejudicando a respiração, ocasionando até morte de plantas, principalmente se o período de excesso hídrico no solo se estender além de 48 horas. Por outro lado, o déficit hídrico também pode prejudicar o estabelecimento inicial da lavoura principalmente até o estágio V5 (cinco folhas) (Figura 30), pois limita o crescimento e o aumento da área foliar, fazendo com que diminua a taxa fotossintética e a eficiência do uso de radiação solar e consequentemente trazendo prejuízos na acumulação de amido nas raízes tuberosas.



Figura 30 - Planta de mandioca no início do seu crescimento, apresentando 5 folhas.

O período de acumulação de amido nas raízes tuberosas, também conhecido como fase de tuberização, inicia quando as plantas apresentam em média 24 a 33 folhas na haste principal, dependendo da cultivar, e apresentam diâmetro de raiz maior que 0,1 metros (Figura 31).

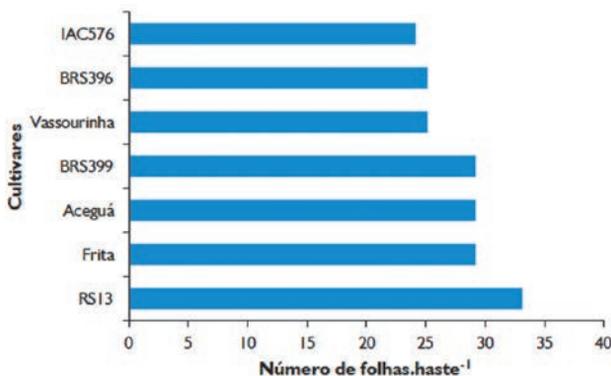


Figura 31 - Número de folhas na haste principal, em que ocorre o início de acumulação de amido em cultivares de mandioca.

A identificação do início da acumulação de amido tem importância prática pois, é nesse estágio que ocorre o início de translocação dos fotoassimilados para o principal órgão de reserva da planta de mandioca (raízes tuberosas), alterando a partir de então a relação fonte/dreno na planta (Matthews & Hunt, 1994). Esse aumento na demanda de fotoassimilados para as raízes aumenta a demanda por nitrogênio na planta de mandioca e por isso este é o momento de realizar a adubação nitrogenada em cobertura (Schons et al., 2007).

Durante esta fase, o ataque de pragas é um fator muito importante na lavoura, pois as plantas são pequenas e tem poucas reservas para se recuperar. As principais pragas nesta fase são as formigas cortadeiras (*Atta spp.*), que causam desfolha nas plantas, e a lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*) que se alimentam da haste, causando tombamento da planta. Também

pode ocorrer o ataque da lagarta da mandioca, o mandarová (*Erinnyis ello* L.). O monitoramento das pragas deve ser feito periodicamente, pois a incidência causará danos diretos no estabelecimento do estande inicial, afetando um dos principais componentes de produtividade que é o número de plantas por hectare. O controle destas pragas deve ser rápido visando evitar prejuízos e pode ser realizado através de inseticidas e por meio de armadilhas para as mariposas da lagarta-rosca. Mais detalhes sobre a lagarta da mandioca e controle estão descritos no item 2.4. (Acumulação de amido à colheita).

O controle de plantas daninhas é um dos principais fatores de manejo em uma lavoura de mandioca, pois a competição por plantas daninhas pode causar perdas de até 90% na produtividade (Otsubo et al, 2008). Isto ocorre pois a mandioca apresenta crescimento inicial lento e é cultivada em grandes espaçamentos (variam de 0,8m a 1,5m), levando até 3 meses para o fechamento da entrelinha, o que favorece crescimento das plantas daninhas. O controle dessas plantas daninhas deve iniciar antes do plantio da lavoura, através de uma cultura de cobertura, para que a palhada na área funcione como barreira física para as plantas daninhas, através de dessecação pré plantio e uso de herbicida pré-emergente.

Quando pensamos em plantas daninhas interferindo na cultura, devemos conhecer três principais períodos para avaliar os danos causados pelas mesmas: o período anterior à interferência (PAI) é o período que a cultura pode sobreviver as plantas daninhas sem causar danos expressivos; o período total de prevenção da interferência (PTPI) é o período em que a cultura deve ficar totalmente livre da interferência; e o período crítico de prevenção da interferência (PCPI) fica entre os limites superiores do PAI e do PTPI, onde o produtor deve realizar algum controle das invasoras para evitar perdas na produtividade da cultura (Fontes et al, 2014).

Os valores dos períodos descritos variam de acordo com a cultivar, região de cultivo, clima e manejo (densidade de plantas, item 2.1.3).

Na literatura foram encontrados trabalhos com valores distintos que demonstram essa variação (Tabela 6).

Tabela 6 - Período de interferência por plantas, em dias, para a cultura da mandioca.

Referências	PAI ¹	PCPI ²	PTPI ³
Fontes et al. (2014)	17	17-104	104
Biffe et al. (2010)	18	18-100	100
Albuquerque et al. (2008)	25	25-75	75
Johanns e Contiero (2006)	66	66-88	88
Carvalho et al. (2004)	20	20-135	135
Média	29	29-100	100

¹PAI - Período anterior à interferência; ²PCPI - Período crítico de prevenção à interferência; ³PTPI - Período total de prevenção da interferência.

O controle das plantas daninhas pode ser químico, através da aplicação de herbicidas (Figura 32), ou físico, através de capina manual (Figura 33) ou enxada rotativa (Figura 34). Os herbicidas pós-emergentes a base de bentazon, fluazifop-p-butil, mesotrione e tembotrione são considerados seletivos para a cultura da mandioca e podem ser utilizados em programas de manejo de plantas daninhas (Silva et al., 2012), além do Cletodim (MAPA, 2019).



Figura 32 - Controle químico de plantas daninhas da cultura da mandioca através da aplicação de herbicida com pulverizador costal.

Figura 33 - Controle físico de plantas daninhas da cultura da mandioca através de capina manual.



Figura 34 - Controle físico de plantas daninhas da cultura da mandioca através de enxada rotativa.

Dentre as principais doenças que afetam a cultura da mandioca em toda a fase vegetativa estão a bacteriose, cercosporiose e antracnose (Massola & Bedendo, 2005). A bacteriose (*Xanthomonas axonopodia* pv. *manihotis*), também conhecida por murcha, é a doença mais importante da cultura da mandioca no Brasil. Os prejuízos causados por essa doença variam de acordo com a cultivar, condições climáticas e inóculo inicial. A bacteriose apresenta um complexo de sintomas que envolvem manchas foliares, murcha, exsudação do látex, necrose do sistema vascular e morte descendente. Em plantas jovens, devido ao plantio de material infectado, ocorre a murcha de folhas novas, seguida por morte da planta. Em plantas maiores, devido a infecções secundárias no campo, inicia o aparecimento de pequenas lesões encharcadas, que posteriormente desenvolvem-se e tornam-se irregulares, podendo cobrir grandes extensões do limbo foliar. Nesta fase, a bactéria transloca-se para o pecíolo e haste através do xilema, iniciando a infecção sistêmica da planta. Ocorre então, exsudação do látex nas hastes e morte descendente, com murcha e posterior secamento das folhas, as quais permanecem aderidas à haste por algum tempo (Figura 35). Cortes transversais ou longitudinais das hastes revelam necrose dos feixes vasculares. O principal veículo de disseminação da bactéria, a longas distâncias, é o material de propagação contaminado. Dentro da lavoura, o principal agente disseminador é a chuva. Além da chuva, as ferramentas utilizadas para cortar as manivas também constituem veículo de disseminação. A penetração ocorre pelos estômatos ou por ferimentos da epiderme e é mais comum em tecidos jovens. A sobrevivência da bactéria no solo não é muito longa, em geral não ultrapassa 60 dias mas em restos de culturas este período pode se estender até seis meses. Medidas de controle que podem ser adotadas, além do uso de cultivares resistentes, é o uso de material propagativo de origem conhecida e livre da doença; rotação de cultura ou simples remoção dos restos da cultura anterior com aração e pousio por 6 meses; uso de ferramentas desinfestadas, restrição

ao movimento de pessoas de áreas afetadas para áreas saudas e utilizar o sistema de consórcio com outras culturas (Massola & Bedendo, 2005).



Figura 35 - Detalhe das lesões causadas por bacteriose (*Xanthomonas axonopodia* pv. *manihotis*) em uma planta de mandioca.

A cercosporiose (*Cercosporidium henningsii*, *Cercosporidium viçosa*), ou mancha parda da folha, só se manifesta na folha, na forma de manchas necróticas (Figura 36a). Os prejuízos causados pela doença são em função da diminuição da área fotossintética e, na maioria das vezes, não são considerados importantes, devido aos danos não ultrapassarem 20% de perda de produção. As manchas, embora difiram um pouco de acordo com a espécie causal, normalmente são de coloração cinza-oliváceo, com presença de frutificações do fungo no centro. *Cercosporidium henningsii* produz manchas com bordos bem definidos e escuros, que raramente ultrapassam 1 cm de diâmetro. *Cercosporidium viçosa* produz manchas maiores e irregulares, sem bordos definidos. Com o progresso da doença as folhas tornam-se amarelas, secam e caem (Figura 36b). Devido a pequena perda econômica, não se justificam medidas específicas de controle para a cercosporiose. Aconselha-se o uso de cultivares resistentes, além de medidas como aumento do espaçamento entre plantas para diminuir a umidade no interior da lavoura e eliminação de espécies nativas de mandioca também auxiliam no controle (Massola & Bedendo, 2005).



Figura 36 - Folha da mandioca com *Cercosporidium henningsii* (A), e com *Cercosporidium viçosae* (B).

A antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) pode ser encontrada em duas formas, a branda e a severa. A forma branda normalmente afeta plantas no final do ciclo e é causada por estirpes fracas do patógeno. A forma severa, causada por estirpes mais agressivas, provoca danos maiores, podendo ocorrer a morte de toda parte aérea da planta, principalmente se o ataque ocorrer em plantas jovens. Os sintomas característicos aparecem na forma de cancrios elípticos e profundos nas hastes jovens e pecíolos. Em decorrência desta infecção, a planta desfolha e os ponteiros morrem (Figura 37). As condições favoráveis à ocorrência da doença são períodos longos de chuva com temperaturas entre 18 e 28°C. Como controle deve-se evitar o plantio de cultivares mais suscetíveis ao patógeno, além de medidas preventivas como seleção de material propagativo sadio para o plantio, imersão das manivas por 5 minutos em solução de nezimidazol (100g/100 L água) e eliminação da lavoura das hastes afetadas (Massola & Bedendo, 2005).



Figura 37 - Planta de mandioca afetada pela antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*).

2.4 Acumulação de amido à colheita

Esta fase do ciclo da mandioca é onde o crescimento da parte aérea é máximo, coincidindo com a máxima taxa de translocação de fotoassimilados para as raízes, sendo a partição da planta que mais se desenvolve até o final do ciclo. Os principais cuidados durante este período continuam sendo a manutenção do dossel livre da interferência de plantas daninhas até o seu fechamento, que é muito variável dependendo do espaçamento no plantio, e da cultivar utilizada, além do monitoramento da lavoura relacionado ao ataque de pragas e doenças.

Nesta fase as plantas daninhas podem ser controladas por meio da capina ou herbicidas pós-emergente que são recomendados para a cultura, conforme descrito no item 2.3. As principais pragas que afetam a cultura durante este período são a lagarta da mandioca, o mandarová

(*Erinnyis ello* L.) (Figura 38), o percevejo de renda (*Vatiga* sp), e a mosca-das-galhas (*Jatrophia brasiliensis*).



Figura 38 - Lagarta da mandioca (*Erinnyis ello* L.), mandarová, em uma planta de mandioca.

O Mandarová da mandioca (Figura 38) é uma das principais pragas da cultura da mandioca, devido a sua alta capacidade de consumo foliar, podendo causar completo desfolhamento e conseqüentemente redução de produtividade da lavoura de mandioca (Carvalho et al., 2015). As ocorrências de infestações do mandarová são cíclicas e os prejuízos mais significativos ocorrem em plantas jovens, com dois a cinco meses após o plantio, devido à pequena área foliar. Na ausência ou na baixa incidência de inimigos naturais, as perdas de produtividade podem ser altas e variar conforme o número de ataques, cultivar utilizada, fase do ciclo da cultura, fertilidade do solo e condições ambientais, podendo chegar a 64% (Carvalho et al., 2015). O uso de armadilhas luminosas para monitoramento de adultos permite conhecer o início das revoadas, possibilitando a supressão populacional da praga com mais eficiência. O controle biológico pode ser realizado ainda na fase de ovo com a utilização do inimigo natural *Trichogramma* spp, que parasita os ovos da mariposa e não permitindo a eclosão da larva. Durante o ciclo, uma lagarta consome em média doze folhas, destruindo também talos, gemas apicais e laterais. O controle de lagartas pode ser realizado com a aplicação de Baculovírus, podendo se obter o inóculo inicial de empresas, ou a partir de lagartas infectadas com o vírus no campo. Outra alternativa de controle biológico é com o uso de produtos biológicos comerciais à base de *Bacillus thuringiensis* (Bt), que também apresentam eficiência de controle quando aplicados em lagartas pequenas, ou seja, nos estágios iniciais de desenvolvimento, e por isso a importância do monitoramento contínuo da lavoura. Sempre que possível realizar o controle com produtos biológicos. Caso não tenha outra alternativa, realizar o controle através do uso de inseticidas registrados no MAPA (MAPA, 2019).

