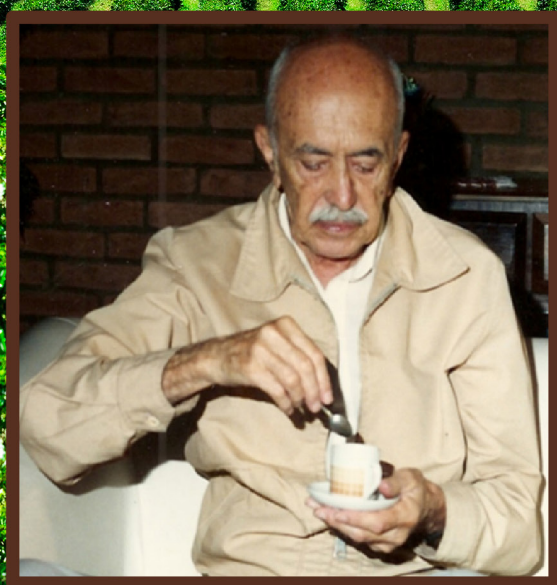


**Série Tecnologia APTA**

**Boletim Técnico IAC, 243**

# **APONTAMENTOS DE FISILOGIA DO CAFEIEIRO**

**Coaracy de Moraes FRANCO**



**Instituto Agrônomo (IAC)  
Campinas, fevereiro de 2025**



**Governo do Estado de São Paulo  
Secretaria de Agricultura e Abastecimento  
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios  
Instituto Agrônomo**

**Governador do Estado de São Paulo**  
Tarcísio de Freitas

**Secretário de Agricultura e Abastecimento**  
Guilherme Piai Filizzola

**Secretário Executivo de Agricultura e Abastecimento**  
Edson Alves Fernandes

**Subsecretário de Agricultura**  
Orlando Melo de Castro

**Coordenador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios**  
Carlos Nabil Ghobril

**Diretor Técnico de Departamento do Instituto Agrônomo**  
Marcos Guimarães de Andrade Landell

ISSN 1809-7936

# **APONTAMENTOS DE FISIOLOGIA DO CAFEIEIRO**

Coaracy de Moraes **FRANCO**

Série Tecnologia APTA  
Boletim Técnico IAC, n. 243, 2025

Ficha elaborada pelo Núcleo de Documentação Científica do Instituto Agrônômico

F825a Franco, Coaracy de Moraes

Apontamentos de fisiologia do cafeeiro / Coaracy de Moraes Franco.

Campinas: Instituto Agrônômico, 2025.

67p. on-line (Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 243)

ISSN 1809-7936

1. Fisiologia do cafeeiro. I. Título. II. Série.

CDD. 633.73

**O Conteúdo do Texto é de Inteira Responsabilidade dos Autores.**

**Comitê Editorial do Instituto Agrônômico**

Lúcia Helena Signori Melo de Castro

Fernando Alves de Azevedo

Fernando César Bachiega Zambrosi

Gabriel Constantino Blain

Valéria Aparecida Modolo

**Equipe participante desta publicação**

Coordenação da Editoração: Silvana Aparecida Barbosa

Editoração Eletrônica e Capa: Cíntia Rafaela Amaro - Amaro Comunicação

Fone: (19) 99142-8371

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação do Copyright © (Lei nº 9.610).

**Instituto Agrônômico**

Caixa Postal 28

13012-970 Campinas (SP) - Brasil

[www.iac.sp.gov.br](http://www.iac.sp.gov.br)

# SUMÁRIO

Página

RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	1
1. INTRODUÇÃO .....	2
2. A SEMENTE.....	3
2.1. Seca e armazenamento da semente.....	4
2.2. Germinação .....	5
2.2.1. Influência do pergaminho na germinação.....	6
3. CRESCIMENTO .....	7
3.1. Dimorfismo .....	7
3.2. Influência dos fatores externos .....	8
3.2.1. A temperatura e o crescimento da raiz .....	8
3.2.2. A temperatura ambiente e o crescimento da parte aérea .....	9
3.2.3. Influência da temperatura da raiz sobre o crescimento do cafeeiro .....	10
3.2.4. Anormalidades causadas por temperaturas elevadas ....	12
3.2.4.1. Clorose das folhas e formação de tumor no caule ...	12
3.2.4.2. Lesão do colo .....	12
3.2.5. Anormalidades causadas por temperaturas baixas.....	13
3.2.5.1. Descoloração das folhas .....	13
3.2.5.2. Estrangulamento do caule .....	15
3.2.5.3. Queima dos ponteiros .....	15
3.2.6. A intensidade luminosa e o crescimento do cafeeiro ....	16
4. SISTEMA RADICULAR .....	20
5. ECONOMIA DE ÁGUA.....	25
5.1. Absorção .....	25
5.1.1. Influência da temperatura do solo na absorção.....	25
5.1.2. A aeração e a absorção de água .....	26

5.2. Transpiração.....	27
5.2.1. Medida da transpiração do cafeeiro.....	27
5.2.2. Determinação da superfície foliar.....	29
5.2.3. Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro.....	30
5.3. Sombreamento .....	32
6. FLORAÇÃO.....	37
6.1. Fotoperiodismo .....	37
6.1.1. Dormência e abertura dos botões florais.....	37
7. NUTRIÇÃO MINERAL.....	40
7.1. Sintomas de deficiências minerais .....	45
7.1.1. Nitrogênio.....	45
7.1.2. Fósforo.....	46
7.1.3. Potássio.....	46
7.1.4. Magnésio .....	46
7.1.5. Cálcio.....	47
7.1.6. Ferro.....	47
7.1.7. Enxofre .....	47
7.1.8. Zinco .....	48
7.1.9. Boro .....	48
7.1.10. Manganês.....	48
7.1.11. Cobre.....	49
7.2. Testes para identificação de deficiências de micronutrientes...49	
7.2.1. Pulverização .....	50
7.2.2. Injeção foliar.....	50
7.3. Correção de deficiências minerais .....	51
7.4. Toxicidade.....	53
7.5. “Die-back” .....	54
REFERÊNCIAS.....	57

## **SOBRE O AUTOR**

Coaracy de Moraes Franco foi um dos primeiros cientistas do IAC a cursar pós-graduação nos Estados Unidos e na época em que atuou como pesquisador do IAC foi considerado o mais importante e renomado fisiologista de café do mundo.

Sua atuação sempre foi direcionada à solução de problemas relacionados ao cultivo do cafeeiro. Sua reputação motivou a FAO a contratá-lo como consultor, enviando-o à Índia e outros países produtores de café do mundo, para elucidar as causas de um grave problema incidente nas lavouras de café, o “die-back”.

São inúmeras suas contribuições à cafeicultura brasileira. Coaracy de Moraes Franco foi consultor do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), assim como, membro do Núcleo Técnico do Instituto Brasileiro do Café (IBC), instituição que estabeleceu o zoneamento climático para a cultura do café no Brasil. Foi também, pioneiro em estudos relacionados ao sistema radicular do cafeeiro e, dando sequência a estudos iniciados pelo International Basic Economy Co. (IBEC), foi protagonista de estudos conduzidos pelo IAC, em Batatais (SP), que evidenciaram a possibilidade do cultivo em solos de cerrado, mesmo sem a incorporação de matéria orgânica ao solo. Estes estudos revolucionaram, não apenas a cafeicultura, mas a agricultura brasileira.

Junto com Mário Vieira de Moraes, Coaracy de Moraes Franco publicou o clássico ‘Método expedito para enxertia em café’ técnica até hoje utilizada na produção de mudas enxertadas especialmente visando ao controle de nematoides parasitos do cafeeiro.

Com profundo conhecimento da fisiologia da planta, sua contribuição foi fundamental na definição de estratégias de controle da ferrugem do cafeeiro, adotadas pela cafeicultura brasileira, a partir da identificação da presença do fungo no país, em 1970.

Além de um intelectual de destaque, Coaracy de Moraes Franco era portador de uma incrível habilidade mecânica que lhe permitiu, muitas vezes, projetar e construir, com suas próprias mãos, equipamentos necessários às estratégias de pesquisa que elaborava. Tinha em sua residência uma equipada oficina mecânica que lhe permitia, inclusive, prestar serviços de reparo em automóveis próprios e de seus amigos.

Muito humilde, Coaracy de Moraes Franco foi um cientista genial que merece lugar de destaque no panteão das ciências agrárias brasileira.

*Oliveiro Guerreiro Filho*  
*Instituto Agrônômico (IAC)*

# APONTAMENTOS DE FISIOLOGIA DO CAFEIRO

Coaracy de Moraes FRANCO <sup>(1)</sup>

## RESUMO

O café arábica é cultivado em diversas regiões e ambientes edafoclimáticos no Brasil. Isso se deve a uma grande diversidade de cultivares aptas ao cultivo e também, ao vasto conhecimento acerca de aspectos diversos relacionados ao manejo de lavouras, fundamentados no conhecimento dos solos, do clima e das plantas. Este texto traz informações de cunho prático e aplicado, fundamentadas na experimentação científica conduzida com o cafeeiro arábica, especialmente relacionadas à conservação e germinação de sementes; ao dimorfismo de ramos e às influências ambientais no desenvolvimento vegetativo das plantas; à distribuição e funcionalidades do sistema radicular, ao florescimento das plantas e às exigências nutricionais, sintomas de deficiência e de toxicidade das plantas.

**Palavras-chave:** desenvolvimento vegetativo, nutrição mineral, fluxo de água, germinação, sistema radicular.

## ABSTRACT

Arabica coffee is grown in several regions and edaphoclimatic environments in Brazil. This is due to a great diversity of cultivars suitable for cultivation and also to the vast knowledge about various aspects related to crop management, based on knowledge of soils, climate and plants. This text brings information of a practical and applied nature, based on scientific experimentation conducted with Arabica coffee, especially related to seed conservation and germination; branch dimorphism and environmental influences on plant vegetative development; the distribution and functionalities of the root system, the flowering of plants and the nutritional requirements, symptoms of deficiency and toxicity of plants.

**Key words:** vegetative development, mineral nutrition, water flow, germination, root system.

---

<sup>(1)</sup> Engenheiro Agrônomo. Seção de Fisiologia, Instituto Agrônomo (IAC). In memoriam.

## 1. INTRODUÇÃO

Apontamentos de fisiologia do cafeeiro é um texto de denso conteúdo técnico-científico, elaborado para prestar auxílio a profissionais técnicos, envolvidos com a cultura do cafeeiro arábica, em especial, àqueles dedicados à assistência técnica e à execução do Programa de Renovação Cafeeira que se iniciava à época.

Em sua versão original, o texto foi distribuído, em forma de apostila, pela Secretaria da Agricultura, do Governo do Estado de São Paulo, tendo sido uma das bases para a histórica ocupação de solos de cerrado pela cultura do café, assim como, para a mecanização da moderna cafeicultura brasileira.

Em 1970, ano de sua elaboração, o parque cafeeiro nacional era, à exceção do café caturra, constituído, predominantemente, por variedades de porte alto e, nesse mesmo ano, a ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk et Br. viria a ser detectada pela primeira vez, no país. Evidências sobre a possibilidade do cultivo do cafeeiro em solos de cerrado, mesmo sem a incorporação de matéria orgânica ao solo, haviam sido recentemente publicadas, sob a liderança de Coaracy de Moraes Franco.

Passados mais de cinquenta anos, as informações são ainda bastante atuais e a linguagem, clara e muito bem fundamentada pelo autor, continuará certamente a trazer valiosos benefícios a todos aqueles interessados na prática de uma cafeicultura eficaz e sustentável.

O texto que segue foi revisado em relação à forma e à atual ortografia da língua portuguesa, sendo seu conteúdo original, integralmente mantido e sua divulgação, autorizada por sua família.

*Oliveiro Guerreiro Filho*  
*Instituto Agrônomo (IAC)*

## 2. A SEMENTE

O fruto do cafeeiro encerra normalmente duas sementes. Cada semente está envolvida por uma membrana resistente que é o “pergaminho” e que representa o endocarpo do fruto. O mesocarpo é espesso e de consistência bastante mucilaginosa no fruto maduro, em consequência do alto teor de substâncias pécnicas que encerra.

Ao se retirar as sementes do fruto estas se apresentam envoltas em seu pergaminho e aderido a este, parte do mesocarpo. Em consequência dos restos do mesocarpo que aderem à semente, esta se apresenta extremamente lisa ao tato.

A fim de se obter as sementes limpas e facilmente manuseáveis, a substância pécnica deve ser eliminada. Embora a eliminação da substância pécnica possa ser feita por meio químico, empregando-se um álcali, ela é normalmente eliminada pela fermentação. Para isso, os frutos maduros são despulpados e deixados durante várias horas para fermentar. Durante a fermentação as substâncias pécnicas são desdobradas tornando-se, então, elimináveis por meio de simples lavagem das sementes.

Alguns autores sustentam que a fermentação é causada por microrganismos, enquanto outros afirmam ser devido a enzimas existentes no próprio fruto.

Entretanto, o processo de desdobramento das substâncias pécnicas não se deu em ambiente asséptico, mesmo quando as sementes despulpadas foram deixadas nesse ambiente durante várias semanas e em meios cuja acidez se fez variar de pH 3,9 a pH 7,8 (Franco, 1944).

O fato de alguns autores terem concluído que a fermentação era causada por enzimas do próprio fruto, deve-se a não terem eles, trabalhado sempre com o café imediatamente após o despulpamento e, principalmente, de confiarem demasiadamente no clorofórmio e no toluol como antissépticos. Esses compostos são bastante voláteis e abandonam o meio com relativa rapidez. Além disso, a massa de café

despolpado é um meio bastante heterogêneo e muito dificilmente os antissépticos atingem todos os seus recessos.

Foi publicado por Pereira Junior (1956, 1957) que o fruto do café possui enzimas que precisam ser adequadamente ativadas para decompor a substância péctica e eliminá-la da superfície das sementes. Essa ativação das enzimas era feita por NaCl a 0,4% na presença de água de cal para propiciar o pH adequado para o funcionamento das enzimas metil-esterases e poligalacturonidas.

Entretanto, nesse meio, o que se dá não é a eliminação da substância péctica que envolve a semente, mas tão somente o seu endurecimento pela ação do cálcio. Aliás, a insolubilidade da protopectina em água tem sido explicada pela sua ligação ao cálcio e ao magnésio (Kertesz, 1951) e a presença da segunda das enzimas acima mencionadas em plantas superiores, especialmente em frutos, ainda parece ser assunto controvertido (Deuel; Stutz, 1958; Kertesz, 1951).

Se as sementes tratadas da maneira acima descrita, isto é, com NaCl e água de cal forem posteriormente bem lavadas e deixadas em água pura, a substância péctica endurecida volta novamente a se entumescer, formando de novo em torno das sementes uma camada lisa, translúcida e de aspecto aveludado, o que prova não ter sido ela eliminada (Franco, 1960b).

## **2.1. Seca e armazenamento da semente**

Para que a semente de café conserve por muitos meses uma elevada porcentagem de germinação, ela deve ser desidratada após a eliminação da substância péctica que a envolve.

Essa desidratação é geralmente feita por meio de seca à sombra, mas pode também ser feita ao sol ou em secadores.

Ribeiro (1944) diz que as radiações ultravioletas e infravermelhas da luz solar são prejudiciais às sementes do café, de maneira que se estas forem secas ao sol perderão o poder germinativo. Entretanto, sementes secas ao sol germinaram tão bem quanto outras secas à sombra ou em secadores (Bacchi, 1955, 1956). O importante no processo de seca de café para semente é o teor final de umidade, que não deve ser inferior a 8%-9%, por isso quando se processa a seca da semente ao sol é necessário muito cuidado, uma vez que sendo muito mais rápida a seca, facilmente a umidade da semente atinge limites inferiores aos 8%-9% e então, o poder germinativo fica comprometido. Sementes guardadas em recipientes hermeticamente fechados e com teores de umidade de 20%, 13% e 10% exibiram boa porcentagem de germinação durante 4, 8 e 21 meses, respectivamente (Bacchi, 1958).

É conveniente que as sementes, após terem sido desidratadas até um teor de umidade de 10%, sejam guardadas em recipientes hermeticamente fechados a fim de se evitar a reabsorção de umidade do ar, pois, semente de café com 10% de umidade está em equilíbrio higroscópico com uma umidade relativa do ar de apenas cerca de 50% (Bacchi, 1959). Portanto, sempre que a umidade do ar estiver acima desse limite a semente reabsorverá umidade se não estiver guardada em recipiente hermético.

## **2.2. Germinação**

O processo de germinação da semente do café é mais ou menos lento. Em condições bastante favoráveis de temperatura e de umidade ela se dá em três ou quatro semanas. A 17 °C a germinação levou três meses (Went, 1957). Mes (s.d.), estudou a germinação do café em caixas de Petri em temperaturas que foram de 17 °C a 31-32 °C e observou que nesta última temperatura a germinação foi mais rápida. Não estudou, entretanto, temperaturas mais elevadas, sendo possível que a temperatura ótima para a germinação do café seja ainda um pouco mais elevada do que aquela.

As reservas da semente são constituídas, principalmente, de hemicelulose e substâncias graxas. À medida que os cotilédones vão digerindo essa reserva eles vão crescendo dentro do endosperma. O hipocótilo e a radícula rompem a semente e crescem obedecendo o geotropismo. Mais tarde a alça hipocotiledonária endireita-se, levantando os cotilédones para fora do meio de germinação. Logo após, as folhas cotiledonares começam a se desdobrar e surgirem fora dos restos do endosperma, que então se resume em uma membrana semelhante ao pergaminho, podendo mesmo ser facilmente fundida com ele.

### **2.2.1. Influência do pergaminho na germinação**

As referências encontradas na literatura sobre a influência do pergaminho na germinação do café são contraditórias.

Alguns autores como Mamprim (1947), em experiências feitas no campo concluíram não haver vantagem na eliminação do pergaminho, pois a germinação das sementes com e sem pergaminho ocorreu concomitantemente. Went (1957) empregando um substrato formado por uma mistura de vermiculita e cascalho fino, para a germinação, concluiu que o pergaminho atrasa a germinação, em pelo menos uma semana.

Em meio asséptico, as sementes com pergaminho não germinaram enquanto outras, desprovidas de pergaminho germinaram normalmente. Quando, após 38 dias de permanência das sementes com pergaminho em meio asséptico, aquele foi removido, as sementes germinaram (Franco, 1946). A germinação, nesse caso, foi muito lenta e anormal, mostrando que o poder germinativo foi prejudicado pela permanência do pergaminho na semente.

Mes (s.d.), semeando sementes com o pergaminho intacto e outras com pergaminho parcialmente removido, concluiu não haver nele

nenhum inibidor de germinação. Como esse trabalho não foi executado em meio asséptico, havia a possibilidade de microrganismos terem destruído um possível inibidor presente. Entretanto, sementes semeadas em meio asséptico contendo os pedaços do pergaminho previamente removido, germinaram tão rapidamente quanto outras semeadas em meio idêntico, mas sem a adição ao meio, dos tecidos do pergaminho (Franco, 1956-1957).

Dependendo a germinação, da eliminação do pergaminho, compreende-se porque os diversos autores obtiveram resultados diferentes quando estudaram a influência do pergaminho sobre a germinação empregando solo, areia ou outro substrato não asséptico. Se o substrato for rico em microrganismos como é o caso, por exemplo, das terras com elevado teor de matéria orgânica, empregadas nos viveiros, o pergaminho é rapidamente decomposto pelos microrganismos não havendo tempo para a germinação ficar prejudicada. Em areia, papel de filtro ou outro substrato pobre em microrganismos, a decomposição do pergaminho será mais ou menos lenta e a germinação será, por isso, mais ou menos afetada.

### **3. CRESCIMENTO**

Após a germinação a haste principal cresce verticalmente. As folhas primárias que nela ocorrem são opostas. Há, entretanto, uma torção do caule de modo que dois pares de folhas em um plano, acham-se separados por dois outros pares. Nos ramos laterais as folhas encontram-se em um só plano.

#### **3.1. Dimorfismo**

Os ramos do cafeeiro são dimórficos e o seu dimorfismo se relaciona com a direção tomada pelos ramos durante o desenvolvimento.

Aqueles que crescem no sentido vertical são ortotrópicos enquanto os que crescem no sentido lateral são os plagiotrópicos. As gemas que se encontram nas axilas dos primeiros pares de folhas da haste principal só dão origem a ramos ortotrópicos. Os ramos plagiotrópicos começam a aparecer das axilas do 8º ou 10º par de folhas em diante. As gemas que dão origem a esses ramos têm sua posição bem definida, logo acima das gemas dormentes e produtoras de ramos ortotrópicos. Só há uma gema para formação de ramo plagiotrópico nas axilas das folhas da haste principal onde ocorrem. Por isso, se esse ramo for cortado junto da haste principal ele não se reconstituirá.

Apenas excepcionalmente, podem ocorrer nos ramos plagiotrópicos gemas que dão origem a ramos ortotrópicos. Por essa razão não se veem ramos “ladrões” saindo de ramos laterais ou plagiotrópicos. Somente nos ramos plagiotrópicos é que se formam as gemas.

## **3.2. Influência dos fatores externos**

### **3.2.1. A temperatura e o crescimento da raiz**

Mes (s.d.) estudou o crescimento da raiz em plantinhas recentemente germinadas e colocadas em vermiculita irrigada com solução nutritiva. Os resultados indicam que houve um aumento significativo na razão de crescimento entre as temperaturas de 17 °C e 26 °C como se pode ver na tabela 1, a seguir, compilada dos dados do trabalho citado.

**Tabela 1.** Temperatura e crescimento médio diário de raízes de cafeeiro em vermiculita irrigada com solução nutritiva

Temperatura °C	Crescimento médio diário mm
17	1,1
20	2,5
23	3,5
26	4,5
28-29	4,2
31-32	4,2

A temperatura ótima para o crescimento da raiz das platinhas recém-germinadas parece não se restringir a uma estreita faixa, pois não parece ser significativa a diferença no crescimento observado entre as temperaturas 26 °C e 31-32 °C.

### 3.2.2. A temperatura ambiente e o crescimento da parte aérea

A temperatura ótima para o crescimento das plantas pode não ser a mesma durante o dia e durante a noite. Estudos sobre as temperaturas diurna e noturna ótimas para o crescimento do cafeeiro foram feitos no Fitotron do Laboratório Earhart do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Mes, s.d.; Went, 1957). Tais estudos indicam que as temperaturas diurna e noturna ótimas para o crescimento do cafeeiro, logo após a germinação são aproximadamente de 30 °C e 23 °C, respectivamente.

Esses ótimos diminuem à medida que a platinha cresce, sendo que para plantas de cerca de um ano e meio e, provavelmente, daí para diante as temperaturas diurnas e noturnas ótimas para o crescimento do cafeeiro estão ao redor de 23 °C e 17 °C, respectivamente.

Em outro trabalho (Franco, 1958) o crescimento de cafeeiros com alguns meses de idade foi estudado nas temperaturas de 26-20 °C, 30-23 °C e 30-30 °C (30 °C dia e noite). O crescimento em estufa foi o seguinte:

**Tabela 2.** Crescimento de cafeeiros em estufa, sob diferentes condições de temperatura

Temperatura - Dia ----- °C	Temperatura - Noite -----	Crescimento cm
26	20	20,1
30	23	16,2
30	30	9,4

Confirma-se, portanto, que a temperatura ótima para o crescimento do cafeeiro jovem deve estar ao redor de 26-20 °C.

Em pesquisas mais recentes Nunes *et al.* (1969), trabalhando com cafeeiros de aproximadamente um ano de idade, mediram o crescimento das folhas nas temperaturas de 32-25 °C, 25-20 °C e 20-12 °C, tendo encontrado o maior crescimento nas temperaturas de 25-20 °C, o que confirma os trabalhos anteriores.