O ataque do percevejo de renda é potencializado em condições ambientes de clima quente e seco, que ocorre durante a estação de verão no Sul do Brasil, sendo agravado seu ataque em épocas de estiagens. O ataque concentra-se nas folhas basais e intermediárias, podendo se esten-

der e atingir as folhas apicais, dependendo do aumento populacional da praga pelas condições ambientais favoráveis. Os sintomas ocorrem nas folhas que apresentam manchas amareladas devido a sucção contínua da seiva, mais tarde tornando-se marrom-avermelhadas (Figura 39). A sucção da seiva debilita a planta e reduz a sua capacidade fotossintética, além de favorecer a queda prematura das folhas basais, podendo reduzir em até 35% da produtividade das raízes. Como controle, deve ser realizado o monitoramento da lavoura para identificação de focos da praga e ser dado preferência sempre pelo controle biológico, com o uso de fungos entomopatogênicos como a *Bauveria Bassiana*. Caso não for possível, realizar o controle através do uso de inseticidas registrados no MAPA. Deve-se evitar o tráfego de áreas contaminadas para as demais, não utilizar material propagativo da área contaminada para áreas isentas, eliminar plantios velhos e abandonados, por poderem ser foco de contaminação, além da cultura ser mantida no limpo para evitar a presença de possíveis hospedeiros na área (Moreira et al., 2007).



Figura 39 - Detalhe do dano causado pelo percevejo-de-renda (*Vatiga sp*) em uma folha de mandioca.

A mosca-das-galhas (*Jatrophobia brasiliensis*) (Figura 40) tem como característica ocasionar verrugas, também chamado de galhas, na mandioca. Isso acontece, pois, esse inseto realiza postura na folha e sua presença induz uma reação fisiológica da planta com a formação da galha (verruga). Apesar de possuir pouca importância econômica, em altas infestações em plantas jovens retarda o crescimento da planta. O controle se baseia na destruição das folhas atacadas.

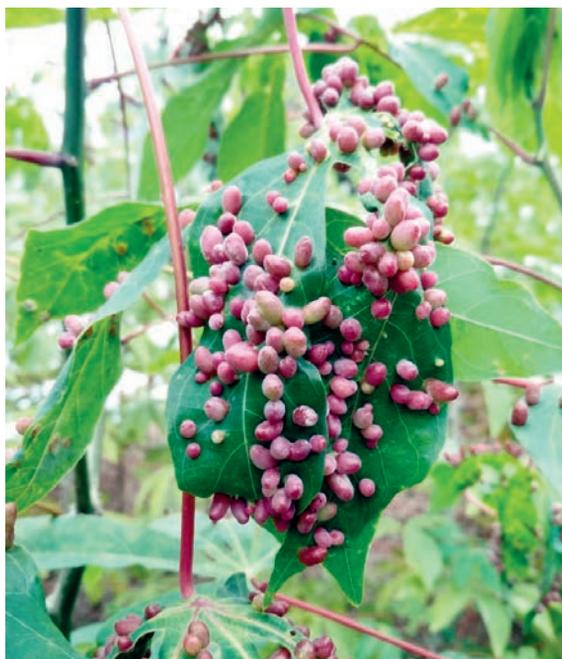


Figura 40 - Detalhe do dano causado pela mosca-das-galhas (*Jatrophobia brasiliensis*), em uma folha de mandioca.

As principais doenças foliares citadas na fase anterior (bacteriose, cercosporiose e antracnose) continuam durante esta fase podendo comprometer a obtenção de altas produtividades, sendo importante a continuidade do monitoramento e controle pelos danos que podem acarretar na planta.

2.5 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) é a razão entre a área de folhas e a área unitária de solo ocupada pelas plantas de um dossel vegetal (Heiffig et al., 2006). É um índice que representa a capacidade do dossel interceptar a radiação solar para ser usada na fotossíntese e produzir fotoassimilados que constituem a matéria seca da planta, determinando o potencial produtivo da cultura (Zanon et al., 2015; Tagliapietra et al., 2018). A evolução do IAF ao longo da estação de cultivo é determinada pela taxa de aparecimento de folhas, tamanho da folha e a longevidade foliar (Matthews & Hunt, 1994; Tironi et al., 2017a).

Durante o ciclo da cultura da mandioca, o IAF aumenta até um valor máximo, que varia conforme a cultivar e decresce de acordo com a senescência foliar, conforme representado na Figura 41, para algumas cultivares de mandioca. As condições de temperatura e do auto sombreamento das folhas no interior do dossel acelera ou retarda o tempo de vida da folha (Matthews & Hunt, 1994; Tironi et al., 2017a). Para atingir altas produtividades, é necessário que o dossel alcance um IAF ótimo (IAF_{Ot}). A partir deste índice não ocorre aumento significativo da contribuição líquida da fotossíntese para o aumento da interceptação da radiação solar (Hay & Poter, 2006). Estudos na década de 70 apontam que, para altas produtividades de mandioca, o IAF deve se aproximar a 3,0 o mais rápido possível e permanecer o máximo de tempo na faixa compreendida entre 3,0 e 3,5 (Cock et al., 1979). Estudos recentes realizados pela Equipe Simanihot no Rio Grande do Sul indicam que o IAF_{Ot} em mandioca é na faixa de 4 a 4,5 (Figura 42).

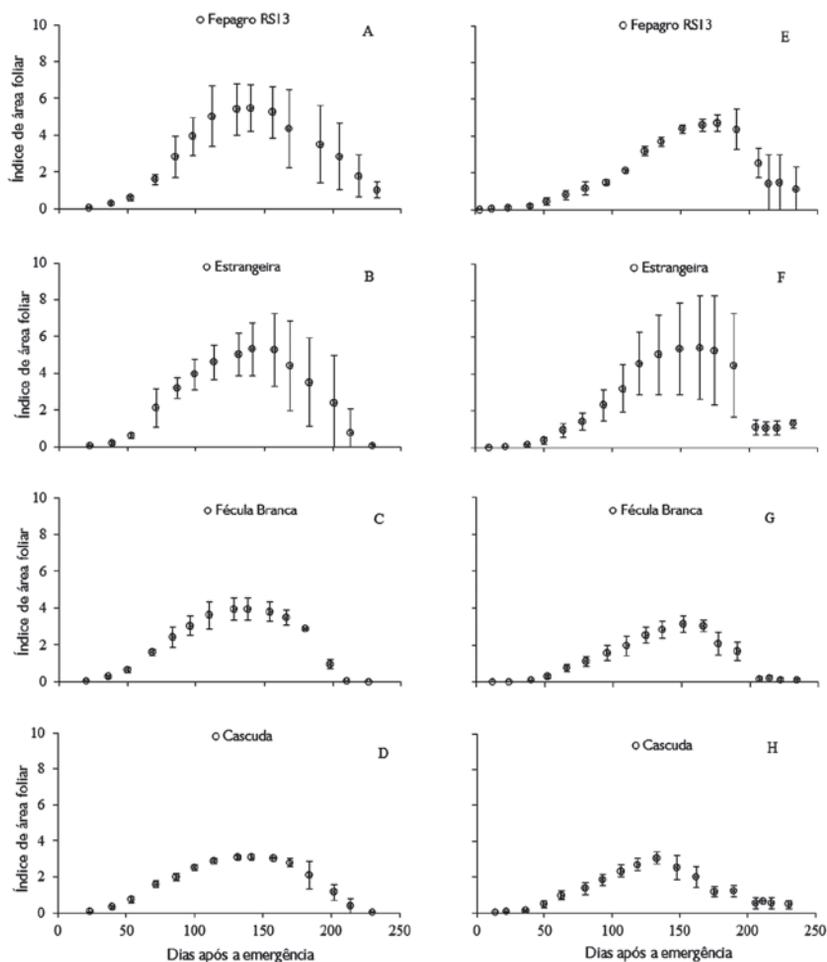


Figura 41 - Evolução do índice de área foliar (IAF) para cultivares de mandioca ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, em dois anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012, com datas de plantio em 06/10/10 e 26/07/2011, respectivamente. Os experimentos foram conduzidos na UFSM, em Santa Maria/RS. Fonte: Adaptado de Tironi et al. (2015).

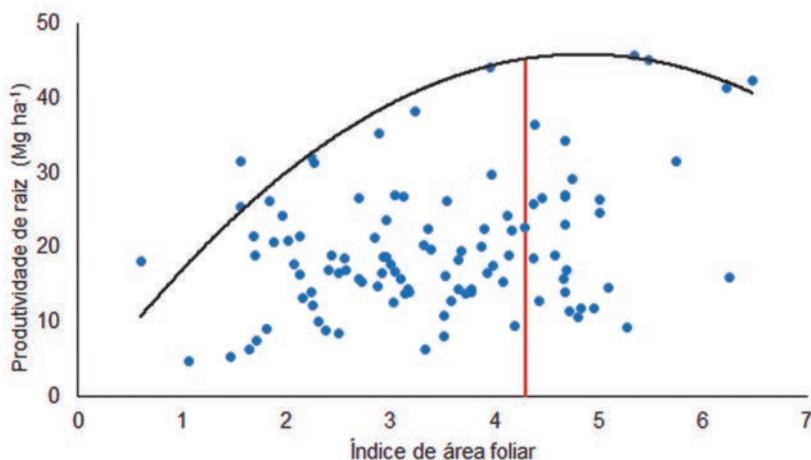


Figura 42 - Relação entre o índice de área foliar e a produtividade de raízes (Mg ha^{-1}) de mandioca. A linha sólida vermelha representa o valor de IAF_{O_t} que maximiza a produtividade de raízes.

A mandioca apresenta grande variabilidade de IAF máximo (maior valor de IAF ao longo do ciclo), dependendo da cultivar. Cultivares forrageiras como Fepagro RS13 e Fepagro RS14, normalmente apresentam altos valores de IAF, em torno de 8 a 10, e possuem como característica ramificar várias vezes durante o ciclo, o que acelera o crescimento de área foliar da planta. Esse alto índice de área foliar é desejável para o uso na alimentação animal. Cultivares de mesa como Cascuda, Estrangeira, que apresenta no máximo duas ramificações simpodiais e um IAF máximo entre 2 a 5 (Tironi et al., 2015). Vassourinha, São José, Aceguá, entre outras cultivares de mesa, não costumam ramificar durante o ciclo de crescimento. O IAF máximo também varia conforme o espaçamento de plantas utilizado na lavoura. Espaçamentos menores, ou seja, a utilização de densidades maiores de população de plantas resultam em IAF máximo maiores, e conseqüentemente fechamento de dossel mais rápido, o que diminui o tempo de competição com plantas daninhas (Streck et al., 2014).

2.6 Componentes de produtividade

Quando se busca altas produtividades de mandioca, tanto raiz quanto parte aérea, devemos levar em consideração os principais componentes de produtividade e os fatores que afetam estes componentes em cada estágio ou fase de desenvolvimento (Tabela 7).

Tabela 7 - Fatores que influenciam os componentes de produtividade de raízes em função de cada fase de desenvolvimento da mandioca.

Fase de desenvolvimento	Fatores que influenciam os componentes de produtividade
Plantio – Emergência	Material propagativo de qualidade; nº de plantas/área; ataque de insetos; ataque de fungos de solo; drenagem
Emergência – V10	Nº de plantas/área; drenagem; ataque de insetos; déficit hídrico e competição com planta daninha
V25 – V30	Nº de raiz tuberosa; adubação nitrogenada; competição com planta daninha
V30 – CO*	Peso de raiz/planta; acumulação de amido; competição com planta daninha

Legenda: CO* = Colheita; V10 = Planta com 10 folhas; V25 = Planta com 25 folhas; V30 = Planta com 30 folhas.

O número de plantas estabelecidas é o primeiro componente de produtividade que interfere diretamente na produtividade final de mandioca. Para produção de raízes segundo Streck (2014) espaçamentos de 0,8x0,8 m e 1,0x1,0 m são os que expressam o maior potencial produtivo de raízes por área de cultivo, mas nos maiores espaçamentos como de 1,5x1,5 m se obtém as maiores produtividades por planta e por raiz. Vale ressaltar que, para finalidade industrial (fécula, celulose, farmacêutica, fa-

rinha) a produtividade de raízes por área é mais importante enquanto que para consumo *in natura* a produtividade por raiz e por planta são mais importantes.