Nessa mesma publicação os autores apresentam dados de fotossíntese em folhas de cafeeiros, mostrando que para cada grau acima de 24 °C, a fotossíntese diminui 10% aproximadamente. Dessa maneira, a 34 °C a fotossíntese do cafeeiro deve ser nula. Como o crescimento e a produção são consequências diretas da fotossíntese, podemos concluir que esses fenômenos são igualmente afetados pelo aumento da temperatura.

### 3.2.3. Influência da temperatura da raiz sobre o crescimento do cafeeiro

A literatura científica é escassa no tocante à influência da temperatura do solo (ou do sistema radicular) no crescimento das plantas. Entretanto, a temperatura do solo, principalmente nas camadas mais superficiais, pode variar consideravelmente com a temperatura ambiente.

Em culturas novas de café, Medcalf (1956), constatou até 51 °C na profundidade de 5 cm, quando a superfície do solo estava descoberta, e 31 °C onde o solo estava protegido por uma cobertura morta.

A influência da temperatura do sistema radicular no desenvolvimento do cafeeiro foi estudada em ambiente controlado, no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Franco, 1958).

A temperatura da estufa na qual se efetuou a experiência era de 26 °C durante o dia e 20 °C durante a noite. Portanto, as partes aéreas de todas as plantas estavam submetidas à mesma temperatura, enquanto que a temperatura no interior dos vasos onde cresciam as raízes era controlada nos seguintes níveis: 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43 e 48 °C.

As plantas testemunhas não tinham controle de temperatura no interior dos vasos e por isso, a temperatura do sistema radicular variava da mesma forma que a temperatura do ambiente da estufa, ou seja, 26-20 °C.

Os dados apresentados na tabela 3 mostram que a temperatura melhor para o crescimento das raízes do cafeeiro deve estar compreendida entre 23 e 28 °C e sugerem ainda que, possivelmente, uma oscilação de alguns graus entre a temperatura diurna e noturna seja benéfica para o crescimento do cafeeiro.

**Tabela 3.** Temperatura no sistema radicular e crescimento das raízes do cafeeiro

Temperatura no sistema radicular °C	Crescimento* %
13	5,5
18	45,0
23	73,0
26 - 20	100,0
28	74,0
33	23,0
38	plantas morreram
43	plantas morreram
48	plantas morreram

\* Expresso em porcentagem do crescimento das plantas testemunhas, nas temperaturas de 26-20 °C.

### **3.2.4. Anormalidades causadas por temperaturas elevadas**

#### **3.2.4.1. Clorose das folhas e formação de tumor no caule**

Cafeeiros cultivados em estufa, nas temperaturas de 30-30 °C e 30-23 °C não somente cresceram menos do que aqueles cultivados à temperatura de 26-20 °C, mas ainda apresentaram uma clorose semelhante à clorose de ferro nas folhas mais novas e um tumor na base do caule (Franco, 1958).

Esse tumor localizava-se exatamente na axila onde haviam crescido as folhas cotiledonares já desaparecidas. Da base desses tumores cresciam ramos ortotrópicos, evidenciando anormalidade na translocação da seiva.

Tais tumores apareceram primeiramente nas plantas que cresciam na temperatura de 30-30 °C e posteriormente, também nas que se achavam na estufa cuja temperatura ambiente era de 30-23 °C.

Quando essas plantas foram transferidas para a temperatura de 26-20 °C aqueles tumores desapareceram depois de 3 meses, mas os ramos ortotrópicos persistiram.

#### **3.2.4.2. Lesão do colo**

É mais ou menos frequente observar-se em cafeeiros novos em condições de cultura, uma lesão da haste, na altura do colo. Essa lesão não abrange uniformemente toda a volta da haste da planta, sendo o lado sul geralmente poupado ou muito menos afetado.

Há evidência de que tal lesão é causada pelo aquecimento da haste ou do solo ao redor do colo, pelos raios solares.

Foi demonstrado em laboratório, que os tecidos do caule foram danificados quando se fez circular em torno da haste água aquecida a 45 °C e a 50 °C (Franco, 1961). A temperatura de 40 °C e inferiores não

prejudicaram a planta e a temperatura de 50 °C bem como as superiores a ela, mataram a planta.

O aquecimento da superfície do solo compreendendo o colo do cafeeiro vegetando em laminados, com o auxílio de uma lâmpada de raios infravermelhos, resultou em lesão semelhante àquela observada no campo.

Essa lesão apareceu em tratamentos cujas temperaturas máximas atingidas estiveram compreendidas entre 44 e 51 °C. Essas temperaturas, que causaram em laboratório, lesão semelhante à observada em condições de cultura, são frequentemente atingidas e ultrapassadas no campo, à superfície do solo (Camargo *et al.*, 1961; Medcalf, 1956).

Tudo indica, portanto, que a lesão observada nos cafeeiros novos vegetando no campo, deve ser causada pelo aquecimento excessivo do colo da planta e do solo ao seu redor, em dias de sol intenso.

### **3.2.5. Anormalidades causadas por temperaturas baixas**

#### **3.2.5.1. Descoloração das folhas**

É frequente observar-se nos cafeeiros, folhas com manchas irregulares, esbranquiçadas. Chama a atenção do observador o fato de essas folhas se apresentarem sempre aos pares e as manchas ocorrerem sempre em folhas da mesma idade. Assim, por exemplo, se em um galho é o quinto par de folhas que se apresenta com o sintoma, em outros galhos da mesma planta ou de plantas diferentes, onde ele se apresentar, será também no quinto par de folhas.

A maneira como as áreas esbranquiçadas se apresentam no limbo foliar é um tanto variável e irregular, indo desde apenas um pequeno filete ao longo das margens da folha até mesmo a quase totalidade da área foliar. Frequentemente, as folhas que se apresentam com os sintomas aludidos são de tamanho menor do que as normais e um tanto deformadas.

Sintomas perfeitamente idênticos àqueles observados nos cafezais foram obtidos em laboratório, submetendo-se cafeeiros novos, cultivados em vasos, à ação de temperaturas baixas, pouco acima de zero (Franco, 1956). Aqueles sintomas apareceram de 3 a 7 dias após o tratamento.

As folhas mais severamente afetadas não mais recobriram o estado normal, permanecendo de tamanho menor, deformadas e com áreas despigmentadas. O exame microscópico dessas regiões revelou destruição dos cloroplastos.

As folhas sensíveis aos tratamentos foram as novas, mas já com alguns centímetros de comprimento, não se tendo obtido descoloração em folhas adultas ou com menos de cerca de 2,5 cm de comprimento.

Quando pouco afetadas, as folhas exibem apenas um filete amarelo-esbranquiçado acompanhando o bordo e despigmentação das estípulas interpeciolares.

A temperatura de 3 °C, a mínima duração de tratamento que provocou o aparecimento de descoloração nas folhas foi de 6 horas.

Há evidência de que as condições de insolação que antecedem à queda de temperatura influem no aparecimento da descoloração das folhas.

Quando a queda de temperatura se dá após um dia de grande insolação, os sintomas aparecem mais facilmente, dando-se o contrário quando o dia que antecede à queda de temperatura é encoberto.

Parece, pois, que o estado fisiológico das folhas, decorrente do seu teor em carboidratos, influi na manifestação dos sintomas.

### **3.2.5.2. Estrangulamento do caule**

O ar frio que se acumula rente à superfície do solo pode causar na haste de cafeeiros novos um estrangulamento motivado pela morte dos tecidos da casca (Abrahão, 1954; Drummond, 1956; Franco, 1958, 1960a).

Em laboratório, esse estrangulamento foi reproduzido fazendo-se circular salmoura refrigerada em torno do caule, durante tempo determinado. Para evitar que o caule fosse danificado pela salmoura ele foi envolvido na região submetida ao tratamento, por uma camada de papel de alumínio.

Para o aparecimento do estrangulamento foi necessário que a temperatura ao redor do caule descesse abaixo de  $-2^{\circ}\text{C}$ .

O tratamento com temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  ou inferior, matou o cafeeiro. Esses resultados explicam o aparecimento ocasional da “canela de geada” nos cafezais. Embora os tecidos do caule sejam afetados no inverno, o mal é em geral notado na primavera, quando após o crescimento dos tecidos vivos, o estrangulamento da parte morta se torna evidente.

### **3.2.5.3. Queima dos ponteiros**

Em cafezais localizados em altitudes elevadas, pode se dar a queima de ponteiros devido ao aquecimento brusco das folhas e galhos nos primeiros minutos após o nascer do sol (Trench, 1932; Jurion, 1936).

Durante noites frias aquelas partes da planta se resfriam a temperaturas, às vezes próximas do congelamento. Em pequenas latitudes o nascer do sol é rápido e assim, em poucos minutos, as folhas passam a temperaturas relativamente elevadas e nessas condições transpiram bastante.

Entretanto, as camadas mais superficiais do solo se acham ainda frias, o que dificulta a absorção de água. Além disso, a translocação de água nos vasos, no interior dos ramos e caule, que também se acham em temperaturas mais baixas, é dificultada pela maior viscosidade da água e menor permeabilidade dos tecidos.

Nessas condições, a absorção e transporte da água não se dá em razão suficientemente rápida para compensar a transpiração das folhas aquecidas e os tecidos destas morrem ou se “queimam” principalmente nas pontas e margens do limbo foliar.

### **3.2.6. A intensidade luminosa e o crescimento do cafeeiro**

Nutman (1937a), trabalhando na África, demonstrou que uma folha de café faz muito menos fotossíntese quando exposta à plena luz solar do que à luz difusa, menos intensa. Assim, a fotossíntese era mais intensa de manhã e à tarde do que ao meio-dia e, também, mais intensa nos dias nublados do que nos dias bem ensolarados.

Em outro trabalho (Nutman, 1937b) foi demonstrado que a queda da fotossíntese nas horas de sol intenso era devido ao fechamento dos estômatos nessas horas. Tal fenômeno foi confirmado no Brasil (Franco, 1938; Maestri, 1958), em Java (Schweizer, 1939) e em Costa Rica (Alvim; Havis, 1954).

O fato de ser a eficiência da folha do cafeeiro maior à meia-luz do que em plena luz solar não quer dizer que o crescimento do cafeeiro seja maior quando vegetando sob sombra. Isso porque, a grande maioria das folhas de um cafeeiro acha-se naturalmente protegida da incidência direta da luz solar pelas folhas da periferia da planta. E mesmo entre estas, é uma minoria o número de folhas que estão diretamente voltadas para o sol, recebendo os raios solares normalmente à sua superfície. Se a folha recebe os raios de luz em ângulo, a intensidade luminosa incidente em sua superfície é evidentemente reduzida.

Como a iluminação de uma superfície é proporcional ao cosseno do ângulo que essa superfície faz com os raios de luz, uma folha que, por exemplo, esteja em um ângulo de  $45^\circ$  em relação aos raios solares, receberá 70% de luz, e se aquele ângulo for de  $60^\circ$ , receberá a metade dos raios solares, em relação ao que receberia se estivesse perpendicular àqueles raios.

Em uma planta sombreada, um certo número de suas folhas externas pode estar em condições ótimas de luz para a fotossíntese, mas aquelas situadas no interior da copa do cafeeiro, que se acham sombreadas, recebem luz de intensidade insuficiente para máxima fotossíntese. Muitas dessas folhas, em árvores bem copadas, podem mesmo receber intensidade luminosa abaixo daquela correspondente ao “ponto de compensação” (intensidade luminosa na qual a fotossíntese e a respiração estão equilibradas, não havendo, portanto, ganho nem perda de substâncias).

A fotossíntese total da planta, considerando-se todas as suas folhas, é maior, portanto, em cafeeiros vegetando à plena luz do que naqueles sombreados. Consequentemente, o crescimento e a produção de frutos, que são consequência da fotossíntese, são também maiores.

Vários autores têm medido o crescimento e a produção do cafeeiro em diferentes intensidades luminosas.

Sylvain (1952a), cultivou cafeeiros novos em viveiro e paralelamente em vasos, em quatro intensidades luminosas. Os resultados obtidos pelo autor são apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 4.** Desenvolvimento vegetativo de plantas jovens de cafeeiros em diferentes intensidades luminosas

Luz %	Altura cm	Crescimento dos ramos cm	Total de folhas nos ramos n°	Crescimento total (Altura + crescimento dos ramos) cm
25	53,1	30,3	6,5	86,7
50	53,0	47,9	12,1	103,6
75	53,7	64,5	15,7	121,3
100	59,4	90,2	24,9	152,0

Vê-se que o crescimento e o número de folhas por ramos foram maiores nas plantas que cresceram a pleno sol e tanto menores quanto mais intensa foi a sombra. Concluiu ainda Sylvain (1952a), que o diâmetro do tronco era maior nas plantas cultivadas ao sol, assim como eram maiores também o peso seco das folhas e o peso do sistema radicular, que foi nas plantas cultivadas ao sol, o dobro daquele das plantas sob 75% de sombra, embora menos ramificado.

Alvim (1953), estudou a razão de assimilação, a intensidade de crescimento e a superfície foliar do cafeeiro em diversas luminosidades. Concluiu, que de acordo com os resultados obtidos, não se pode considerar o cafeeiro como uma planta “de sombra”, pois as suas reações são muito mais características de uma planta “de sol”. Castillo (1961) chegou a conclusões semelhantes.

Huerta (1954), citado por Sylvain (1958a), também concluiu que no cafeeiro cultivado ao sol a fotossíntese por unidade de superfície foliar é mais intensa. A tabela 5 reproduz a fotossíntese encontrada por Huerta sob diferentes intensidades luminosas.

**Tabela 5.** Assimilação fotossintética de cafeeiros cultivados sob diferentes intensidades luminosas

Luz %	Assimilação cal/g/dm <sup>2</sup> /dia
100	1,51
60	1,19
45	0,95
30	0,87

O crescimento (incremento de peso) foi também maior nas plantas que cresceram a plena exposição solar (Huerta, 1954, citado por Alvim, 1960).

Também no Peru o crescimento do cafeeiro foi estudado comparativamente ao sol e à sombra (Alvim, 1960) e os resultados obtidos acham-se na tabela 6.

**Tabela 6.** Crescimento de cafeeiros cultivados ao sol e à sombra

Variável	Ao sol	Com 60% de luz
Peso seco total	61,5	40,6
Peso seco da parte aérea	50,1	33,9
Peso seco das raízes	11,4	6,7
Número de axilas foliares	7	5
Número de folhas	54	58

Esses resultados confirmam os dados anteriormente obtidos em Costa Rica, mas estão em desacordo com os estudos realizados na Colômbia (Machado, 1946) e no Brasil (Maestri, 1958, citado por Alvim, 1960), nos quais foram obtidos melhores resultados quando as plantas receberam sombra nos seus primeiros meses de vida.

A diferença de ambiente e de técnica experimental devem ser responsáveis por esse desacordo. Conforme o próprio autor do trabalho diz, “para bom desenvolvimento de mudas de cafeeiro ao sol, o transplante para essas condições deve ser feito logo após a germinação, quando os “seedlings” estão ainda na forma chamada “palito de fósforo”, isto é, antes da abertura dos cotilédones. Se o transplante for feito depois dos cotilédones abertos, a plantinha sofrerá com a mudança brusca de ambiente e tornar-se-á clorótica”. Talvez nos trabalhos realizados na Colômbia e no Brasil, isso não tenha sido tomado em consideração e o transplante das mudas tenha sido responsável pelos resultados discordantes.

Não encontramos explicação, entretanto, para os resultados obtidos em Porto Rico (Guiscafré-Arrilaga; Gómez, 1942b), onde em uma experiência se cultivou café a plena luz e com 2/3, 1/2 e 1/3 de luz, concluindo-se que o crescimento e a produção foram superiores sob exposição solar de 1/2 e 1/3. Não houve diferenças significativas entre as produções dos tratamentos com 1/2 e 1/3 de iluminação, mas o crescimento foi melhor neste último tratamento.

#### **4. SISTEMA RADICULAR**

É de grande interesse para o ecofisiologista o conhecimento do sistema radicular das plantas.

A eficiência do sistema radicular como órgão de absorção de água e de sais minerais depende principalmente da sua extensão e profundidade.

Desde que a zona mais ativa da raiz é aquela próxima das extremidades das radículas, quanto mais subdividido o sistema radicular, tanto mais eficiente ele deverá ser, pois maior será o número de extremidades ativas.

A profundidade atingida pelo sistema radicular de uma planta é de grande importância durante o período de seca, quando as reservas de água das camadas mais superficiais do solo, já não são suficientes para atender à demanda resultante principalmente da perda de água em consequência da transpiração das folhas.

A maior resistência à seca e rusticidade de uma variedade em relação a outras está geralmente ligada a um sistema radicular, mais profundo.

A conformação do sistema radicular de uma planta depende, em primeiro lugar, da sua constituição genética. Plantas geneticamente idênticas, vegetando no mesmo solo, têm sistemas radiculares com a mesma conformação. As condições de solo podem, porém, induzir modificações na conformação do sistema radicular.

Entre os fatores que mais influem na conformação do sistema radicular, queremos pôr em evidência a fertilidade do solo, seu teor em umidade e a sua aeração. Se as diversas camadas do solo não são homogêneas quanto às suas propriedades físicas e químicas, será diferente a conformação do sistema radicular dentro de cada uma dessas camadas.

As raízes desenvolvem mais nas camadas mais férteis do solo, onde encontram mais elementos nutritivos, embora a relação parte aérea/sistema radicular seja menor em solo pobre.

A água é indispensável para o crescimento das raízes, entretanto, água demais no solo prejudica as raízes por tomar o lugar do ar, o que resulta em deficiências de oxigênio para a respiração das raízes. Nessas condições, as raízes crescem e subdividem-se menos, resultando em uma superfície de absorção menor.

A aeração influi também na absorção de água e elementos minerais pelas raízes, pois o oxigênio é necessário para a respiração das raízes e é esse processo que fornece energia para a absorção.

Daffert e Toledo Braga (1917), parece-nos que foram os primeiros a publicar dados sobre o sistema radicular do cafeeiro. Em cafeeiros de 10 a 40 anos encontraram 20,1 e 47,8 kg para os respectivos pesos do sistema radicular.

Nutman (1933), estudou o sistema radicular do cafeeiro em diversos tipos de solo da África Inglesa. A profundidade máxima encontrada foi de 4,06 m em um solo profundo. Observou Nutman que o “die-back” causado nos ramos pela superprodução da árvore acarreta também a morte de muitas raízes.

Em outro trabalho mais minucioso, Nutman (1934) encontrou os seguintes comprimentos totais de radículas em quilômetros; 15.376 - 20.328 - 32.671 e 23.988, o que dá uma média de 22.765 quilômetros de radículas por cafeeiro. As áreas totais de superfície absorvente foram, respectivamente, em m<sup>2</sup>: 313, 414, 665, 489, dando uma média de 463 m<sup>2</sup> de raízes por planta.

Trench (1934), achou que os tratos culturais introduzem modificações no sistema radicular. Diz, que com subsolagem obteve um aprofundamento maior das raízes superficiais. A profundidade máxima das raízes encontrada foi de 2,70 m.

Beckley (1935) encontrou, como Nutman, um “die-back” também nas raízes, correspondente ao “die-back” dos ramos, o que reduz e deforma o sistema radicular primitivo.

Guiscafré-Arrilaga e Gómez (1942a) encontram 94% do peso total de raízes na primeira camada de 30,5 cm de profundidade, e atribuem isso à maior riqueza do solo em matéria orgânica nessa profundidade e à melhor aeração. Dizem os autores em questão, que o diâmetro do tronco dá melhores indicações sobre o desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro do que a altura ou tamanho da árvore. A penetração vertical das raízes de um cafeeiro de 7 anos foi de 0,91 m e a extensão lateral de 1,22 m no solo estudado.

Em outro trabalho Guiscafré-Arrilaga e Gómez (1938) encontraram 95% do peso total das raízes na primeira camada de 0,30 m do solo. A relação peso das partes aéreas/peso das raízes foi de 3:1.

Em um terceiro trabalho, Guiscafré Arrilaga e Gómez (1940) encontraram 94% do peso das raízes na primeira camada de 0,30 m e a razão do peso das partes aéreas para o peso das raízes foi 4:1. Castro (1953), concluiu que o sistema radicular do cafeeiro é extremamente raso, quer quanto às raízes absorventes ou às de fixação, em um solo franco limoso da Colômbia onde executou o trabalho. Atribui isso à melhor aeração e maior riqueza do solo na camada superficial. Nesse solo o sistema radicular do cafeeiro não atingiu, com eficiência, 1 m de profundidade.

Vieira da Silva (1960), em São Tomé, observou que o plantio profundo das mudas na cova resulta em um sistema radicular defeituoso e deficiente, que não explora a superfície do solo.

Em Angola, Vaz (1960) concluiu que até 65% das raízes capilares do cafeeiro podem se localizar nos primeiros 30 cm, se bem que até 90 cm exista volume apreciável de raízes.

Em El Salvador, Castro (1951), observou que a raiz principal do cafeeiro alcança até 0,50 m e que as raízes absorventes acham-se mais concentradas nos primeiros 10 cm em plantas com 15 anos de idade e são bastante uniformes em todo o perfil, em plantas de 7 anos.

Castro (1951) diz que as raízes do cafeeiro são extremamente superficiais nos solos estudados da Colômbia e que a melhor aeração e maior riqueza das camadas superficiais do solo contribuíram para isso. A drenagem, portanto, a aeração, exercem uma influência marcada na distribuição das raízes. Praticamente as raízes não iam além de 0,70 m de profundidade e mais da metade das raízes absorventes foram encontradas nos primeiros 10 cm.

Em outros estudos feitos na Colômbia, a distribuição de radículas encontradas nas camadas verticais foram: 52% nos primeiros 10 cm;

86% nos primeiros 30 cm e apenas 14% abaixo dessa profundidade. Dentro de 75 a 105 cm do tronco na horizontal e 20 cm de profundidade está praticamente concentrada atividade alimentadora do cafeeiro.

Em São Paulo, o sistema radicular do cafeeiro foi estudado em quatro diferentes tipos de solo: terra-roxa-legítima, terra-roxa-misturada (duas localidades), arenito Bauru e Massapé Salmourão (Franco; Inforzato, 1946).

Como era de se esperar, não podemos falar em um sistema radicular típico do cafeeiro, mas sim do seu sistema radicular em um determinado tipo de solo ou ainda melhor, em uma determinada localidade, já que condições locais de solo modificam o sistema radicular.

A melhor distribuição de sistema radicular encontrada no estado de São Paulo foi no solo de Campinas, terra-roxa-misturada. Nesse solo as raízes do cafeeiro atingiram profundidade de mais de 2,50 m, sendo que a 2,0 m a quantidade de radículas encontrada foi grande, indicando uma boa exploração do solo pelas raízes até essa profundidade. Em segundo lugar está o solo arenito Bauru, de Pindorama.

O sistema radicular menos eficiente, a julgar pela camada pouco profunda explorada pelas suas radículas, foi o encontrado na terra-roxa-legítima da Estação Experimental de Ribeirão Preto. No sistema radicular encontrado em Pindorama, vê-se claramente o efeito do horizonte B, adensado, sobre o desenvolvimento das raízes. É de se esperar, portanto, grande variação no sistema radicular do cafeeiro nesse tipo de solo, uma vez que a espessura do horizonte A é bastante variável.

Vê-se que no solo compacto massapé salmourão, as raízes se subdividem menos, sendo em geral de maior diâmetro. O solo nesse caso, menos eficientemente explorado pelo sistema radicular.

## **5. ECONOMIA DE ÁGUA**

### **5.1. Absorção**

Após chuva abundante o teor de água do solo está no nível denominado “capacidade de campo”. Nessa umidade e abaixo dela, o movimento da água do solo é extremamente lento, tão lento, que, para fins agrônômicos, podemos considerá-la imóvel.

Portanto, para que uma radícula, no solo, absorva continuamente água, ela precisa crescer continuamente. É a raiz que caminha para a água e não a água para a raiz. Compreende-se, portanto, que o crescimento das radículas de uma planta é um processo alternativo. Crescem absorvendo água, morrem depois, ou por seca excessiva ou por excesso de água durante as chuvas prolongadas para depois crescerem novamente.