Com base em Streck et al. (2014) e Figueiredo et al. (2014) o número, comprimento, diâmetro, massa fresca e massa seca de raízes são os componentes que afetam diretamente a produtividade de mandioca. O número de raízes por planta é definido nos primeiros meses do ciclo de desenvolvimento, sendo que até 90 dias após o plantio (DAP), sob condições favoráveis, a planta define o seu número de raízes que serão tuberizadas. Já para cultivo cujo destino é forrageiro, os componentes de produtividade são estatura da planta, número de folhas por planta, massa fresca e massa seca da parte aérea e da raiz.

Além dos componentes de produtividade citados acima, devemos atender três pilares que constroem as altas produtividade. O primeiro pilar é a cultivar, pois a genética irá determinar a capacidade da planta atingir ou não altas produtividade de raízes e/ou parte aérea (dependendo da finalidade do cultivo, item cultivares). O segundo pilar é plantar a cultivar no melhor ambiente que forneça temperatura, disponibilidade hídrica e radiação solar para o crescimento e desenvolvimento da cultura. E o terceiro pilar que devemos construir para atingir altas produtividades é o manejo, tal como preparo do solo, adubação de acordo com as exigências fisiológicas da planta, arranjo de plantas, drenagem.

2.7 Armazenamento das ramas

Para uma lavoura de mandioca atingir alto potencial produtivo, um dos fatores decisivos é a utilização de manivas de qualidade, que será determinada pelo armazenamento das ramas. A cultura da mandioca, por ser perene, pode crescer indefinidamente, alternando períodos de crescimento vegetativo, armazenamento de carboidratos nas raízes e em alguns locais,

apresenta períodos de total dormência, ocasionada por períodos prolongados de baixa temperatura ou baixas precipitações (Takahashi et al., 2002).

Durante o inverno nas regiões subtropicais, como na região sul do Brasil, há condições climáticas adversas, principalmente no inverno (inicia-se em maio e vai até setembro ou outubro), com temperaturas baixas e geadas. Neste período do ano é importante o armazenamento adequado das ramas para o plantio na primavera, mantendo as ramas em perfeitas condições físicas, fisiológicas e fitossanitárias. Em regiões que apresentam período de seca prolongada também é importante o armazenamento das ramas, para que o material propagativo não sofra desidratação e ataque de insetos e doenças. Entretanto quanto maior o tempo de armazenamento, menores as porcentagens de brotação.

O armazenamento das ramas tem como objetivo preservar o material propagativo da cultura da mandioca. As ramas são colhidas para armazenamento quando a apresentam-se maduras fisiologicamente, com a coloração acinzentada da haste e lignificação parcial. O armazenamento das ramas pode ser realizado de duas formas. A forma mais comum de armazenamento consiste na colocação dos feixes de ramas na vertical sob a proteção de árvores (Figura 43 a, b), com a base em contato com o solo. A base das ramas deve então ser coberta com solo e após as ramas devem ser cobertas com uma camada de cobertura de palha seca, que permite a troca de ar com o ambiente externo. A segunda forma é realizada em propriedades que possuem solos bem drenados, onde as ramas são posicionadas na horizontal e depois são cobertas com o solo e palha seca, deixando apenas os ápices superiores das plantas descobertos (Figura 44 a, b). De acordo com Monteiro et al. (1995), o armazenamento das ramas na posição horizontal induz maior produção em números de hastes e raízes, devido alterações fisiológicas provocada nas manivas. Isso ocorre porque a dominância apical nas plantas de mandioca depende da posição vertical das hastes e quando ocorre a modificação da posição pode haver alteração do balanço hormonal e interferência na brotação das gemas (Cock, 1982).



Figura 43 - Armazenamento de ramas de mandioca verticalmente durante o inverno no Rio Grande do Sul.



Figura 44 - Armazenamento das ramas de mandioca horizontalmente no solo (A) e cobertura das ramas com solo (B) durante o inverno no Rio Grande do Sul.

Geralmente, ao realizar o armazenamento de forma inadequada, as ramas acabam sendo comprometidas, apresentando desidratação do material propagativo, ataque de doenças e pragas, obrigando o produtor a adquirir ramas em outras regiões que podem estar contaminadas ou serem de cultivares que não são adaptadas às condições locais.



Capítulo 3

Exigências climáticas da mandioca

3.1 Precipitação

A cultura da mandioca para render altas produtividades necessita de 1.000 a 1.500 mm.ano⁻¹ de precipitação bem distribuídos ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura (Francisco et al., 2017; Maluf et al., 2011). No entanto, a mandioca apresenta elevada eficiência no uso da água e suporta longos períodos de estiagem, podendo ser cultivada em regiões com regimes pluviométricos com apenas 400 mm.ano⁻¹ (Schwengber et al, 2005). Porém, o estresse provocado pelo déficit hídrico provoca reduções na produção de biomassa. Por outro lado, a mandioca não tolera excesso hídrico no solo. Em regiões tropicais, com totais pluviométricos de até 4.000 mm.ano⁻¹ (Figura 45), sem estação seca durante o ano, só é possível o cultivo de mandioca quando os solos são bem drenados, pois o encharcamento promove a podridão de raízes e conseqüentemente redução da produtividade (Souza, 2000; Tremacoldi, 2016).

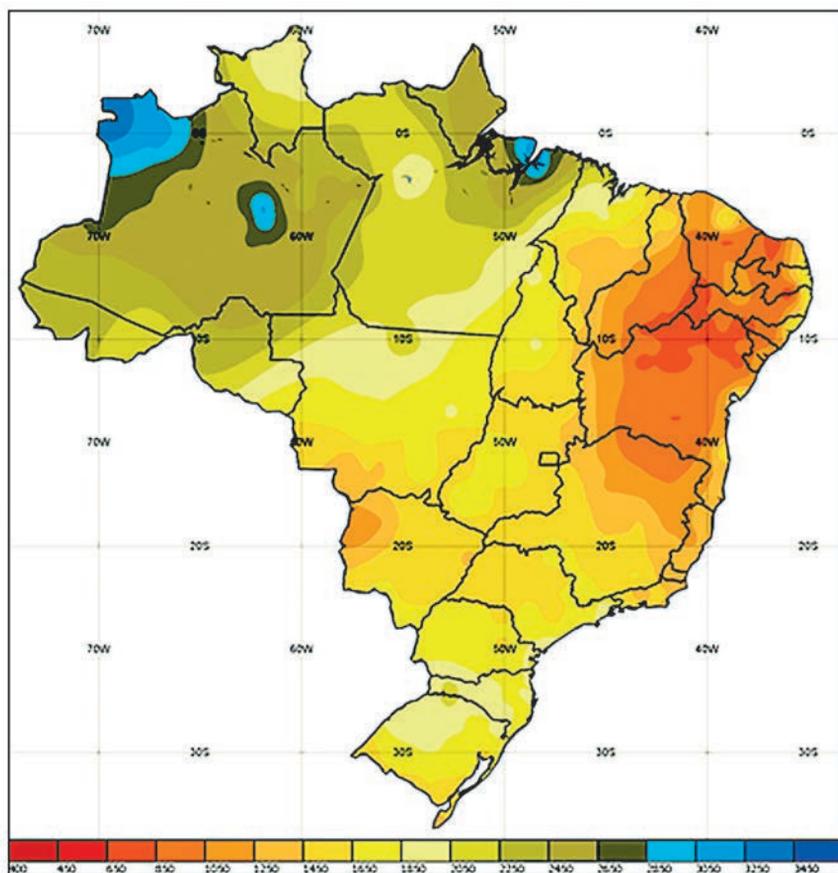


Figura 45 - Normal climatológica da precipitação média anual no Brasil, período 1981-2010. Fonte: INMET

3.1.1 Deficiência hídrica

A deficiência hídrica é caracterizada quando a absorção de água pela planta é menor que sua evapotranspiração (Bergamaschi & Beronci, 2017). Os estágios mais sensíveis da mandioca ao estresse hídrico são

PL-EM, EM-IAA e a IAA (estágios fenológicos da mandioca, item 1.2.3), onde a condição hídrica do solo interfere no número de plantas, altura da plantas, número de folhas e a massa seca total (Bergantin et al., 2004), ou seja, a primeira resposta fisiológica é a penalização dos processos de crescimento da cultura (Matthews & Hunt, 1994; Tironi et al., 2017a).

A mandioca é tolerante à deficiência hídrica devido seu sistema radicular ser profundo e bem desenvolvido e pelo eficiente controle estomático (El-Sharkawy et al., 1989; Alves & Setter, 2000, 2004; El-Sharkawy, 2007). Quando exposta a condições de baixa umidade do solo, as folhas de mandioca iniciam a produção de ácido abscísico (ABA), hormônio vegetal responsável pelo fechamento estomático, reduzindo a condutância estomática e a perda de água para o ambiente pelo processo de transpiração (Duque & Setter, 2013; Taiz & Zeiger, 2013). Dessa forma, o potencial hídrico da folha diminuirá ao nível necessário para induzir o fechamento estomático, quando a fotossíntese e a transpiração se aproximam de zero (El-Sharkawy, 2003). Com o fechamento parcial ou total dos estômatos, ocorre a redução do processo de transpiração e restrição à entrada de CO_2 , consequentemente, provocando redução dos processos de fotossíntese e respiração, levando a planta a utilizar de forma mais eficiente os metabólitos resultantes da fotossíntese. A planta quando sofre o efeito da deficiência hídrica a sua primeira resposta é a perda de turgor na célula, reduzindo o volume celular e espessamento da membrana plasmática. O crescimento da planta é o primeiro processo afetado, pois reduz a expansão foliar e o alongamento radicular, por serem dependentes do turgor celular. O déficit hídrico no solo também afeta o crescimento do caule, reduzindo a emissão de folhas (Taiz & Zeiger, 2013).

Na fase vegetativa, a planta apresenta mecanismo de defesa ao déficit hídrico, reduzindo o volume celular, ocorrendo abscisão das folhas mais velhas, formação de novas folhas menores e menor crescimento das hastes (El-Sharkawy, 2007). A abscisão de folhas são estratégias de

defesa da planta para sobreviver e minimizar os danos devido ao déficit hídrico, essa abscisão se dá pelo aumento da concentração de etileno que o estresse hídrico proporcionou a planta, acelerando a senescência das folhas. Nesta fase com o estresse a planta direciona a maior parte de seus fotoassimilados produzidos (energia) para os órgãos subterrâneos (raízes), buscando aumentar o crescimento e desenvolvimento radicular, para encontrar maior volume de água no solo. Na fase reprodutiva, todo o dreno fotossintético é direcionado aos órgãos reprodutivos (Taiz & Zeiger, 2013).

Além do eficiente controle estomático, a planta de mandioca apresenta outro mecanismo de tolerância e/ou prevenção ao déficit hídrico, o dobramento da folha. As folhas de mandioca apresentam a orientação da lâmina superior em direção ao sol (heliocentrismo) em posição horizontal, entretanto as folhas se dobram para baixo próximo ao meio-dia retornando à posição inicial após o período de maior incidência solar. O dobramento da folha proporciona uma redução na perda de água por transpiração, enquanto a folha mantém uma taxa fotossintética razoável com maior condutância estomática, devido a diminuição da interceptação de luz, temperatura foliar, déficit de pressão de vapor da folha durante os horários com maior disponibilidade de radiação solar (meio-dia) (El-Sharkawy, 2007).

A fração da água transpirável do solo (FATS) é um índice bastante usado para avaliar o efeito do déficit hídrico do solo na transpiração e no crescimento foliar e na detecção do início do fechamento estomático (FATS crítica) (Sinclair & Ludlow, 1986; Lago et al., 2012). Lago et al. (2011) submeteram plantas de mandioca a um período com deficiência hídrica, encontrando valores de FATS crítica diferentes para início do fechamento estomático e para crescimento foliar nas cultivares 'Fécua Branca' e 'Fepagro RS 13', respectivamente. Quando a demanda evaporativa da atmosfera foi baixa, 'Fepagro RS 13' foi mais eficiente, pois, mesmo com

baixa quantidade de água no solo, apresentou evidências de que consegue manter os estômatos abertos, o que permite a entrada de CO_2 na câmara subestomática. Já a cultivar 'Fécua Branca' reduz a abertura estomática, mesmo em baixa demanda atmosférica, fato que reduz o influxo de CO_2 na folha. Para melhor avaliar as reais condições de campo em que ocorre normalmente mais de um período de deficiência hídrica, Pinheiro et al. (2014) avaliaram se há diferença na FATS crítica para transpiração e crescimento foliar em plantas de mandioca submetidas a um e dois períodos de deficiência hídrica no solo. Os autores encontraram a resposta de que há diminuição na FATS crítica em mandioca no segundo período comparado ao primeiro período de deficiência hídrica no solo, que pode ser explicada pela menor área foliar, o que permitiu que o período de turgescência das folhas fosse maior e, com isso, demoraram mais a ativar seus mecanismos de controle estomático. Ambos resultados são importantes como parâmetros para irrigação da cultura, utilização em modelos matemáticos ecofisiológicos, e também, na seleção de cultivares mais tolerantes à deficiência hídrica.