Por isso, o crescimento total das radículas é muito grande. Em solos muito úmidos ou em climas bastante chuvosos, as raízes crescem menos.

Nutman (1934), calculou que a absorção de água pelas raízes dos cafeeiros estudados por ele se dava na razão de 2,5 ml/hora/m<sup>2</sup> de superfície radicular, razão essa extremamente baixa quando comparada com outras plantas.

#### **5.1.1. Influência da temperatura do solo na absorção**

Em geral, nas plantas, a capacidade de absorção de água pelas raízes decresce muito com o abaixamento da temperatura do solo.

Mediu-se a transpiração do cafeeiro com o sistema radicular submetido a diferentes temperaturas, estando as partes aéreas das plantas em estudo no mesmo ambiente de estufa a 26 °C (Franco, 1958).

Dessa maneira, as alterações encontradas na transpiração não foram senão o reflexo daquelas que tinham lugar na absorção de água pelo sistema radicular. A tabela 7, a seguir, mostra os resultados encontrados.

**Tabela 7.** Transpiração do cafeeiro com sistema radicular submetido a diferentes temperaturas

Temperatura da raiz °C	Transpiração % sobre a transpiração a 33 °C
13	30,0
18	55,9
23	82,6
28	95,7
33	100,0
38	85,2

Considerando-se a transpiração máxima encontrada, que ocorreu nas plantas com o sistema radicular submetido a 33 °C, igual a 100, observou-se que a absorção decresceu com o abaixamento da temperatura. Esse decréscimo foi pequeno na temperatura de 28 °C, mas acentuou-se daí para baixo. A 13 °C a absorção foi de apenas 30% daquela encontrada a 33 °C. A elevação da temperatura acima de 33 °C provocou também decréscimo na absorção de água.

### 5.1.2. A aeração e a absorção de água

É sabido que a aeração do meio radicular é importante para o crescimento e para as funções normais das raízes da grande maioria das plantas superiores. São inúmeros os trabalhos mostrando que a deficiência de aeração no solo diminui a absorção de água pelas raízes. Isso é verdade também para o cafeeiro e é facilmente demonstrado em plantas grandes, vegetando em solução nutritiva, quando se interrompe a aeração da solução. Nessas circunstâncias, observa-se o murchamento dos cafeeiros dentro de poucas horas. Naturalmente, o tempo observado entre a interrupção da aeração e murchamento depende do tamanho do vaso, volume do sistema radicular, temperatura da solução nutritiva, temperatura e estado higrométrico da atmosfera, etc.

## 5.2. Transpiração

As folhas do cafeeiro possuem estômatos apenas na face inferior. O número de estômatos por unidade de superfície varia inversamente com o número de cromossomos da variedade (Franco, 1939). Para as variedades com 44 cromossomos o número médio de estômatos por milímetro quadrado encontrado foi de 167.

A transpiração nada mais sendo do que a perda por evaporação, de água dos tecidos, dá-se através de toda a superfície da planta. Entretanto, na grande maioria das plantas, aquela que se dá através das folhas, que são os órgãos de transpiração por excelência, excede tanto a perda de água pelas outras partes da planta, que esta última perda não tem significação.

A perda de vapor d'água, ou seja, a transpiração, não se dá apenas através dos estômatos. Mesmo com os estômatos fechados, uma folha transpira através da sua cutícula embora essa transpiração chamada cuticular, seja no geral, apenas uma pequena fração daquela que se dá através dos estômatos, ou seja, a transpiração estomática.

No cafeeiro, a transpiração cuticular é de cerca de 15% da estomática. Portanto, uma folha, mesmo com os estômatos fechados, continua a perder água e poderá vir a morrer se o suprimento de água não for normalizado antes que aquela perda atinja valores perigosos.

Uma folha de café começa a morrer quando a perda de água atinge 20%-25% do seu teor de unidade original (Alvim, 1958).

### 5.2.1. Medida da transpiração do cafeeiro

Existem métodos bastante precisos para a medida de transpiração em laboratório, com plantas ou partes das plantas submetidas a condições artificiais e controladas. Para estudos básicos sobre a transpiração, esses métodos são bastante satisfatórios.

Entretanto, quando se deseja estudar ou medir a transpiração de uma planta “in loco”, no campo, as dificuldades são inúmeras, a começar pela escolha do método que se deverá usar. Não existe mesmo, nenhum método que pudéssemos chamar de satisfatório para a medida da transpiração no campo.

Para o caso do cafeeiro, estudou-se a possibilidade de empregar o método das pesagens rápidas de folhas idealizado por Pfaff (1870), e melhorado por Huber (1927). Entretanto, verificou-se que a abertura dos estômatos do cafeeiro se altera grandemente logo após o corte do pecíolo, sendo, portanto, muito provável, que a transpiração também se alterasse (Franco; Inforzato, 1950). Que isso, de fato acontece, foi demonstrado mais recentemente da seguinte maneira (Franco; Magalhães, 1965): uma folha de café foi introduzida na câmara de um aparelho gasométrico e a transpiração foi medida continuamente até que atingisse o equilíbrio com as condições em que se achava. Atingido esse equilíbrio, ou seja, quando a transpiração permanecia uniforme, o pecíolo foi cortado por fora da câmara. A transpiração aumentou logo após, mais ou menos rapidamente até um máximo para depois cair, por falta de água.

Há duas hipóteses para explicar esse aumento da transpiração. A primeira de Darwin (1898), que o atribuiu à rápida perda de água pela epiderme, que assim diminui sua pressão sobre as células estomáticas, permitindo que estas aumentem a sua curvatura, aumentando assim a abertura do estômato. A segunda de Dixon (1914), que disse ser devido à eliminação da tensão existente no xilema, ficando desse modo a água restante no interior da folha mais facilmente disponível à transpiração. A primeira, de Darwin, é a que melhor resiste à evidência dos dados experimentais.

Adotou-se então, para a medida da transpiração do cafeeiro, o método tradicional das pesagens das plantas em vasos com algumas pequenas modificações julgadas indispensáveis para diminuir, na medida do possível, os efeitos do artificialismo do método (Franco; Inforzato, 1950).

Assim, os vasos não foram hermeticamente fechados, pois isso acarretaria a asfixia do sistema radicular. Ao invés disso, utilizaram-se vasos testemunhas, sem plantas, para darem a medida da perda de água por evaporação direta da superfície da terra. Essa perda era subtraída da perda do peso total, dada pelos vasos contendo as plantas.

Para diminuir ao mínimo a perda por evaporação, a superfície da terra dos vasos foi recoberta com uma camada de palha de arroz.

Os vasos empregados eram grandes, com capacidade para mais de 50 litros de terra, o que permitiu que se trabalhasse com plantas até três anos de idade.

As regas dos vasos eram feitas quando o peso dos mesmos indicavam estar o solo se aproximando bastante do “ponto de murchamento”. Então adicionava-se água na quantidade necessária para elevar a umidade do solo ao nível da “capacidade de campo”. Isso foi feito para imitar as condições de umidade que ocorrem no campo.

### **5.2.2. Determinação da superfície foliar**

As folhas de sete cafeeiros, cada um por sua vez, foram colhidas e pesadas. Esses cafeeiros foram escolhidos na cultura, de maneira a representarem o desenvolvimento médio das plantas.

Uma mostra de 150 folhas tomadas ao acaso foi pesada e a superfície dessas folhas foi determinada pelo método dos recortes de papel, calculando-se depois a superfície foliar total de cada planta. Essa superfície variou de 22,87 a 45,74 metros quadrados, dando uma média de 31,46 m<sup>2</sup>. Considerou-se apenas uma face da folha, já que esta possui estômatos apenas na face inferior.

### 5.2.3. Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro

Conhecida a quantidade de água transpirada diariamente pelos cafeeiros nos vasos e a superfície foliar dessas plantas, calculou-se a transpiração média para cada dia, em  $\text{g}/\text{dm}^2$  de folha. Multiplicando-se esse valor pela superfície foliar das plantas adultas, determinou-se, aproximadamente, a quantidade de água que essa planta deve retirar do solo.

Neste trabalho a terra do vaso foi mantida sempre com umidade disponível. Nessas condições, as plantas transpiraram mais ou menos livremente durante o ano todo. Os resultados obtidos mostram, aproximadamente, a quantidade de água que um cafeeiro deve transpirar em condições ótimas de água no solo. A transpiração diária média encontrada foi de  $6,29 \text{ g}/\text{dm}^2/\text{dia}$ . No dia de mais intensa transpiração no decorrer da experiência, a razão diária foi de  $17,6 \text{ mg}/\text{dm}^2/\text{m}$ , o que é perfeitamente comparável com os resultados obtidos em outra ocasião, em dia de sol intenso e que foi de  $18,2 \text{ mg}/\text{dm}^2/\text{m}$ , e também com a razão diária máxima encontrada na África por Nutman (1941) de  $20,67 \text{ mg}/\text{dm}^2/\text{m}$ .

Conhecendo-se a transpiração média por unidade de superfície foliar e também a superfície foliar total do cafeeiro, calculou-se a quantidade total de água transpirada por um cafeeiro adulto em condições de cultura (Franco; Inforzato, 1950).

A tabela 8 mostra os resultados encontrados mensalmente para um cafezal plantado no espaçamento de  $3,5 \times 3,5 \text{ m}$ , expressos de diferentes maneiras, ao lado das normais pluviométricas.

**Tabela 8.** Transpiração do cafeeiro e normais pluviométricas nos diversos meses do ano

Mês	Transpiração do cafeeiro				Normal pluviométrica de Campinas mm
	Equivalência em queda pluviométrica <sup>(1)</sup> mm	Por superfície foliar g/dm <sup>2</sup>	Por planta litros	Por área m <sup>3</sup> /ha	
janeiro	50	193,4	608	496	244,6
fevereiro	41	159,2	501	409	203,9
março	51	198,7	625	510	149,3
abril	50	196,2	617	504	60,4
maio	53	206,8	651	531	50,7
junho	36	139,3	438	357	48,9
julho	39	151,7	487	389	28,0
agosto	46	180,0	566	462	34,3
setembro	56	218,2	686	560	71,3
outubro	56	219,0	689	562	116,1
novembro	63	246,0	774	632	155,6
dezembro	52	203,3	640	522	228,2
Total	593	2.311,0	7.273	5.935	1.391,3

(<sup>1</sup>) Considerando-se o espaçamento de 3,5 x 3,5 m.

No trabalho citado, a terra dos vasos foi mantida sempre com umidade disponível às plantas, nunca tendo estas sofrido falta de água. Nessas condições, as plantas transpiraram livremente durante o ano todo. Os resultados mostram, portanto, aproximadamente, a quantidade de água que um cafeeiro de desenvolvimento médio deve retirar do solo em condições ótimas de umidade, nas condições de Campinas (SP), ou em clima semelhante.

Nas condições de cultura, os cafeeiros sofrem falta de água por ocasião da estação seca e esse é provavelmente, o principal fator da queda de folhas observada naquela época.

Na tabela 8 vemos que a transpiração excede um pouco a queda pluviométrica nos meses de maio, julho e agosto, dando um déficit total correspondente a 25 milímetros de chuva.

Pereira Junior (1957), mediu a evapotranspiração de cafezal ao sol no Quênia durante um período de seis anos. A média encontrada por esse autor foi de 840 mm. Esse resultado é comparável com a transpiração encontrada em Campinas (SP), de 593 mm, que, como é lógico, não inclui a evaporação do solo e a transpiração das plantas daninhas, como é o caso na medida da evapotranspiração.

### **5.3. Sombreamento**

Os cafeeiros brasileiros são cultivados, em grande maioria, a pleno sol. Dá-se o inverso em todos os outros países produtores de café das Américas, onde os cafezais são sombreados, salvo em casos de experiências recentes de cultura ao sol.

Mesmo entre nós houve, até um passado bastante recente, grande preocupação em se experimentar o sombreamento nos cafezais. É possível mesmo que essa preocupação date do início dessa cultura entre nós. Pelo menos em Campinas (SP), assim foi, pois um dos primeiros cafezais aqui plantados, por volta de 1817, foi sombreado, mas logo depois abandonado em consequência da baixa produtividade (Melo, 1899).