3.1.2 Excesso hídrico

O excesso hídrico é um problema para a cultura da mandioca? Sim. Deve-se tomar muito cuidado e na maioria das vezes evitar o cultivo em solos mal drenados, hidromórficos ou de fácil alagamento. Nessas condições pode-se causar interferência nas características fisiológicas e morfológicas da planta de mandioca e dependendo da fase que a cultura se encontra os danos são preocupantes. Na fase de emergência, por exemplo, se ocorrer excesso hídrico e o alagamento do solo permanecer por um longo período, as altas produtividades que buscamos serão comprometidas, interferindo no principal componente da produtividade que é o número de plantas estabelecidas. Outra fase importante para evitar este

estresse hídrico é a acumulação de amido, pois em solo com excesso de umidade o risco de ocorrer podridões radiculares é alto (Figura 46).



Figura 46 - Raízes de mandioca com injúrias causadas pelo excesso hídrico.

O excesso hídrico no solo pode ser caracterizado quando o volume de água, oriundo da chuva ou de irrigação, é superior à capacidade que o solo apresenta de infiltrar e/ou armazenar água por um longo período de tempo, proporcionando a saturação do mesmo. A transferência de oxigênio do ar para o interior do solo saturado é alterada, pois os macroporos que geralmente estão ocupados por ar ficam preenchidos de água (Drew et al., 1997). A temperatura é um dos fatores mais relevantes para o consumo deste oxigênio do solo, pois o aumento (temperaturas maiores que 20°C) acelera o consumo de oxigênio pelos microrganismos e pela respiração das raízes das plantas. Sob estas condições, o tempo para ausência total de oxigênio no solo ocorre após 24 horas do início do excesso hídrico (Armstrong et al., 1994; Marschner, 1995; Drew et al., 2000; Liesack et al, 2000).

Durante períodos de alagamento de curta duração, a disponibilidade de oxigênio no solo é baixa, ocorrendo hipóxia (Sairam et al., 2008). Já em solos com longo período de alagamento, onde os níveis de oxigênio estiverem completamente ausentes, ocorre o que chamamos de anóxia (Dias Filho, 2012). As primeiras respostas das plantas que não

são adaptadas a ambientes alagados (plantas que não possuem a capacidade de desenvolver aerênquima funcional), como é o caso da mandioca, é apresentar sintomas de hipóxia e anóxia. Ocorre a paralisação e inibição da respiração aeróbica na mitocôndria, presente nas células, desregulando a rota da glicólise e o Ciclo de Krebs, consequentemente reduzindo a produção de ATP a cada substrato (glicose) metabolizado (Taiz & Zeiger, 2013).

Com a ausência de oxigênio como acceptor final de elétrons, a respiração ocorre apenas no citoplasma (anaeróbica), onde a rota da glicólise não irá operar, não ocorrendo fosforilação oxidativa e aprisionando o NADH, metabolizando o piruvato, produzindo produtos da fermentação como etanol e lactato (Taiz & Zeiger, 2013). Ao ocorrer o processo fermentativo na respiração, diminui a produção de energia a cada substrato metabolizado para 2 ATP, sendo que em condições aeróbicas, a cada substrato metabolizado gera 36 ATP de energia (Taiz & Zeiger, 2013). O acúmulo destes produtos tóxicos (etanol e lactato) juntamente com a diminuição do metabolismo energético afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas e ocasionam injúrias e até mesmo morte das raízes (Drew, 1997).

As perdas de produtividade devido ao excesso hídrico na maioria das vezes estão associadas a prejuízos na brotação das manivas após plantio, morte de plantas e aparecimento de doenças que estes ambientes acabam favorecendo. Uma alternativa de manejo no cultivo de mandioca em áreas onde ocorre excesso hídrico é a construção de drenos e camalhões antes do plantio (Figura 47), pois irá minimizar os impactos das chuvas e facilitar a drenagem da área, proporcionando um melhor estabelecimento e crescimento das plantas.



Figura 47 - Cultivo de mandioca em camalhões: Fase inicial do cultivo (A) e em pleno crescimento (B).

3.2 Temperatura

A temperatura do ar juntamente com a radiação solar comandam o crescimento e o desenvolvimento da cultura da mandioca. As temperaturas cardinais da cultura da mandioca são temperatura base = 14°C (Schons et al., 2007), temperatura ótima = 30°C e temperatura máxima = 42,5°C (Matthews & Hunt, 1994). Já a brotação das gemas na maniva é beneficiada em temperaturas do solo em torno de 28 a 30 °C, porém é paralisada em temperaturas superiores a 37 °C e inferiores a 17 °C (El-Sharkawy, 2004).

A nível de Brasil, há uma grande variabilidade de temperatura, representada pela média anual na Figura 48. Isso influencia diretamente época de plantio, duração das fases e ciclo de desenvolvimento, assim como manejo das ramas pós colheita.

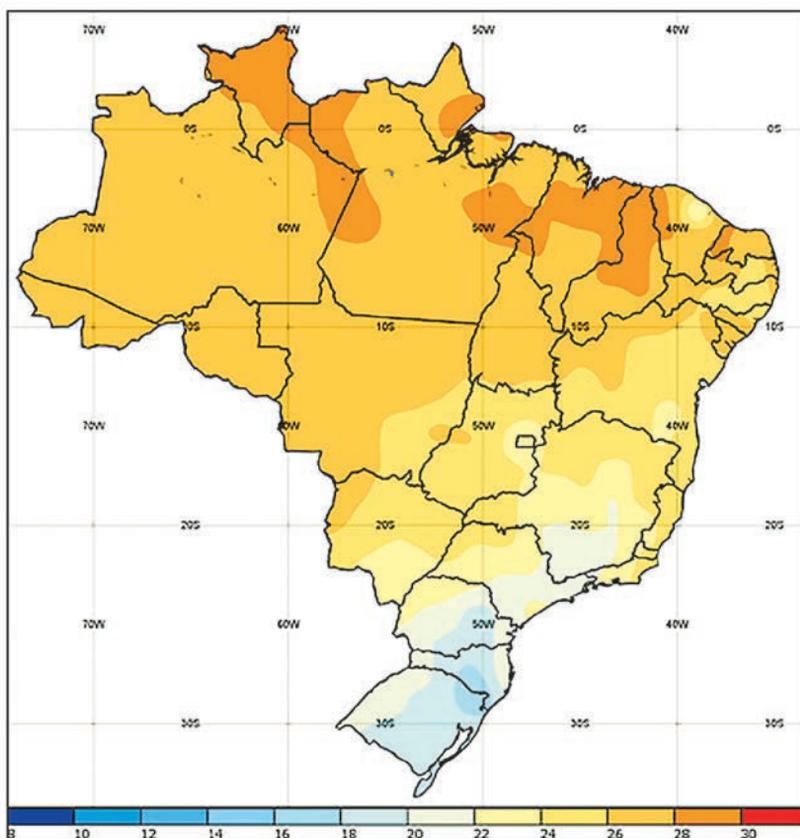


Figura 48 - Normal climatológica da temperatura média anual (°C) no Brasil, período 1981-2010. Fonte INMET

As cultivares de mandioca respondem de maneira diferente à temperatura, algumas podendo apresentar maior produtividade sob

temperaturas mais elevadas que outras. Por exemplo, comparando quatro cultivares de mandioca (M Col 22, M Mex 59, M Col 113 e Popayán) cultivadas em três locais na Colômbia com temperaturas médias durante a estação de crescimento de 20, 24 e 28 °C, a cultivar Popayán foi a mais produtiva no local com menor temperatura (20 °C) e a menos produtiva nos outros dois locais com maior temperatura (Irikura et al., 1979). Temperaturas foliares na faixa entre 25 e 35 °C proporcionaram as mais altas taxas fotossintéticas para diversas cultivares de mandioca oriundas de diferentes locais (El-Sharkawy et al., 1984; El-Sharkawy et al., 1989).

Plantas de mandioca podem manter o crescimento vegetativo e a produção de biomassa sob temperaturas altas (40 °C) com adequada umidade do solo, porém a exportação da sacarose das folhas e a síntese de amido nas raízes são afetadas negativamente. O teor de amido é de 3 a 5% maior nas raízes em climas amenos e altitude elevada que em planícies mais quentes (Ravi et al., 2008), além do que temperaturas elevadas podem desviar a rota de fotoassimilados para lignificação (Amthor, 2003).

3.3 Radiação solar

Durante o processo de fotossíntese, a radiação solar participa como componente vital. A partir desta energia luminosa que são geradas as estruturas de carbono que acumuladas compõem células, tecidos e órgãos da planta. Para aproveitar o máximo de radiação luminosa disponível durante o dia, as folhas de mandioca apresentam um movimento heliotrófico moderado, a qual acompanha a incidência de raios solares.

Ecofisiologicamente, a densidade de fluxo de radiação solar conjuntamente com a temperatura comanda o crescimento total da cultura.

Em valores de radiação solar acima de $24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ a planta apresenta a máxima taxa de crescimento diário, e, portanto, a máxima eficiência de acúmulo de massa seca por dia (Fukai & Hammer, 1987).

No Brasil, a disponibilidade de radiação solar é bastante variável (representada na Figura 49 pelo brilho solar anual), sendo mais expressiva nas regiões Centro-Oeste e Nordeste.

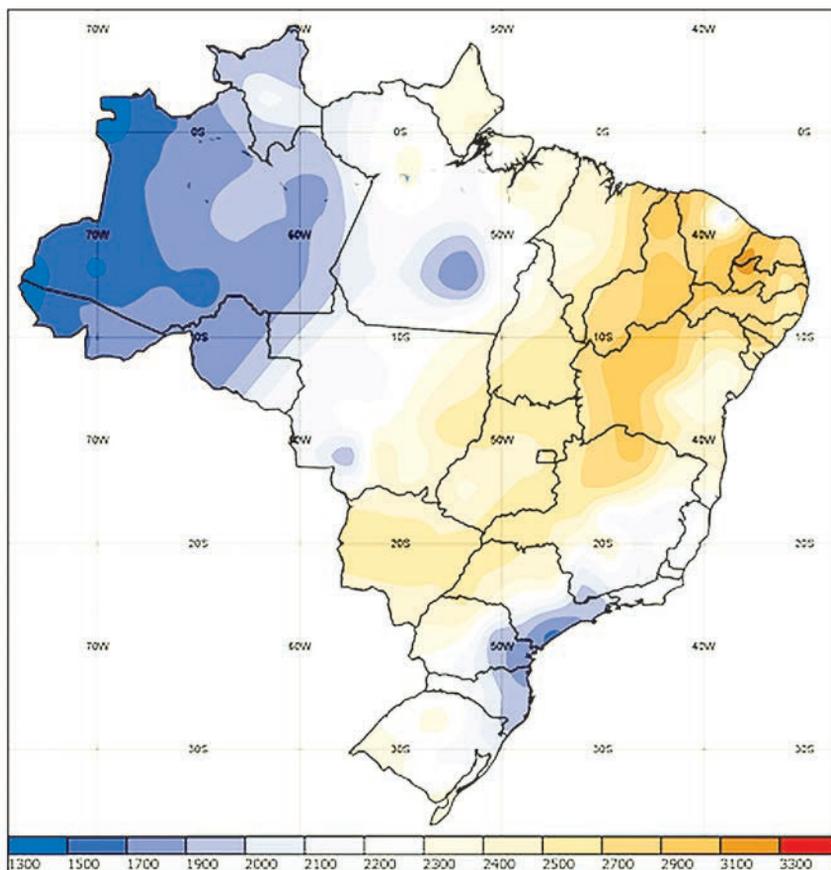


Figura 49 - Normal climatológica de brilho solar anual (número de horas com radiação solar sem nuvens) no Brasil, período 1981-2010. Fonte: INMET.

3.4 Fotoperíodo

O fotoperíodo compreende a duração em horas de luz solar durante o dia, mais a duração dos crepúsculos, que são o período de horas de luz antes do nascer e após o sol se pôr no horizonte. O fotoperíodo influencia o desenvolvimento da planta de mandioca, sendo classificada como planta de dia curto para início acumulação de amido, e planta de dia longo para o crescimento vegetativo, florescimento e aparecimento das ramificações simpodiais.

O fotoperíodo ótimo da cultura da mandioca é de 15,5 horas (Matthews & Hunt, 1994), ou seja, plantas de mandioca expostas a fotoperíodos menores que o ótimo estão induzidas ao florescimento. Porém, por possuir uma variabilidade genética muito ampla, existe uma sensibilidade do genótipo ao fotoperíodo (Matthews & Hunt, 1994). Assim, muitas cultivares de mandioca não são induzidas ao florescimento, mesmo com fotoperíodos menores que o ótimo. Foi observado a campo pela Equipe Simanihot que outros fatores também interferem e podem induzir a planta a florescer, como condições de estresse causados tanto por falta de água, práticas de manejo ou ataque de pragas.

3.5 Mudança climática

A variabilidade interanual dos elementos meteorológicos afeta a produtividade da mandioca e mudanças no clima poderão trazer importantes consequências sobre a produtividade (Eke-Okoro et al., 2009). Experimentos em casa de vegetação e à campo iniciaram na década de 80 (Imai et al., 1984), e se estenderam na década de 2000 ao redor do mundo (Fernández et al., 2002; Gleadow et al., 2009; Rosenthal et al. 2012) na busca de compreender qual a resposta da mandioca à elevação de temperatura e CO₂ (Tabela 8). Esses estudos são usados como referência sobre a resposta desta cultura nos cenários de mudança climática estudados.

Tabela 8 - Condições experimentais e variáveis analisadas em quatro experimentos de aumento da concentração de CO₂ sobre a cultura da mandioca.

Condições/ variáveis	Referências			
	Imai et al. (1984)	Fernández et al. (2002)	Gleadown et al. (2009)	Rosenthal et al. (2012)
Concentração de CO ₂ (ppm)	350; 700	480; 680	360; 550; 710	385; 585
Variáveis meteorológicas (temperatura (°C), radiação solar (MJ m ⁻² d ⁻¹) e precipitação (mm))	28 °C (dia)- 21 °C (noite) 33 °C (dia)- 26 °C (noite) 12,3 MJ m ⁻² d ⁻¹	33 °C 1200 mm	28,5 °C (dia)- 19,2 °C (noite)	18.23 ± 3.3 °C 29.9 ± 2.8 °C 377 mm 26.35 MJ m ⁻² d ⁻¹
Duração do experimento (meses)	3	8	9	3
Local e tipo experimento	Tóquio, Japão; Casa de Vegetação	Maracay, Venezuela; À campo (câmara de topo aberto)	Victoria, Austrália; Casa de Vegetação	Illinois, Estados Unidos; Experimento FACE
Meio de crescimento radicular	Vasos de 12 Kg com solo	Solo a campo	*	Solo a campo
Adubação nitrogenada	Composto químico de 5 gramas/planta, 2 vezes	N:P:K:MG (18:18:18:3) 4,1Kg/ha, 1 vez no início do experimento	Solução nutritiva de Hewitt com 1 e 12 mm de NO ₃ , 3 vezes por semana	150Kg/ha, antes do plantio
Assimilação CO ₂	Aumentou	Aumentou	Diminuiu	Aumentou
Razão raiz/parte aérea	Aumentou	Não mudou	Diminuiu	Aumentou
Massa seca raiz	Aumentou	Aumentou	Diminuiu	Aumentou

*Não especificado.

Experimentos numéricos simulando a produtividade da mandioca foram realizados para algumas regiões do mundo em cenários climáticos futuros, com mudanças na temperatura e na precipitação (Lobell et al., 2008; Schlenker & Lobell, 2010; Jarvis et al., 2012) e também na concentração de CO_2 (Liu et al., 2008). Os resultados dos experimentos numéricos indicam que a resposta da cultura da mandioca à mudança climática varia com a região do globo e com a variabilidade interanual de precipitação.

No Brasil, no estudo numérico realizado por Assad & Pinto (2008), a cultura da mandioca terá um aumento da área de plantio com baixo risco, principalmente na região Sul, devido à diminuição de locais sujeitos a geadas e na Amazônia, em decorrência da diminuição dos excedentes hídricos. Porém no Nordeste haverá graves perdas, pois, o aumento de temperatura deve levar a uma expansão das áreas de alto risco de produção de mandioca no Semi Árido e no Agreste nordestino, onde a mandioca é mais significativa para a segurança alimentar. No Sul do Brasil, em trabalho realizado por Tironi et al. (2017b) utilizando o modelo ecofisiológico Simanihot com duas cultivares, Fepagro - RS13 (cultivar forrageira) e Estrangeira (cultivar de mesa), é projetado um aumento na produtividade de raízes em cenários climáticos futuros. A cultivar de mesa se beneficia mais na produtividade de raízes no cenário com maior concentração de CO_2 , (chega a 700 ppm por volta do ano 2100) enquanto a cultivar forrageira, se beneficia mais no cenário com menor concentração de CO_2 (chega a 538 ppm por volta de 2100). Nos três períodos futuros estudados (2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099), as mudanças na produtividade foram sempre mais expressivas no último período (2070-2099) e nas primeiras datas de plantio (01/09 e 01/10). A região do Rio Grande do Sul com maiores mudanças na produtividade foi a região nordeste, a qual, no clima atual é a mais fria do Estado, com temperatura mínima do ar no inverno entre 6 e 8°C (Tironi et al., 2017b).

Buscando entender qual seria a resposta fisiológica da cultura e de crescimento da mandioca com aumento da concentração de CO_2 em plan-

tas bem irrigadas e com deficiência hídrica, foi realizado um estudo em parceria com a Embrapa e o USDA (Figura 50) (Cruz et al., 2016). Os déficits hídricos levaram a reduções na taxa de alongamento das folhas de plantas cultivadas em concentrações de CO_2 ambiente, bem como em concentrações enriquecidas com CO_2 . No entanto, plantas cultivadas a $750 \mu\text{L L}^{-1}$ de CO_2 mantiveram o crescimento foliar por mais tempo do que plantas cultivadas a $390 \mu\text{L L}^{-1}$. Três dias após a retenção de água, fotossíntese e condutância estomática foram reduzidas em plantas cultivadas sob CO_2 ambiente, enquanto que em plantas sob elevada concentração de CO_2 , essas funções fisiológicas permaneceram similares às de plantas controle sob boa disponibilidade de água. Cinco plantas cultivadas com $750 \mu\text{L L}^{-1}$ continuaram a melhorar as trocas gasosas em comparação com plantas cultivadas sob $390 \mu\text{L L}^{-1}$. Sob estresse hídrico, a eficiência da transpiração instantânea foi sempre maior para plantas cultivadas sob CO_2 elevado. A resposta positiva dos níveis elevados de CO_2 na massa seca total foi de 53% nas plantas com estresse hídrico e de apenas 14,9% nas plantas cultivadas sob boa disponibilidade de água. A limitação estomática foi um fator importante na redução da assimilação de CO_2 na cultura da mandioca sob condições de seca. De acordo com este estudo, é possível sugerir que um aumento na concentração de CO_2 poderá contribuir para reduzir os efeitos negativos do déficit hídrico e da elevação da temperatura sobre a cultura da mandioca em condições de aumento de CO_2 (Cruz et al., 2016).

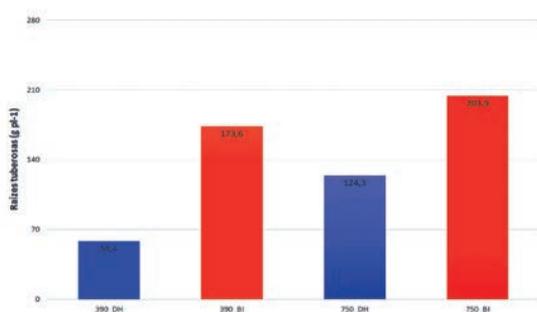


Figura 50 - Matéria seca das raízes tuberosas de plantas de mandioca cultivadas em 390 ou em 750 ppm de CO_2 em condições irrigadas (BI) (colunas azuis) ou sob déficit hídrico (DH) (colunas marrons). Fonte: Cruz et al. (2016).



Capítulo 4

Época de plantio

A época de plantio é o fator que mais impacta no crescimento, desenvolvimento e na produtividade da cultura da mandioca (Schons et al., 2007; Fagundes, et al., 2010). A tomada de decisão da época de plantio, deve ser com base no conhecimento do ambiente de cultivo (características climáticas e solo), características genéticas, na fenologia e no manejo da lavoura de mandioca. Neste capítulo será discutido fatores de manejo que caracterizam as épocas de plantio para atingir altas produtividades e para reduzir os riscos de perda de produtividade.

4.1 Época de plantio para atingir altas produtividades

O potencial de produtividade (PP) da cultura da mandioca é definido quando uma determinada cultivar, em um ambiente ao qual está adaptada, expressa sua máxima produtividade e se desenvolve sem restrição de nutrientes e água, sem estresses bióticos (plantas daninhas, insetos e doenças), sendo determinada apenas pela radiação solar, temperatura, CO₂ atmosférico e características genéticas (Evans, 1993; Van Ittersum & Rabbinge, 1997). Em ambientes não irrigados e/ou que não tenha uma distribuição homogênea das preci-

pitações, durante o ciclo de cultivo da mandioca, a água torna-se um fator limitante do potencial de produtividade, sendo assim conhecida como produtividade potencial limitada por água (PPA) (Van Ittersum et al., 2013). Ao planejar a época de plantio, deve-se pensar em ajustar as melhores condições ambientais, a fim de coincidir com os estágios mais sensíveis da cultura da mandioca, onde a maneira mais fácil de modificar o ambiente é através da época de plantio. Em trabalho realizado pela equipe Simanihot (Figura 51), é possível verificar diferenças de produtividades, quando o plantio foi realizado no início (21/08 e 11/09) e no final do período recomendado (30/11) pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para o Rio Grande do Sul. A temperatura média do ar é um dos elementos meteorológicos que determinam o potencial de produtividade durante a estação de crescimento (Van Ittersum et al., 2013), apresentando diferenças de produtividade em cada local. Quanto menor for a temperatura média do ar durante a estação de crescimento, menor foi a produtividade de raízes de mandioca. Essa penalização é ainda maior quando o plantio é realizado no final do período recomendado pelo zoneamento, pois a soma térmica acumulada durante o ciclo é menor, e assim o efeito da duração do ciclo estará comandando esta penalização. Os locais que apresentaram valores acima de 40 Mg ha⁻¹, o plantio foi realizado no início do período recomendado, e a temperatura média do ar durante a estação de crescimento foram próximas ou acima de 22°C (Figura 51). Esses dados evidenciam que a escolha da época de plantio é um dos alicerces para se obter altas produtividades.

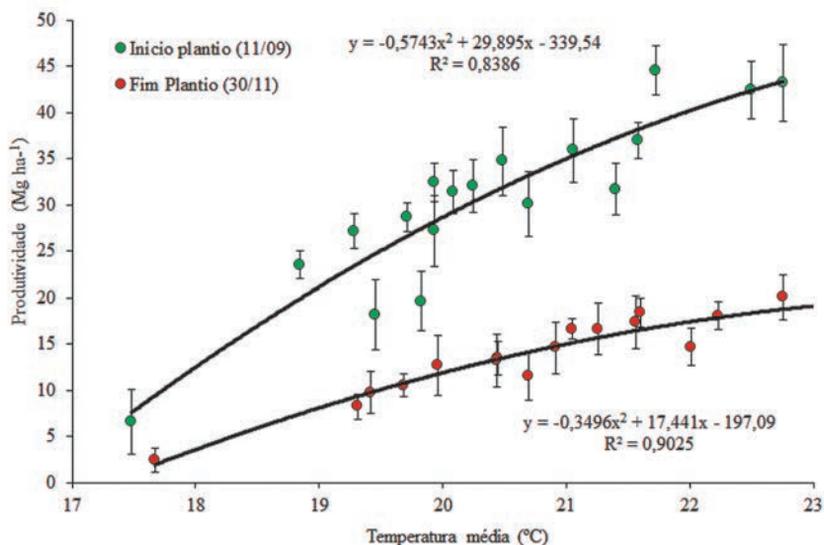


Figura 51 - Produtividade de raízes de mandioca média simulada das safras 2004-2005 a 2010-2011, para 17 locais do Estado do Rio Grande do Sul, em função da temperatura média do ar durante a estação de crescimento da cultura. A simulação foi realizada com o modelo ecofisiológico Simanihot, a partir do primeiro dia (11/09) e do último dia (30/11) recomendado pelo zoneamento agroclimático para cada local. Fonte: Equipe Simanihot.

Considerada uma cultura perene, quando cultivada como anual (um ciclo), o tempo que permanecerá na lavoura afetará a produtividade. Portanto, quanto maior o período que a planta fica na lavoura, maior a produtividade final. Devemos optar por plantio no cedo (quando o ZARC determina o início da data de plantio) para buscar altas produtividades. Por exemplo, o maior potencial de produtividade de mandioca para o estado Rio Grande do Sul ocorre em plantios realizados entre o 2^a decêndio de agosto e o 3^a decêndio de setembro, ocorrendo uma perda de 0,298 Mg ha⁻¹ dia⁻¹, ou seja, cerca de 300 Kg ha⁻¹ dia⁻¹ na produtividade potencial com o atraso no plantio (Figura 52).