Os primeiros ensaios de sombreamento do Instituto Agrônomo (IAC), de Campinas (SP) datam de cerca de 35 anos. Ao lado dos ensaios oficiais, muitas tentativas particulares foram feitas. Os resultados, entretanto, não foram animadores.

Além da produção bastante menor, os cafeeiros sob sombra, em nossas condições, são na grande maioria dos casos, severamente prejudicados pela seca. A escolha da árvore sombreadora bem como sua poda, espaçamento, etc., não resolveu o problema.

Medindo a quantidade de água disponível no solo de cafezais sombreados e não sombreados, durante períodos de seca, verificou-se que nos primeiros a quantidade de água disponível era sempre menor do que nos segundos. Nos casos em que os cafeeiros sombreados achavam-se despidos de suas folhas, encontrava-se não raro, o solo no “ponto de murchamento” nas camadas exploradas pelas raízes do cafeeiro, o que não acontecia nos talhões a pleno sol (Franco, 1952). As tabelas 9 e 10 ilustram um caso de concorrência amena e outro de drástica concorrência de água.

**Tabela 9.** Talhões de ensaio de variedades e progênies da Estação Experimental Central, Fazenda Santa Elisa, em Campinas (SP). Sombreamento com ingazeiro e *Cassia strobilacea*. Os dados desta tabela são médias de duas determinações feitas nesses talhões

Profundidade m	Água disponível		Data
	Talhão ao sol ----- % -----	Talhão sombreado ----- % -----	
0,5	2,4	1,8	27/05/1949
1,0	2,8	1,4	(início da seca)

**Tabela 10.** Talhões de ensaio de variedades e progênies da Estação Experimental Central, Fazenda Santa Elisa, em Campinas (SP). Sombreado com ingazeiro e *Cassia strobilacea*

Profundidade m	Água disponível		Data
	Talhão ao sol ----- % -----	Talhão sombreado ----- % -----	
0,5	1,5	0,9	12/08/1949
1,0	2,1	0,0	(plena seca)
1,5	1,8	0,0	

As tabelas 9 e 10 se referem aos mesmos talhões em Campinas (SP), apenas em épocas diferentes. O primeiro quando a seca estava

ainda no início e os cafeeiros ainda enfolhados; o segundo após alguns meses de seca, quando os cafeeiros encontravam-se completamente desfolhados.

Sempre que os cafeeiros encontravam-se enfolhados constatava-se a existência de água disponível no solo, como por exemplo, no município de Bragança (SP). A tabela 11 ilustra um caso desses.

**Tabela 11.** Cafezal sombreado, da fazenda do Sr. Domingos Leonardi, em Bragança Paulista (SP), com sombreamento com Pisquim, *Albizia malococarpa*

Profundidade	Água disponível
m	%
0,5	5,4
1,0	3,0

O sucesso do sombreamento na América Central é explicado pela grande quantidade de água disponível encontrada nos solos daquela região mesmo após secas prolongadas (Franco, 1951).

Como vemos na tabela 12, que é representativo dos dados obtidos em uma fazenda em El Salvador, a quantidade de água disponível é muito maior do que as encontradas até mesmo em nossos cafezais sem sombra.

**Tabela 12.** Porcentagem de água disponível, encontrada no solo do cafezal sombreado do Sítio Atlântida, em Santa Ana, El Salvador

Profundidade	Água disponível
m	%
0,5	5,9
1,0	12,4
1,5	12,8

A razão de uma economia de água mais favorável nos cafezais da América Central deveria ser procurada na constituição e propriedades físicas do solo. Estudos comparativos das curvas do pF dos nossos solos e dos solos da América Central seriam de grande valor para melhor compreensão do problema.

Vimos que, estudando a disponibilidade de água do solo, comparativamente, em cafezais sombreados e não sombreados, chegamos à conclusão de que a concorrência em água entre cafeeiros e árvores de sombra é que limita o sucesso do sombreamento dos cafezais.

Vendo por outro método, ou seja, medindo a quantidade de água transpirada pelo cafeeiro sob sombra e pelas árvores de sombra, chegou-se à mesma conclusão.

Como visto anteriormente, medindo-se a quantidade de água transpirada pelo cafeeiro e pelo ingazeiro em Campinas (SP), diariamente e durante um ano, Franco e Inforzato (1951) concluíram que em um cafezal ao sol, plantado no espaçamento de 3,5 x 3,5 m, a transpiração excede um pouco a precipitação nos meses de maio, julho e agosto. A soma dos déficits da precipitação média em relação à transpiração nesses três meses foi de 25 mm apenas.

Em um cafezal sombreado os cafeeiros retiram menos água do solo através da sua transpiração, uma vez que esta é menor à sombra. Por outro lado, há um grande consumo de água pelas árvores de sombra. Os dados do consumo de água pelos cafeeiros sombreados e pelas árvores de sombra, no caso estudado, ingazeiros, encontram-se transcritos na tabela 13, a seguir (Franco; Inforzato, 1951).

**Tabela 13.** Transpiração do cafeeiro sombreado e do ingazeiro e normais pluviométricas nos diversos meses do ano

Mês	Quantidade de água transpirada			Normal pluviométrica de Campinas (SP)
	Cafeeiro sombreado*	Ingazeiro**	Total	
----- mm -----				
janeiro	40,0	41,8	88,8	244,6
fevereiro	32,8	40,9	73,7	203,9
março	40,8	52,2	93,0	149,3
abril	40,0	44,4	84,4	60,4
maio	42,4	57,4	99,8	50,7
junho	28,8	49,3	78,1	48,9
julho	31,2	59,7	90,9	28,0
agosto	38,8	73,6	112,4	34,3
setembro	44,8	58,0	102,8	71,3
outubro	44,8	58,5	103,3	116,1
novembro	50,4	60,0	110,4	155,6
dezembro	41,6	48,2	89,8	228,2
<b>Total</b>	<b>476,4</b>	<b>644</b>	<b>1.120,4</b>	<b>1.391,3</b>

\* Considerando-se o espaçamento de 3,5 x 3,5 m.

\*\* Considerando-se o espaçamento de 10,5 x 10,5 m.

Vemos na tabela 13 que a absorção total de água do solo, no caso do cafezal sombreado, excedeu a queda pluviométrica em seis meses consecutivos, ou seja, abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, dando um déficit total, em relação à precipitação, de 274,8 mm.

Comparando-se este déficit com o de apenas 25 mm encontrado no caso do cafezal ao sol, percebe-se a grande concorrência que as árvores de sombra fazem ao cafeeiro na absorção de água do solo.

## 6. FLORAÇÃO

### 6.1. Fotoperiodismo

O cafeeiro pertence ao grupo de plantas de dias curtos (Franco, 1940). Quando submetidos a dias artificiais de oito horas de luz o cafeeiro produziu botões florais em janeiro.

A conformação das plantas submetidas a dias curtos tornou-se também um tanto diferente pois seus galhos tornaram-se mais curtos do que os das plantas testemunhas. Isso foi confirmado por Piringer e Borthwig (1955). Went (1957) também fez florescer o cafeeiro em fotoperíodo de oito horas, mas não no de 16 horas.

#### 6.1.1. Dormência e abertura dos botões florais

É uma observação mais ou menos antiga a de que o florescimento do cafeeiro se dá de uma a duas semanas após a primeira chuva depois da seca.

Os botões florais após se formarem crescem até cerca de 5 mm de comprimento e permanecem nesse estado, dormentes, até que ocorra uma chuva. Isso ocorre mesmo em plantas continuamente bem regadas. Após a chuva, os botões reiniciam o seu desenvolvimento para se tornarem flores depois de uma ou duas semanas.

Went (1957) mostrou que se o cafeeiro for conservado em ambiente com temperatura elevada, grande número de botões não se transforma em flores normais, mas cai ou produz flores abortadas conhecidas por “estrelinhas” entre os nossos cafeicultores. De acordo com o mesmo autor, os botões dormentes cresceram e se transformaram em flores quando a planta foi transferida para uma temperatura mais baixa e também quando, à mesma temperatura, o ramo foi cortado e colocado em água. Went observou ainda, que quando ramos com

botões florais dormentes foram cortados e colocados em ambiente à temperatura de 30-23 °C; 26-20 °C e 23-17 °C, os botões florais cresceram e produziram flores depois de 10 dias, 12 dias e 14 dias, respectivamente, sugerindo a hipótese de ser o processo de crescimento após a quebra da dormência, controlado por um processo químico com um coeficiente térmico de aproximadamente 2.

Mes (1957), conseguiu o crescimento dos botões florais dormentes e o florescimento quando tratou com água apenas a parte aérea do cafeeiro. Quando em um ramo com botões dormentes, apenas os botões de uma axila (roseta) foram tratados com água por gotejamento, apenas esses botões se desenvolveram.

Os resultados dessas experiências foram interpretados como indicando que o cafeeiro, mesmo tendo um abundante suprimento de água no sistema radicular, sofre uma deficiência parcial de água e que essa deficiência impede o desenvolvimento dos botões florais além de um determinado estágio. Nesse estágio, os botões florais tornam-se para todos os efeitos, dormentes. A fase final do crescimento do botão floral, a qual vai desde o ponto em que este tem um comprimento de 4 mm até a flor aberta com uma corola e cerca de 21 mm pode ser realizada em 8 dias se o déficit de água for eliminado, pelo menos durante um curto período de tempo no início dessa fase, pela adição de água diretamente ao botão. A influência positiva da chuva na eliminação da dormência dos botões florais do cafeeiro em condições de cultura é provavelmente devido a esse mesmo efeito e não ao abaixamento da temperatura.

Estudando a anatomia dos botões florais, Mes (s.d.), constatou que o número de elementos condutores de água é muito reduzido e de tamanho muito pequeno, sendo pouco provável que esses elementos possam suprir com adequada quantidade de água um botão floral em rápido crescimento.

Quando os botões reiniciam o crescimento, após receberem água diretamente, maior número de elementos do xilema rapidamente se forma nos pêndulos. Assim, a eficiência do sistema condutor de água

nos pedúnculos aumenta, garantindo um bom suprimento de água para o crescimento final dos botões florais.

Mathew e Chokkanna (1961) repetiram o trabalho de Mes (s.d.), da seguinte maneira:

1. 10 galões de água no solo durante 2 dias;
2. 10 galões de água por cima da planta durante 2 dias;
3. 10 galões de água na parte aérea apenas;
4. Testemunha.

Os tratamentos 1 e 2 floresceram depois de 8 dias. O tratamento 3 produziu raras flores e o tratamento 4, nenhuma. Parece, pois, do estudo da literatura que, quando o cafeeiro com botões dormentes recebe chuva ou é irrigado por aspersão acima das copas, os botões se desenvolvem em flores. Entretanto, quanto ao efeito da adição de água apenas ao solo, há contradições entre os autores. Alvim (1960) concluiu que é necessário que a planta tenha anteriormente sofrido deficiência de água para que reaja à irrigação do solo. Essa observação explicaria a controvérsia existente quanto à eficiência da aplicação de água ao solo na abertura dos botões florais se não fosse em contraposição, a observação de que cafeeiros cultivados em solução nutritiva florescem no mesmo dia e na mesma manhã em que florescem os cafeeiros vegetando normalmente no solo.

Alvim (1958), ainda mostrou que o repouso das gemas dormentes do cafeeiro pode também ser interrompido por aspersão de ácido giberélico. A eficiência do tratamento com ácido giberélico foi maior quando havia deficiência de água no solo (Alvim, 1960). Tudo indica que faltam ainda alguns conhecimentos para uma explicação perfeita da dormência e abertura dos botões florais do cafeeiro.

## 7. NUTRIÇÃO MINERAL

As quantidades de elementos minerais retiradas do solo pelas plantas são bastante variáveis com as espécies. Vários autores têm determinado a composição química mineral das diferentes partes do cafeeiro.