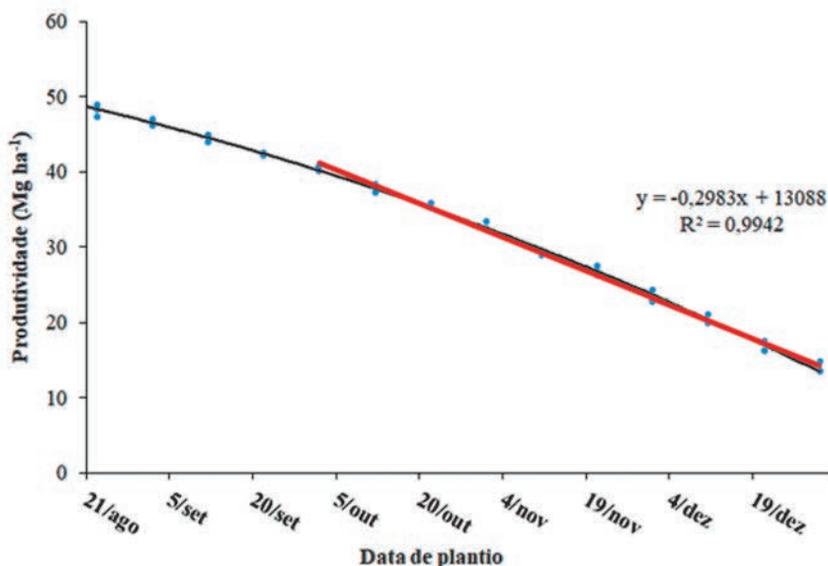


Figura 52 - Potencial de produtividade da cultura da mandioca em função da época do plantio, estimado pelo modelo Simanihot para o estado do Rio Grande do Sul. A linha vermelha indica a forte perda no potencial produtivo da cultura da mandioca em função do atraso no plantio. Fonte: Equipe Simanihot.

4.2 Época de plantio para reduzir os riscos de perda de produtividade

A época de plantio é o principal fator utilizado para definir o risco de perda de produtividade diante de riscos climáticos, sendo a precipitação pluviométrica e a temperatura os principais elementos meteorológicos relacionados a perdas de produtividade em lavouras de mandioca no Brasil. Conforme observa-se no item 3.1 e 3.2, a mandioca é adaptada a uma ampla faixa de precipitação e temperatura. Em índices pluviométricos baixos ($\leq 400 \text{ mm.ano}^{-1}$) (Schwengber et al, 2005) é possível realizar-se o cultivo de mandioca, desde que a distribuição

da precipitação seja homogênea durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Os principais estágios em que ocorre o estresse hídrico, que acresce o risco de perda de produtividade, são: PL-EM, EM-IAA e o IAA. A ocorrência do déficit hídrico no período do PL-EM e na EM-IAA reduz o número de plantas por área, enquanto que o acontecimento do déficit hídrico no IAA traz redução no número de raízes que acumulam amido (raízes comerciais). O excesso hídrico aumenta o risco de perda de produtividade nos estágios de PL-EM e na colheita (CO). Do mesmo modo que o déficit hídrico, o excesso no período de PL-EM reduz o número de plantas por área e a ocorrência na CO causa apodrecimento de raízes. Como a temperatura do ar ideal para a brotação das manivas é $\geq 14,0$ °C (Schons et al., 2007), temperaturas abaixo desta, aumentará o período do PL-EM, podendo causar perdas de plantas por área pelo ataque de fungos as manivas.

Devido a época de plantio ser o fator de manejo que mais interfere no ambiente, anualmente é determinado e atualizado o Zoneamento Agrícola de Risco Climático, onde determina o período preferencial para cada estado e seus municípios do Brasil. O ZARC leva em consideração a época com menor risco de ocorrência de perdas na produtividade, o qual segue parâmetros de riscos climáticos como temperatura, índice hídrico, reserva útil de água no solo e probabilidade de colheita.

A identificação do período ideal para o plantio de mandioca, com menor risco climático, é realizada com base em um modelo de balanço hídrico diário da cultura, considerando a interação entre local (clima) x ciclo da cultivar x período de plantio x tipo de solo, de acordo com o zoneamento de aptidão agroclimática (Portaria Nº 130/2011):

a) Precipitação pluviométrica: foram analisadas as séries históricas, com média de 15 anos de dados diários de chuva e de temperatura do ar, registrados em estações meteorológicas disponíveis no Brasil.

b) Balanço hídrico: foi realizado com base nos valores médios do Índice de Satisfação de Necessidade de Água - ISNA (expresso pela relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração máxima - ET_r/ET_m).

c) Cultura: considera-se a interação entre o clima, o ciclo, o período de plantio e o tipo de solo. Nas simulações foram considerados dois ciclos de cultivo: cultivo de 1º ciclo e cultivo de 2º ciclo com, respectivamente, 6 a 8 meses e 18 a 20 meses para atingir a fase de maturação.

d) Disponibilidade máxima de água no solo: é estimada em função da profundidade efetiva das raízes e da capacidade de água disponível dos solos tipo 1, 2 e 3, com capacidade de armazenamento de água de 30 mm, 50 mm e 70 mm, respectivamente.

Partindo destas análises, foi definido o nível de 20% de risco de perda de produtividade, ou seja, está apto ao cultivo da mandioca os municípios que apresentaram condições climáticas dentro dos critérios adotados em 80% dos anos estudados.

A época de plantio da mandioca varia entre as regiões do Brasil, iniciando-se logo após a estação chuvosa nas regiões que apresentam essa característica, quando o nível de umidade no solo e a temperatura do ar é mais elevado (Fagundes et al., 2010), e na região Sul, no qual o fator limitante é a temperatura, o período é entre agosto a novembro, quando

passa a estação do inverno com temperaturas baixas e inicia a primavera. Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, o período é de maio a outubro, caracterizado por verões quentes e chuvosos, inverno seco e pouco frio. Na região Norte, com clima equatorial, apresentando chuvas constantes, ausência de secas e temperaturas elevadas, a época de plantio nessa região é de outubro a dezembro. Na região Nordeste, caracterizado pelo clima semiárido, com irregularidades nas chuvas o plantio é realizado em diferentes meses de acordo com as características climáticas de cada estado, para a cultura não ser penalizada com a estiagem (MAPA, 2011).



Simanihot

Capítulo 5

Potencial e lacunas de produtividade

O potencial de produtividade da cultura da mandioca é de 60 a 90 Mg ha⁻¹, produtividades obtidas em condições experimentais na Colômbia e na Índia (Cock, 1990; Cock et al, 1979) e na África Oriental (Obiero, 2004). Segundo Cock et al. (1979) o genótipo de mandioca ideal para atingir o potencial produtivo (PP) tem que apresentar ramificação tardia, folhas grandes e com baixa taxa de senescência. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de mandioca, precedido da Nigéria (1º), Tailândia (2º) e Indonésia (3º) (FAO 2019), apesar da sua colocação os níveis de produtividade de mandioca são muito baixos 14,7 Mg ha⁻¹. No Rio Grande do Sul, em condições experimentais, foram encontrados valores próximos a 45 Mg ha⁻¹ no ano agrícola 2018/2019. Comparando as atuais produtividades nacionais de mandioca encontradas, com as produtividades atingidas em alguns experimentos aqui, e ao redor do mundo, observa-se que existe diferença entre a produtividade média do Brasil (Acre, Paraná, Rio Grande do Sul e Pará), e o potencial produtivo da cultura, diferença essa que chamamos de lacuna de produtividade (Figura 53).

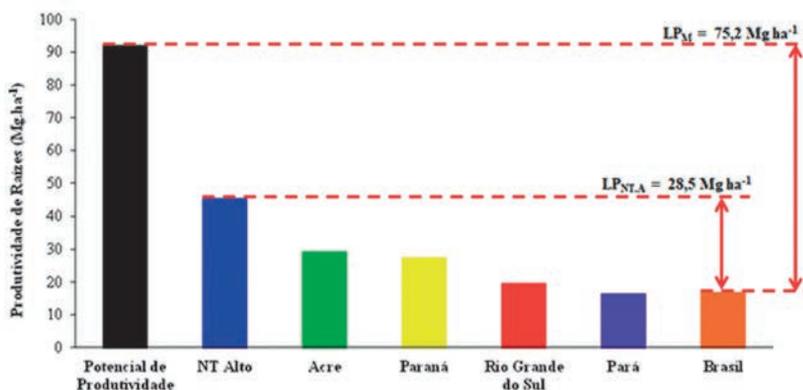


Figura 53 - Lacunas de produtividade da cultura da mandioca; Produtividade potencial trazida por Cock, et al. (1979); produtividade encontrada em experimentos de campo sob nível tecnológico alto; produtividade média do Brasil (Acre, Paraná, Rio Grande do Sul e Pará), dos últimos cinco anos, os quais foram obtidos a partir dos dados do IBGE, 2019.

Podemos estimar a produtividade potencial através de dados de experimentos a campo, lavouras e modelos matemáticos que descrevam a produtividade em função das condições meteorológicas, sendo os modelos previamente testados para determinada região de estudo (Van Iltersum et al., 2013). No Brasil existe apenas um modelo matemático Simanihot, que é um modelo dinâmico baseado em processos (*process – based model*), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Agrometeorologia da Universidade Federal de Santa Maria, que simula diversos processos ecofisiológicos e estima a produtividade potencial da cultura da mandioca no estado do Rio Grande do Sul (Tironi et al., 2017a).

Os valores demonstrados através da lacuna (Figura 53) indicam que é possível aumentar a produtividade e a eficiência da produção da mandioca no Brasil. Estudos de lacunas de produtividade permitem identificar os principais fatores biofísicos e de manejo que limitam o aumento

ou diminuam a produtividade obtida pelos agricultores, auxiliando assim, a direcionar novas pesquisas no futuro e buscando melhorar as práticas de manejo (Van Ittersum et al., 2013).

O Global Yield Gap Atlas – GYGA é um projeto mundial, que soma esforços para reduzir a lacuna de produtividade de diversas culturas ao redor do planeta (www.yieldgap.org). Através dessa metodologia, é possível definir o potencial produtivo da mandioca para o Brasil, quantificar as lacunas de produtividade, as práticas de manejo que podem diminuir essas lacunas, e aumentar a eficiência da produção de mandioca no Brasil, pois existe forte demanda científica em escala global. Para a cultura da mandioca algumas das principais lacunas de produtividade que podemos citar ocorreu devido à ineficiência do controle de plantas daninhas, qualidade de rama, adubação e a falta de informações sobre manejo da cultura.

Em estudos realizados em parceria com o produtor, a Equipe Simanihot conduziu experimentos em diversos locais do Rio Grande do Sul aplicando diferentes níveis tecnológicos, diferenciados pelo manejo adotado nas lavouras de mandioca. O nível tecnológico baixo é caracterizado por propriedades que não realizam correção do solo, adubação, controle químico de pragas, realizando apenas uma capina após a emergência da cultura. Para propriedades enquadradas no nível médio, não é realizada calagem, a adubação aplicada é a metade da recomendada para a cultura pelo Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 2016), não é realizado o controle fitossanitário com agrotóxicos, e o controle de plantas daninhas é através de duas capinas. Propriedades caracterizadas com nível tecnológico alto fazem a calagem para correção dos níveis de cálcio e magnésio, adubação seguindo as recomendações do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e

Santa Catarina (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 2016), aplicam herbicidas pré-emergente e fazem o controle de plantas daninhas por meio de capina e também realizam o controle de insetos e doenças utilizando agrotóxicos sempre que necessário.

Na Figura 54 estão plotadas as produtividades encontradas em experimento realizado pela Equipe Simanihot no município de Ibarama/RS. Ao compararmos os diferentes níveis tecnológicos com o potencial de produtividade ocorre distintas lacunas de produtividade. Portanto, quando limitamos as condições ideais para o crescimento e desenvolvimento da cultura, impondo o NT Baixo a lacuna encontrada é surpreendente ($52,8 \text{ Mg ha}^{-1}$). Com a realização das práticas de manejo adequadas, essas lacunas vão diminuindo, e quando ligadas aos pilares que constroem altas produtividades podemos aumentar significativamente a produtividade de mandioca, sustentando a importância de conhecer as informações contidas neste livro.

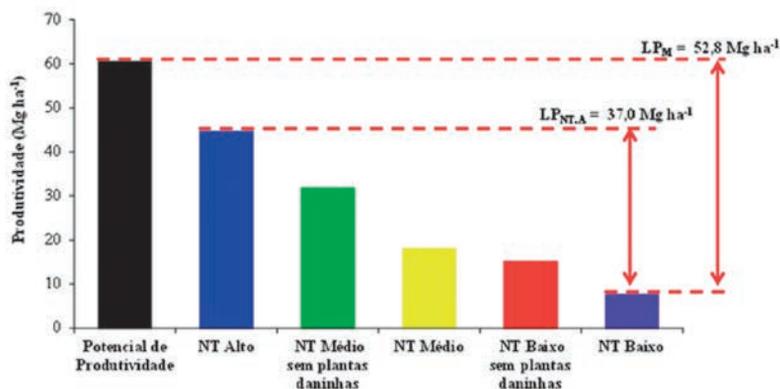


Figura 54 - Lacunas de produtividade da cultura da mandioca entre o potencial de produtivo estimado pelo modelo Simanihot e às produtividades de raízes do experimento de níveis tecnológicos (NT alto, médio, médio sem PD, baixo e baixo sem PD), com a cultivar Vassourinha em uma lavoura comercial localizada em Ibarama/RS em 2018/2019.

Considerações finais

Com o objetivo de diminuir a lacuna de produtividade da mandioca, cultura tão importante para garantir a segurança e soberania alimentar no país e mundo, é preciso conhecer sobre a morfologia, ecofisiologia, e as condições climáticas que afetam a planta, de forma a realizar as principais práticas de manejo visando o melhor estabelecimento e produção da cultura.

Os tópicos abordados neste livro foram preparados para que agricultores, técnicos, professores, extensionistas, a partir deste conhecimento, sejam capazes de obter as maiores produtividades, levando-se em consideração as condições climáticas de cada local.

Referências

ALBUQUERQUE, J. A. A.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A.; CARNEIRO, J. E. S.; CECON, P. R.; ALVES, J. M. A. Interferência de plantas daninhas sobre a produtividade da Mandioca (*Manihot esculenta*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 26, n. 2, p. 279-289, 2008.

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. In: Hillocks, R. J.; Thresh, J. M.; Bellotti, A. C. **Cassava: Biology, production and utilization**. Oxon: CABI Publishing, 2002, p.67-89.

ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca: **Aspectos socioeconômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006, Cap.7, p. 138-169.

ALVES, A.A.C.; SETTER, T.L. Response of cassava leaf area expansion to water deficit: cell proliferation, cell expansion and delayed development. **Annals of Botany**, v.94, p.605-613, 2004.

ALVES, A.A.C.; SETTER, T.L. Response of cassava to water deficit: leaf area growth and abscisic acid. **Crop Science**, v.40, p.131-137, 2000.

AKSENOVA, N. P. et al. Hormonal regulation of tuber formation in potato plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 59, p. 451-466, 2011.

AMTHOR, J. S. Efficiency of lignin biosynthesis: a quantitative analysis. **Annals of Botany**, v.91, p.673-695, 2003.

AMSTRONG, E.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M. B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, Oxford, v. 43, n. 4, p. 307-358, 1994.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo: Embrapa, 2008. 84p.

AZEVEDO, B. E. et al. Silagem da parte aérea de cultivares de mandioca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, p.1902-1908, 2006

BANDEIRA, A. G. Ocorrência de cupins (Insecta, Isoptera) como pragas de mandioca em Bujarú, Pará. **Acta Amazonica**, v. 11, n. 1, p. 149-152, 1981.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima**. 352p. 2017.

BERGANTIN, R.V.; YAMAUCHI, A.; PARDALES, J.R. & BOLATELE, D.M. Screening cassava genotypes for resistance to water deficit during crop establishment. *Philippine J. Crop Science*, 29:29-39, 2004

BOLHUIS, G. G. The toxicity of cassava roots. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 2, n. 3, p. 176-185, 1954.

BURGOS, A. M.; PRAUSE, J.; ARGÜELLO, J. A.; CENÓZ, P. J. Fenología de los estados vegetativos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en base al tiempo térmico. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**. 2013. 45(1): 43-52.

CÂMARA, G. M. S.; GODOY, O. P. I. Desempenho vegetativo e produtivo de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) a partir de manivas com diferentes diâmetros. **Scientia Agricola**, v.55, p. 326-331, 1998.

CARVALHO J. E. B.; ARAÚJO, A. M. A.; AZEVEDO, C. L. L. **Períodos de controle de plantas infestantes na cultura da mandioca no estado da Bahia**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 4.p (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Comunicado técnico 109).

CARVALHO, J. E.; FUKUDA, W. M. G. **Estrutura da planta e morfologia. Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006, p. 126-137.

CARVALHO, R. S.; RINGENBERG, R.; PIETROWSKI, V. **Controle biológico do mandarová da mandioca Erinnyis ello**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, BA, 2015.

COCK, J. H. et al. The ideal cassava plant for maximum yield. **Crop Science**, v19. p.271-279, 1979.

COCK, J. H. Cassava: a basic energy source in the tropics. **Science**, v. 218, n. 4574, p. 755-762, 1982.

COCK, J. H. **La yuca**: nuevo potencial para un cultivo tradicional. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1990. 240 p.

CONCEIÇÃO, A. J. **A mandioca**. São Paulo: Nobel, 1987. 382p.

CRUZ, J.L. et al. Elevated CO₂ concentrations alleviate the inhibitory effect of drought on physiology and growth of cassava plants. **Scientia Horticulture**, v.210, p. 122-129, 2016.

DEVIDE, A. C. P.; RIBEIRO, R. L. D.; VALLE, T. L.; ALMEIDA, D. L.; CASTRO, C. M.; FELTRAN, J. C. Produtividade de raízes de mandioca consorciada Com milho e caupi em sistema orgânico. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.1, p.145-153, 2009.

DE CARVALHO, P. C. L.; FUKUDA, W. M. G.; CARDOSO, S. C. **Coleção de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para consumo “in natura”**. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro, 1999

DHITAL, S. P.; LIM, H. T. Microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by supplementary nutrients, plant growth regulators. **Potato Research**. v. 55, p. 97-108, 2012.

DIAS, M. C. et al. Recomendações técnicas do cultivo de mandioca para o Amazonas. Embrapa Amazônia Ocidental. **Circular Técnica 23**, 2004.

DIAS FILHO, M. B. **Características morfofisiológicas associadas à tolerância de gramíneas ao alagamento e ao encharcamento**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2012.

DREW, M. C.; Oxygen deficiency and root metabolism injury and acclimation under hypoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 48, n.1, p. 223-225, 1997.

DREW, M. C.; HE, C.; MORGAN, P. W. Programmed cell death and aerenchyma formation in roots. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 5, n. 3, p. 123-127, 2000.

DUQUE, L. O.; SETTER, T. L. Cassava Response to Water Deficit in Deep Pots: Root and Shoot Growth, ABA, and Carbohydrate Reserves in Stems, Leaves and Storage Roots. **Tropical Plant Biology**, v. 6, p. 199-209, 2013.

EKE-OKORO, O. N.. O. Impact of global warming and crops factors on the growth and productivity of four cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivars in Nigeria. **Scientific Research and Essays**, v.4, p.955-960, 2009.

EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H.; HELD, A. A. Photosynthetic response of cassava cultivars (*Manihot esculenta* Crantz) from different habitats to temperature. **Photosynthesis Research**, v.5, p.243-250, 1984.

EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H. PORTO, M. C. M. Características fotossintéticas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, n.2, p.143-154, 1989.

EL-SHARKAWY, M. A. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**, n.56, p.481-501, 2004.

EL-SHARKAWY, M. A. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.19, p.257-286, 2007

EL-SHARKAWY, M. A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative eco-physiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, n. 02, p. 162, 2012.

EMBRAPA. Mandioca e Fruticultura: cultura da mandioca. 2003. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/#mandioca>> . Acesso em: 22 junho, 2019.

EMBRAPA. **Principais variedades de mandioca recomendadas para o Norte, Nordeste e Centro-sul do Brasil**. Embrapa mandioca e fruticultura, Cruz das Almas, Bahia. Folder, 2p. 2018.

EVANS, L.T. Crop Evolution, Adaptation, and Yield. **Cambridge University Press, Cambridge, UK**, p.283-291, 1993.

FAGUNDES, L. K. et al. Desenvolvimento, crescimento e produtividade de mandioca em diferentes datas de plantio em região subtropical. **Ciência Rural**, v.40, p.2460-2466, 2010.

FARALDO, M. I. F.; SILVA, R. M.; MARTINS, P. S. Genetic variability of landraces of cassava in geographical regions of Brazil. **Scientia Agricola**, v. 57, 2000, p. 499-505.

FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations] **Economizar para Crescer, 2013**. Disponível na internet <http://www.fao.org/ag/save-and-grow/cassava/>. Acesso em 07/06/2019.

FERNÁNDEZ, M. D. . Lack of down-regulation of photosynthesis in a tropical root crop, cassava grown under an elevated CO₂ concentration. **Functional Plant Biology**, v.29, p.805-814, 2002.

FIALHO, J. de F.; VIEIRA, E. A. **Mandioca no cerrado: orientações técnicas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 208, 2011.

FIGUEIREDO, P.G.; BICUDO, S.J.; DALLAQUA, M.A.M.; TANAMATI F.Y.; AGUIAR, E.B. Componentes de produção e morfologia de raízes de mandioca sob diferentes preparos do solo. **Bragantia**, v.73, n.4, p.357-364, 2014.

FRANCISCO, P. R. N. et al. APTIDÃO CLIMÁTICA DA MANDIOCA (Mannihot esculenta Crantz) PARA O ESTADO DA PARÁIBA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.º.4, Fortaleza, p. 1651 - 1661, 2017.

FONTES, J. R. A. et al. **Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da macaxeira, variedade aipim-manteiga, em Terra Firme do Amazonas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014. 7. P. (Embrapa Amazônia Ocidental, Circular Técnica 46).

FUKAI, S.; HAMMER, G. L. A simulation model of the growth of the cassava crop and its use to estimate cassava productivity in Northern Australia. **Agricultural Systems**, v.23, p.237-257, 1987.

GIERTH, M.; MASER, P. Potassium transporters in plants – Involvement in K⁺ acquisition, redistribution and homeostasis. **FEBS Letters**, v. 581, p. 2348-2356, 2007.

GLEADOW, R. M. Growth and nutritive value of cassava (*Manihot esculenta* Cranz.) are reduced when grown in elevated CO₂. **Plant Biology**, v. 11, p.76-82, 2009.

GOMES, J. C.; LEAL, E. C **Cultivo da Mandioca para a Região dos Tabuleiros Costeiros**. EMBRAPA Mandioca e Fruticultura: Sistemas de produção, 2003.

GREGORY, L. E. Some factors for tuberization in the potato plant. **American Journal of Botany**, v. 43, p. 281- 288, 1956.

HAY, R.; PORTER, J. **Physiology of crop yield**. Editora Blackwell, 2º ed. 2006.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v 65, p.285-295, 2006.

HOWELER, R. **Nutrición mineral y fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz)**. Cali, Colômbia, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1981. 55p.

HOWELER, R. **Nutrición mineral y fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz)**. Curso de producción de yuca. Cali, Colômbia, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1978. 274 - 321p.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6588#resultado>. Acesso em: 31 de abril de 2019.

IMAI, K.; COLEMAN, D. F.; YANAGISAWA, T. Elevated atmospheric partial pressure of carbondioxide and dry matter production of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.). **Japan Journal Crop Science**, v.53, p.479-485, 1984.

IRIKURA, Y.; COCK, J. H.; KAWANO, K. The physiological basis of genotype temperature interactions in cassava. *Field Crops Research*, v.2, p.227-239, 1979.

JARVIS, A. Is Cassava the Answer to African Climate Change Adaptation? **Tropical Plant Biology**, v.5, p.9-29, 2012.

JOHANNIS, O.; CONTIERO R. L. Efeitos de diferentes períodos de controle e convivência de plantas daninhas com a cultura da mandioca. **Revisita Ciência Agrônômica**, v.37, n.3, p.326-331, 2006.

KEATING, B. A.; EVENSON, J. P.; FUKAI, S. Environmental effects in growth and development of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). I. Crop development. **Field Crops Research**, v. 5, p. 271-281, 1982.

LAGO, I.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D.A.; SOUZA, A.T. & SILVA, M.R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 46:1415-1423, 2011.

LAGO, I.; STRECK, N.A.; ZANON, A.J.; HANAUER, J.G.; BISOGNIN, D.A. & SILVA, M.R. Transpiração e crescimento foliar de clones de batata em resposta à fração de água transpirável no solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:745-754, 2012.

LEÓN, J. **Botánica de los cultivos tropicales**. San José: IICA, 1987, 445p.

LEOTARD, G. et al. Phylogeography and the origin of cassava: New insights from the northern rim of the Amazonian basin. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v.53, p.329-334, 2009.

LIESACK, W.; SCHNELL, S.; REVSBECH, N. P. Microbiology of flooded rice paddies. *FEMS Microbiology Reviews*, Oxford, v. 24, n. 5. P. 625-645, 2000.

LIU, J. A spatially explicit assessment of current and future hotspots of hunger in sub-Saharan Africa in the context of global change. **Global and Planetary Change**, v.64, p.222-235, 2008.

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

LORENZI, J. O. **Mandioca**. Campinas: CATI, 2003. 116 p. (Boletim Técnico, 245).

MACHADO, E.L. A Mandioca. Trigo e Soja, Porto Alegre, n.69, 43p. 1983.

MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; MALUF, D. E. **Zoneamento Agroclimático da Mandioca no Estado do Rio Grande do Sul – Uma alternativa para a produção de etanol**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2011. BOLETIM FEPAGRO, n. 22, 60p.