Carvajal *et al.* (1969), em estudos feitos com cafeeiros vegetando em solução nutritiva, mediu durante um ano a absorção de elementos minerais por aquelas plantas.

Em resumo, os resultados encontram-se na tabela 14.

**Tabela 14.** Absorção de elementos minerais por cafeeiros em solução nutritiva

Elemento mineral	ppm	Absorção % do total
N-nítrico	610	25,6
N-amoniacal	539	22,6
N-total	1.149	48,2
P	240	10,1
K	662	27,7
Ca	251	10,5
Mg	82	3,4
		99,9

Catani e Moraes (1958), determinaram o teor de alguns elementos minerais nas diferentes partes do cafeeiro, desde um até cinco anos de idade. A tabela 15 mostra a composição mineral da planta no quinto ano.

**Tabela 15.** Elementos minerais na matéria seca em diferentes partes do cafeeiro

Elemento	Elementos minerais na matéria seca				
	Raiz	Tronco	Ramos	Folhas	Frutos
----- % -----					
N	0,96	0,56	0,82	2,51	1,99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,07	0,13	0,31	0,30
K <sub>2</sub> O	0,73	0,50	1,00	2,15	2,53
CaO	0,50	0,45	0,90	2,18	0,31
MgO	0,21	0,12	0,16	0,56	0,33

A quantidade total dos elementos minerais absorvida por cova de três plantas, até o quinto ano foram, em gramas: N - 117, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 16, K<sub>2</sub>O - 121, CaO - 77, MgO - 23.

Malavolta *et al.* (1963), incluindo também os micronutrientes nas suas análises, encontraram os resultados apresentados na tabela 16.

**Tabela 16.** Macronutrientes e micronutrientes no café

Elemento	Grão	Casca	Gramas por	
			60 kg grão	30 kg casca
----- % -----				
N	1,71	1,78	996	525
P	0,10	0,14	66	42
K	1,53	3,75	918	1.123
Ca	0,27	0,41	168	126
Mg	0,15	0,13	96	36
S	0,12	0,15	78	48
----- ppm -----				
B	16	34	0,96	1,02
Cu	15	18	0,80	0,54
Fe	60	150	3,60	4,50
Mn	20	29	1,20	0,87
Mo	0,05	0,07	0,003	0,002
Zn	12	70	0,72	2,10

Conforme Moraes (1963), uma produção de 100 sacos de café em coco, retira do solo as seguintes quantidades, em quilos, dos elementos minerais considerados: N - 60,  $P_2O_5$  - 10,  $K_2O$  - 110, CaO - 13 e MgO - 12.

Considerando-se que 100 sacos de café em coco dão cerca 1.800 quilos de café beneficiado e 2.200 quilos de palha e que a palha é bem mais rica em elementos minerais do que os grãos, percebe-se a grande vantagem de se devolver a palha ao cafezal, sempre que economicamente possível.

Assim, se considerarmos apenas o N e o  $K_2O$  que são retirados do solo em quantidades muito maiores do que os outros elementos e calcularmos as quantidades retornadas ao campo com a palha, veremos que as quantidades então realmente exportadas do solo com a produção de 100 sacos de café em coco ficam reduzidas a menos da metade, ou seja: N - 20 kg e  $K_2O$  - 30 kg.

Em outros termos, o retorno da palha dos 100 sacos de café em coco equivale a uma adubação mineral com 200 kg de sulfato de amônio e 130 kg de cloreto de potássio, sem tomar em consideração os outros elementos nutritivos.

A tabela 17, a seguir, tirada do trabalho de Moraes e Catani (1964), mostra o acúmulo progressivo de N, P e K em frutos do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento.

**Tabela 17.** Acúmulo de NPK em frutos do cafeeiro

Estágio de Maturação	Quantidade de N, P e K existentes em 1.000 frutos				
	Peso úmido	Peso seco	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	----- g -----				
1. Flor	130	19,5	0,73	0,12	0,77
2. Verde “chumbinho” (90 dias)	680	105,4	1,84	0,35	3,45
3. Verde aquoso (120 dias)	755	181,2	3,26	0,42	4,50
4. Verde sólido (150 dias)	840	260,4	4,46	0,85	7,42
5. Cereja (210 dias)	1.280	454,4	8,78	1,32	12,27

Fonte: Moraes e Catani (1964).

Vê-se que o aumento no teor dos elementos estudados e no peso seco do fruto é praticamente linear e que as quantidades de N e de K<sub>2</sub>O acumuladas são muito maiores do que as de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, refletindo a grande exigência do cafeeiro naqueles dois primeiros elementos e a pequena importância do fósforo na adubação dos cafezais.

O estado nutricional de uma planta pode ser avaliado de diversas maneiras. A análise foliar, ou seja, a determinação do teor em elementos minerais das folhas fornece dados de grande valor. É, entretanto, importante que quem o empregue, considere as suas limitações como por exemplo, a natural variação do teor em elementos minerais com as estações do ano.

No cafeeiro emprega-se o terceiro par de folhas para a análise e, de um modo geral, folhas normais, bem nutridas apresentam teores de elementos minerais próximos dos apresentados na tabela 18.

**Tabela 18.** Teores de elementos minerais em folhas do terceiro par de folhas

N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
----- % -----					----- ppm -----					
3,0	0,12	2,0	1,00	0,35	70	25	10	4	40	0,1

O melhor método para se estudar a nutrição mineral de uma planta é, sem dúvida, o da sua cultura em solução nutritiva. O cafeeiro vegeta bem em solução nutritiva até cerca de quatro anos de idade.

Quando ainda novo (alguns meses de idade) parece que a aeração não é indispensável (Franco; Mendes, 1949). Entretanto, plantas mais velhas necessitam aeração contínua da solução nutritiva para crescerem normais.

Dentre as várias soluções nutritivas experimentadas, a de Hoagland foi a que apresentou melhores resultados com o cafeeiro. Dada a pequena exigência em P do cafeeiro, a quantidade de fosfato naquela solução pode ser reduzida para a metade ou a terça parte.

O cafeeiro absorve Fe com dificuldade de soluções nutritivas cujo pH esteja próximo de 7 na presença de P. Essa dificuldade pode ser controlada de duas maneiras: 1. pelo emprego de quelato de ferro; 2. pela supressão temporária do P da solução nutritiva. No quelato, que é um complexo onde o ferro não se encontra ionizado, não reagindo, portanto, como Fe, esse elemento não é insolubilizado pelo fosfato. Dessa maneira, ele permanece solúvel em forma absorvível pela planta.

Não se dispondo de quelato de ferro, pode-se usar um sal solúvel como o citrato, o tartarato ou mesmo o sulfato ferroso. Nesse caso, entretanto, em certas soluções nutritivas, como a de Hoagland é necessário, para que as plantas consigam absorver Fe, que ao se substituir a solução nutritiva omita-se o fósforo por alguns dias (Franco; Loomis, 1947). Assim, o sal de ferro na ausência do fosfato permanecerá solúvel, possibilitando a absorção de Fe pelo cafeeiro.

O cafeeiro tem tendência a emitir raízes acima do colo, ou seja, acima do nível da solução nutritiva. Essas raízes não devem ser mergulhadas pois se isso for feito, novas raízes surgirão logo acima no caule as quais, se forem também mergulhadas darão oportunidade ao aparecimento de outras logo acima e assim sucessivamente, até que o caule ficará mergulhado na solução.

As deficiências minerais traduzem-se em sintomas mais ou menos típicos, principalmente foliares, cujo conhecimento auxilia bastante na determinação do elemento ou elementos em deficiência. A morfologia e mesmo a anatomia da planta também são alteradas tanto pelas deficiências como pelos excessos de elementos minerais (Acorsi; Haag, 1959).

## **7.1. Sintomas de deficiências minerais**

### **7.1.1. Nitrogênio**

Clorose mais ou menos uniforme no limbo foliar, mais pronunciada às vezes ao longo da nervura central. As folhas novas são mais verdes, podendo mesmo serem verdes normais se a deficiência não for muito pronunciada.

A clorose de deficiência de N apresenta-se com maior ou menor intensidade na planta toda, dada a mobilidade desse elemento.

O desenvolvimento das raízes em relação ao da parte aérea é maior no caso da deficiência de N, ou seja, a relação parte aérea/raízes é menor do que nas plantas sãs. Plantas novas vegetando em meio deficiente em N tardam mais a emitir ramos.

### **7.1.2. Fósforo**

Sendo o cafeeiro, planta pouco exigente em P, os sintomas da deficiência desse elemento são uns dos últimos a se manifestarem em solução nutritiva, após a omissão do fósforo da solução. Se a solução nutritiva inicial for rica em fósforo, o fósforo absorvido durante o tempo que a planta nela vegetar será suficiente para o desenvolvimento normal da planta durante bastante tempo após a retirada do elemento da solução. Por essa razão, alguns autores não observaram sintomas foliares de deficiência de P (Jacob, 1938; Tanada, 1946). Tais sintomas caracterizam-se por áreas necróticas no limbo da folha. Estas podem ainda apresentar clorose e caem quando a deficiência é aguda.

### **7.1.3. Potássio**

Depois do nitrogênio é o potássio o elemento mais exigido pelo cafeeiro. Entretanto, muito antes de aparecerem sintomas foliares nítidos de deficiências desse elemento, a produção da planta já é grandemente afetada. Na deficiência de potássio as folhas apresentam primeiramente uma coloração amarelo-pardacenta nas margens. Essa coloração evolui para manchas pardas nítidas e irregulares, que mais tarde se tornam necróticas. Os sintomas aparecem a partir das folhas mais velhas.

### **7.1.4. Magnésio**

Os sintomas foliares da deficiência desse elemento caracterizam-se por uma clorose do parênquima entre as nervuras. São sempre as folhas mais velhas as primeiras a apresentarem os sintomas que progridem aos poucos para as mais novas. À medida que a deficiência se acentua, as folhas desprendem-se e caem com facilidade, por isso, a planta passa a apresentar folhas apenas nas extremidades dos galhos.

### **7.1.5. Cálcio**

Na deficiência de cálcio há um escurecimento e morte das gemas terminais. As folhas curvam-se para baixo como se o pecíolo tivesse perdido a necessária resistência. As pontas das raízes morrem logo no início do aparecimento dos sintomas. A seguir, manifesta-se nas folhas mais novas uma clorose mais intensa nas margens e que aos poucos progride para o limbo e se transforma numa coloração pardo-cobreada. As folhas mais velhas são as últimas a exibirem os sintomas. Finalmente, a planta morre sem, entretanto, soltar as folhas.

### **7.1.6. Ferro**

O ferro é um elemento cujo sintoma de deficiência é dos mais constantes entre as plantas. Também no cafeeiro os sintomas são os mesmos geralmente conhecidos nas outras espécies. As folhas apresentam uma clorose no parênquima, permanecendo, entretanto, as nervuras bem verdes. Esses sintomas aparecem nas folhas novas, sendo que as folhas velhas continuam normais. Distinguem-se os sintomas da deficiência de ferro daqueles da deficiência de enxofre, pelo fato de nesta última deficiência as nervuras não serem tão verdes como no caso da deficiência de ferro e também por não se restringirem com tanta evidência apenas às partes novas da planta.

### **7.1.7. Enxofre**

A deficiência de enxofre caracteriza-se por uma coloração amarelo-citrina das folhas mais novas. Estas, porém, se conservam túrgidas e com brilho característico de folhas novas. Não há, no caso de deficiência de enxofre, um contraste tão nítido entre a coloração amarela do parênquima e o verde das nervuras, como no caso da deficiência de ferro.

### **7.1.8. Zinco**

Os sintomas de deficiência de zinco apresentados pelo cafeeiro assemelham-se aos que ocorrem em macieira, pera, citros e outras espécies perenes, descritas na literatura. As folhas tornam-se de tamanho muito reduzido e podem apresentar clorose do parênquima. Como consequência do reduzido comprimento dos internódios, as folhas comumente se apresentam em “rosetas” nas extremidades dos galhos. Essas folhas, por vezes, se mostram retorcidas, com as margens laterais do limbo voltadas para a face ventral, tomando a forma de calha. Progredindo os sintomas há “die-back” dos galhos mais afetados. Os frutos formados são de tamanho reduzido e grande parte deles se apresentam chochos.