MAPA. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura da mandioca no Estado do Rio Grande do Sul, Portaria nº 130, de 28 de abril de 2011**. Online. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. p.10, 2011. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortal-Mapa&chave=1886957506>>. Acesso em: 22 de junho de 2019.

MAPA. **Agrofit- Sistema de agrotóxicos fitossanitários: Consulta de produtos fitossanitários formulados**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 13 de julho de 2019.

MARCON, E. C.; ROMIO, S. C.; MACCARI, V. M.; KLEIN, C.; LÁJUS, C. R. Uso de diferentes fontes de nitrogênio na cultura da soja. **Revista Them**, v. 14, n. 2, p. 298-308, 2017.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MASSOLA, N.S.; BEDENDO, I.P. Doenças da mandioca (*Manihot esculenta*). **Manual de Fitopatologia: Doenças e plantas cultivadas**, v.2, p.449-455, 2005.

MATTHEWS, R.B.; HUNT, L.A. GUMCAS: a model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). **Field Crops Research**, v.36, p.69-84, 1994.

MATTOS P. L. P; CARDOSO, E. M. R. **Cultivo da mandioca para o Estado do Para**. EMBRAPA Mandioca e Fruticultura: Sistemas de Produção, 2003.

MEHDI, S. M. et al. Response of rice advance line PB-95 to potassium application in saline-sodic soil. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 10, p. 2935-2939, 2007.

MIRANDA, L.; MIELNICZUK, J.; LOBATO, E. Calagem e adubação corretiva. In: Simpósio sobre o cerrado, 5, 1978, Brasília. Anais ... Editerra, 1980. p. 521-78.

MONTEIRO, D. A. et al. Influência do armazenamento de ramas para plantio em algumas características agrônômicas da mandioca. **Bragantia**, p. 143-150, 1995.

MOREIRA, M.A.B. et al. **Danos e alternativas de controle do percevejo-de-renda na cultura da mandioca no Estado do Rio Grande do Norte**. Folder, EMBRAPA, 2007.

NORONHA, A. C. S. Manejo das principais pragas na cultura da mandioca. In: _JUNIOR, M.; ALVES, R. N. B. Cultura da mandioca: apostila. **Embrapa Amazônia Oriental-Outras publicações técnicas (INFO-TECA-E)**, Belém/ Pará, 2014.

NTAWURUHUNGA, P., SSEMAKULA, G., OJULONG, H., BUA, A., RAGAMA, P., KANOBE, C., WHYTE, J. Evaluation of advanced cassava genotypes in Uganda. **Crop Science**. J. 14, 15–27, 2006.

NUTTI, M.R.; et al. **O progresso das ações de biofortificação no Brasil**. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 2015, São Paulo.

OBIERO, H. M. **Multiplicação acelerada da mandioca e distribuição de materiais de plantio no oeste do Quênia**. Em: **Programa de Emergência para Combater o Pandemia do Mosaico da Mandioca na África Oriental e Central**. Procedimentos do Quinta Reunião Regional de Partes Interessadas, Bukoba, Tanzânia, 10-12, pp. 15-23. 2004.

OLIVEIRA, S. P. de et al. Efeito da poda e de épocas de colheita sobre características agrônômicas da mandioca. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 99-108, 2010.

OTSUBO, A. A.; LORENZI, J. O. Cultivo da mandioca na região centro sul do Brasil. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2002.

OTSUBO, A. A. et al. Sistemas de preparo do solo, plantas de cobertura e produtividade da cultura da mandioca. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 43, n. 3, p. 327-332, 2008.

PEIXOTO, C.P. Mandioca. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**: trigo, milho, soja, arroz e mandioca. São Paulo: Nobel, 1999. p. 109-126.

PERESSIN, V. A. **Manejo integrado de plantas na cultura da mandioca**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2013. 54p.

PINHEIRO, D.G. et al. Limite crítico de água no solo para transpiração e crescimento foliar em mandioca em dois períodos com deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p. 1740-1749, 2014.

RANGEL, M.A.S. **Plantio direto de mandioca aspectos do manejo**. Embrapa, Cruz das Almas, Bahia, 2018. 32 p.

RAVI, V.; RAVINDRAN, C. S.; RAMESH, V. The impact of climate change on photosynthesis and productivity of cassava and sweet potato: Effect of rise in temperature, CO₂ and UV-B Radiation: an Overview. **Journal of Root Crops**, v.34, p.95-107, 2008.

ROSENTHAL, D.M.; ORT, D.R. Examining cassava's potential to enhance food security under climate change. **Tropical Plant Biology**, v.5, p.30-38, 2012.

SAIRAM, R. K. et al. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biology Plantarum**, Dordrecht, v. 52, n. 3, p. 401-412, 2008.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistema de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 2, p. 313-319, 1995.

SAMBORANHA, F. K. et al. **Tamanho da maniva-semente e seu efeito sobre o estabelecimento inicial e início da acumulação de amido**. In: 25º Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 2010.

SANGOI, L. **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos do mundo**. Lages: Graphel, 2010. 64p.

SCHLENKER, W.; LOBELL, D. B. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. **Environmental Research Letters**, v.5, 014010 (8pp), 2010.

SCHWENGBER, D. R. **Mandioca: recomendações para plantio em Roraima**. Embrapa Roraima, Boa Vista, Roraima. 30 pp. (Circular técnica, 5),2005.

SCHONS, A. et al. Emissão de folhas e início da acumulação de amido em raízes de uma variedade de mandioca em função da época de plantio. **Ciência Rural**, v.37, p.1586-1592, 2007.

SCHONS, A. et al. Arranjos de plantas de mandioca e de milho em cultivo solteiro e consorciado: Crescimento, desenvolvimento e produtividade. **Bragantia**, v.68, p.155-167, 2009.

SILVA, E. C. da et al. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.41, n.3, 2006.

SILVA, D. V. et al. Seletividade de herbicidas pós-emergentes na cultura da mandioca. **Planta Daninha**, v. 30, p. 835-841, 2012.

SINCLAIR, T.R. & LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **J. Plant Physiol.**, 13:329-340, 1986.

SMITH, O. E.; RAPPAPORT, L. Gibberellins, inhibitors, and tuber formation in the potato (*Solanum tuberosum*). **American Journal of Potato Research**. v. 46, p. 185-191, 1969.

SOUZA, L. D; SOUZA, L. S. **Clima e solo**. In: MATTOS, P. L. P.; GOMES, J. C. O cultivo da mandioca. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2000. p.11-13. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Circular Técnica, 37).

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222p.

STRECK, N.A. et al. Efeito do espaçamento de plantio no crescimento, desenvolvimento e produtividade da mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, v. 73, p.407-415, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artemed, 5^a ed. 2013. 918p.

TAKAHASHI, M.; BICUDO, S. J. Consorciação da mandioca em dois arranjos de plantas com duas espécies. **Revista Raízes e Amido Tropicais**, v. 5, n. 01, p. 352-359, 2009.

TAKAHASHI, M.; FONSECA JÚNIOR, N. da S.; TORRICILLAS, S. M. **Mandioca no Paraná: antes agora e sempre**. Curitiba/PR, IAPAR, 2012, Circular Técnica n°. 123, p. 209.

TIRONI, L.F. et al. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, v.74, p.58-66, 2015.

TIRONI, L.F. et al. Simanihot: a process-based model for simulating growth, development and productivity of cassava. **Engenharia Agrícola**, v.37, p.471-483, 2017a.

TIRONI, L.F. et al. Mudança climática e seus efeitos na cultura da mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 90-98, 2017b.

TAGLIAPIETRA, E.L. et al. Optimum leaf area index to reach soybean yield potencial in subtropical environment. **Agronomy Journal**, v.110, p.932-938, 2018.

TONUKARI, Nyerhovwo John. Cassava and the future of starch. **Electron. J. Biotechnol.**, v.7, n. 1, 2004, p. 5-8.

TREMACOLDI, C. R. **Manejo das principais doenças da cultura da mandioca no estado do Pará.** In: MODESTO JUNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. (Eds.). Cultura da mandioca: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 162-170.

VAN ITTERSUM A, M.K.; CASSMAN, K.G.; GRASSINI, P.; WOLF J.; TITTONELL; P.; HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance - A review. **Field Crops Research**, v.143, p.4–17, 2013.

VAN ITTERSUM, M.K. & RABBINGE, R. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. **Field Crops Research**, v. 52, p. 197–208, 1997.

VIÉGAS, A. P. **Estudos sobre mandioca.** São Paulo: IAC: Brascan Nordeste, 1976. 214 p.

ZANON, Alencar Junior et al. Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja. **Bragantia**, v.74, n.3, p.279-290, 2015.

**Muito obrigado as instituições e pessoas
que permitiram a impressão do livro
Ecofisiologia da Mandioca | Visando Altas Produtividades**

Engenheiro Agrônomo Alfredo Schons (*in memoriam*)

Assistente Técnico Regional da EMATER/RS – ASCAR

Engenheiro Agrônomo Luiz Antônio Rocha Barcellos

Assistente Técnico Regional da EMATER/RS – ASCAR

Engenheira Agrônoma Luana Fernandes Tironi

Extensionista Rural Agropecuário da EMATER/RS – ASCAR

Engenheiro Agrícola Rafael da Silva de Vargas

Extensionista Rural Agropecuário da EMATER/RS – ASCAR

Luis Fernando Rodrigues de Oliveira

Assistente Técnico Regional da EMATER/RS – ASCAR

Engenheiro Agrônomo Bernardo Bem da Jornada

Extensionista Rural Agropecuário da EMATER/RS – ASCAR

Engenheiro Agrônomo Pedro Urubatan

Assistente Técnico Regional da EMATER/RS – ASCAR

Engenheiro Agrônomo Cassiano Stefanello

Extensionista Rural Agropecuário da EMATER/RS – ASCAR

Engenheira Agrônoma Monique Chaves

Supervisora do escritório regional de Santa Maria
da EMATER/RS – ASCAR

Médica Veterinária Regina Hernandez

Gerente regional de Santa Maria da EMATER/RS – ASCAR

Giovane Ronaldo Rigon Vielmo

Extensionista Rural Agropecuário da EMATER/RS – ASCAR

Sítio São Jorge

Professor Claudio Renato Schlessner Kelling
Colégio Politécnico da UFSM

Professor Hércules Nogueira Filho
Colégio Politécnico da UFSM

Professor Volmir Antonio Polli
Colégio Politécnico da UFSM

Professor José Alencar Zanon
Diretor da Escola Estadual de
Ensino Fundamental Nossa Senhora Aparecida

Professor Sandro Luis Petter Medeiros
Diretor do Centro de Ciências Rurais da UFSM

Professor Toshio Nishijima
Vice-Diretor do Centro de Ciências Rurais da UFSM

Professor Paulo Ivonir Gubiani
Departamento de solos da UFSM

Professor Luciano Zucuni Pes
Colégio Politécnico da UFSM

Professor Paulo Regis Ferreira da Silva
Departamento de Plantas de Lavoura UFRGS

Professor José Domingos Jacques Leão
Coordenador do curso de Agronomia da UFSM

Professora Neila Silvia Pereira dos Santos Richards
Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos da UFSM

Professor Arno Bernardo Heldwein
Departamento de Fitotecnia da UFSM

Produtor Rural Rogério Cechin
Agropecuária Cechin

Carmem San Martin Rolim Ribeiro e João Francisco Rolim Ribeiro
Cassol Gás

Engenheiro Agrônomo Josias Moreira Borges

Engenheiro Agrônomo Ary José Duarte Júnior

Engenheiro Agrônomo Eduardo Lago Tagliapietra

Engenheira Agrônoma Giovana Ghisleni Ribas

Engenheiro Agrônomo Lúcio Gabriel Scheffel

Engenheiro Agrônomo Marcus Vinícius Fritsch
Sol a Sol Consultoria

Engenheiro Agrônomo Michel Rocha da Silva

Acadêmico de Agronomia Mariano Trachta
Universidad Nacional del Nordeste

Engenheiro Florestal Gabriel Piovesan

Engenheiro Florestal Lucas Zancan Pissinin

Técnico em Agropecuária Gabriel Lago Antonello

Técnica em Agropecuária Simone Puntel

Psicólogo Carlos Magno Zorzan

Psicóloga Anelise Ferigolo Alves

Massoterapeuta Joana Cardoso

Pedro Gilberto Pinheiro Kaufmann
Operador de Máquinas Agrícolas do
Departamento de Fitotecnia da UFSM

Joel Gonçalves Dias

Auxiliar de Agropecuária do
Departamento de Fitotecnia da UFSM

Marcos Roberto da Silva

Assistente em Administração do
Departamento de Fitotecnia da UFSM

Regis Fabiano Santos dos Santos

Especialista em Administração Pública

Cabeleireira Joziane Alves

Família Furtado de Lima

Família Butzke Pydd

Família Friedrich

Fernando Cassol

Zé Paulo Barros

André Leal Martins

Vera Maria Seckler Rauber

Imexsul Insumos Agrícolas

PATROCÍNIO