### **7.1.9. Boro**

Na deficiência de boro, as gemas apicais tornam-se dormentes ou morrem, conforme a severidade da deficiência. Aparecem áreas necróticas entre as nervuras das folhas muito novas, recentemente expandidas. Essas folhas afetadas mostram tendência de se tornarem com os bordos recurvados para cima. As folhas, de tamanho reduzido, podem apresentar manchas amareladas nas pontas. Em consequência da dormência ou morte das gemas apicais há formação de grande número de ramos laterais nos galhos em forma de “leque”.

### **7.1.10. Manganês**

A deficiência de manganês no cafeeiro tem sido pouco observada e estudada. Caracteriza-se por uma clorose do parênquima das folhas novas, deixando as nervuras e uma faixa estreita do parênquima longo das nervuras em um verde normal. Podem surgir manchas escuras pardacentas, principalmente nas margens das folhas. A deficiência

de manganês pode se apresentar em alguns solos de pH elevado ou como consequência do uso prolongado de adubos que deixam resíduos alcalinos, tais como o salitre do Chile.

Foi observado em ensaios de adubação mineral em solo do tipo podzolizado de Lins (SP) e Marília (SP), var. Marília\*, que o emprego do salitre do Chile, durante vários anos causou deficiência de Mn no cafeeiro (Moraes *et al.*, 1965). As folhas dos cafeeiros que recebiam aquele fertilizante apresentavam um teor de Mn de apenas 13 ppm, enquanto que o nível limiar de deficiência desse elemento é de 25 ppm.

### **7.1.11. Cobre**

A deficiência de cobre manifesta-se por pequenas manchas cloróticas no limbo das folhas novas. Essas folhas exibem tendência de se tornarem côncavas em consequência da curvatura de seus bordos para baixo. Quando as folhas atingem o tamanho normal, os tecidos ao longo das nervuras tornam-se gradualmente cloróticos e morrem.

## **7.2. Testes para identificação de deficiências de micronutrientes**

Os sintomas de deficiências, principalmente dos micronutrientes, nem sempre são tão claros e típicos de modo a não deixar dúvidas quanto ao elemento em falta. Há conveniência frequentemente de se obter confirmação, provocando uma reação mais ou menos rápida da planta. Isso pode ser conseguido de várias maneiras, entre as quais:

---

\* Argissolo Vermelho Distrófico Arênico, no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

### 7.2.1. Pulverização

Pulverizando a planta com uma solução contendo micronutrientes.

O método empregado por Camp (1952), tem se mostrado bastante eficiente. Consiste ele em pulverizar algumas plantas com uma solução contendo todos os micronutrientes e outras tantas plantas com essa mesma solução, menos um elemento de cada vez. A solução empregada por Camp é a seguinte:

ZnSO <sub>4</sub>	_____	5,9 g/L
MnSO <sub>4</sub>	_____	5,9 g/L
CuSO <sub>4</sub>	_____	5,9 g/L
Bórax	_____	2,4 g/L
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	_____	0,15 g/L

Apesar de Camp (1952) recomendar a adição de cal, o Instituto Agrônômico (IAC) tem usado essa solução sem cal em cafeeiros, sem que nenhum inconveniente tenha surgido.

### 7.2.2. Injeção foliar

Há interesse, às vezes, em se forçar a penetração do sal contendo o elemento nutritivo nos tecidos da folha. No caso de deficiência de ferro isso é mesmo necessário, pois esse elemento não é absorvido através da epiderme da folha.

Para o caso do cafeeiro e algumas outras plantas, o método do carborundo (Costa; Franco, 1951), tem se mostrado extremamente simples e eficiente.

Consiste esse método simplesmente, em se esfregar sobre a superfície da folha, uma mecha de algodão embebida na solução desejada e na qual se fez aderir por contato, certa quantidade de pó de carborundo. É a mesma técnica empregada pelos virologistas para a inoculação de vírus nos tecidos da folha. A pressão exercida sobre a folha deve ser muito leve para não a ferir.

O papel do carborundo é riscar muito de leve a cutícula da folha. Através das microscópicas incisões assim feitas, o Fe penetra nos tecidos da folha.

É conveniente que se trate metade da folha, à direita ou esquerda da nervura central e se deixe a outra metade como testemunha. A reação ao tratamento pode ser esperada entre 10 e 25 dias após o mesmo.

### **7.3. Correção de deficiências minerais**

As deficiências dos elementos N, P, K, Ca, Mg, S são comumente corrigidas pelas adubações minerais comuns, com adubos comerciais.

A deficiência de Fe no cafeeiro é geralmente temporária, na época de crescimento rápido. Não exige nenhuma providência, pois desaparece logo após ter a folha atingido o tamanho de adulta. Quando essa deficiência for permanente, caso muito raro, a razão é quase sempre indireta e reside principalmente no elevado pH do solo, como no caso de calagens excessivas.

Pulverizações com sais de ferro não resolvem, pois esse elemento é muito dificilmente absorvido por via foliar e não se mobiliza nos tecidos.

O cafeeiro Excelsa exhibe comumente uma clorose de ferro (Costa; Mendes, 1951), que não é, entretanto, causada pelo solo, mas parece ser uma deficiência do sistema radicular daquela espécie na absorção do Fe, pois quando enxertada sobre *C. arabica* suas folhas se tornam normais.

No caso da deficiência de zinco parece que ainda não se obteve resultado com a aplicação desse elemento no solo, sendo este de tipo argiloso.

Em solos arenosos o zinco pode ser aplicado ao solo, na forma de sulfato, na proporção de 20-40 g por planta.

Em solos argilosos a deficiência é normalmente controlada por pulverizações de sais solúveis de zinco nas folhas. Emprega-se geralmente o sulfato, na concentração de 4-6 g/litro de água. É importante que se procure pulverizar também a página inferior das folhas que absorve maior quantidade do sal (Malavolta; Arzola; Haag, 1956).

Segundo Bock, Robinson e Chamberlain (1958) a aspensão de fungicidas contendo mercúrio ou arsênico induziram deficiência de Zn em cafeeiros.

A análise foliar revelou:

Folhas de plantas pulverizadas com Hg \_\_\_\_\_ 3,6 ppm Zn

Folhas de plantas testemunhas \_\_\_\_\_ 14,0 ppm Zn

O efeito da pulverização com Zn, entretanto, é temporário, requerendo que ela seja repetida pelo menos anualmente.

A deficiência de boro tem sido controlada pela adição de ácido bórico ou bórax ao solo em proporções variáveis, geralmente entre 15 e 30 g/planta.

A pulverização de uma solução contendo 2,5 g/L de bórax ou de ácido bórico é também eficiente.

A deficiência de Mn não é comum. Pode ser observada em complexo com outras deficiências como consequência de pH muito elevado do solo e desaparecerão com a correção dessa anormalidade.

## 7.4. Toxicidade

Os elementos minerais podem, quando absorvidos em excesso, provocar efeitos nocivos às plantas. A absorção excessiva pode ser causada por uma aplicação em excesso, do elemento, na forma de adubação mineral ou por aumento na disponibilidade do elemento, já presente no solo, causada por alterações deste, mais frequentemente quanto à sua acidez. O primeiro caso é mais raro e talvez aos poucos, positivamente constatados em cafeeiros, sejam referentes ao boro.

É sabido que os limites de toxicidade do boro às plantas não estão muito afastados daqueles da deficiência e por isso, ao se aplicar boro ao solo, visando a cura da deficiência, um pouco de exagero nas quantidades aplicadas pode resultar em efeitos tóxicos às plantas.

Têm sido observados alguns casos de toxicidade de boro ao cafeeiro, especialmente em folhas de brotação nova, após o decote ou a recepa das plantas, em solos que receberam aplicação de boro. A causa de aparecimento dos sintomas nessas circunstâncias talvez seja a drástica alteração da proporção entre o volume de raízes (superfície de absorção) e superfície foliar. Os sintomas foliares de toxicidade de boro caracterizam-se por manchas cloróticas no parênquima foliar, deixando as nervuras e uma área irregular adjacente a elas, verdes normais. Em casos extremos pode haver necrose apical e marginal.

Os casos mais frequentemente observados de efeitos tóxicos de elementos minerais no cafeeiro têm sido referentes ao manganês. Esse elemento, muito abundante em vários solos é posto em excessiva disponibilidade pelo abaixamento do pH do solo, seja pelo empobrecimento deste em bases ou pela aplicação contínua de fertilizantes que deixam resíduos ácidos no solo, tais como o sulfato de amônio.

Moraes *et al.* (1965) observaram em solo do tipo podzolizado de Lins (SP) e Marília (SP), var. Marília (arenito Bauru, na denominação antiga) que onde aplicou-se o sulfato de amônio durante vários anos, o

teor de manganês nas folhas era de 1.200 ppm e notavam-se sintomas de toxicidade, enquanto que quando o solo vinha recebendo aplicações de ureia ou de nitrocálcio, aquele teor era respectivamente de 250 e 76 ppm.

Neste caso a calagem, feita com critério, eleva o pH do solo eliminando assim a excessiva disponibilidade do Mn, fazendo desaparecer os efeitos tóxicos. O excesso de manganês causa decréscimo de produção e os sintomas foliares observados são redução do tamanho das folhas e presença nestas, de grande número de pequeninas manchas ou pontuações cloróticas.

### 7.5. “Die-back”

O “die-back” não é uma moléstia, mas sim um sintoma que pode resultar de diferentes causas e ocorre em todas as regiões cafeeiras do mundo.

Algumas vezes ele é resultado de moléstias causadas por microrganismos, outras vezes é consequência de desequilíbrio fisiológico devido a condições climáticas ou características do solo desfavoráveis (Ananth *et al.*, 1960; Beckley, 1935; Bitancourt; Pinheiro, 1956, 1958; Frankel, 1963; Homewood, 1961; Malavolta *et al.*, 1958; Schweizer, 1939; Rayner, 1946).

A causa mais frequente do “die-back” no nosso país é a superprodução. Isso é atribuído ao fato de que uma produção muito grande de frutos esgota as reservas de carboidratos e de nitrogênio da planta, causando a morte dos ramos.

A expressão superprodução é relativa e não pode ser colocada em termos quantitativos. Assim por exemplo, um cafeeiro fraco, mal adubado, pode sofrer “die-back” em consequência de uma produção que seria bem suportada por uma planta vigorosa, bem adubada.

A suscetibilidade ao “die-back” varia com as diferentes variedades (Ribeiro, 1958).

Mesmo um cafeeiro vigoroso e sadio pode exibir “die-back” e isso acontece frequentemente, pois a planta pode ser bastante suscetível a esse distúrbio fisiológico, causado por uma falta de balanço entre a absorção de certos nutrientes (especialmente nitrogênio) e a quantidade de carboidrato presente na planta.

Durante a estação de crescimento, o excesso de nitrogênio absorvido pelas raízes é armazenado nos tecidos da planta na forma de nitratos.

Sob a ação da luz solar as folhas sintetizam carboidratos e o seu excesso, não imediatamente utilizado pela planta, é armazenado na forma de amido.

De acordo com os trabalhos de Cooil e Nakayama (1953), a quantidade de amido nas folhas do cafeeiro pode variar de 0,5% a mais de 25,0% do seu peso seco.

Durante os vários estágios de desenvolvimento do fruto do café, ambos, o amido e os nitratos, são utilizados para a síntese de proteínas e outros constituintes do fruto. Se a quantidade de frutos produzida for suficientemente grande para esgotar as reservas de amido ou de nitrogênio, ocorrerá a morte de folhas e até mesmo dos ramos mais carregados.

É preciso que haja um balanço entre a quantidade de radiação solar absorvida pelas folhas para a fotossíntese e a quantidade de nitrogênio disponível à planta.

Por essa razão os cafezais a pleno sol requerem adubações nitrogenadas mais pesadas do que os sombreados.

Tanada (1946) estudou o balanço em cafeeiros cultivados em solução nutritiva recebendo quantidades variáveis de nitrogênio e intensidades luminosas também variáveis.

O cafeeiro em seu habitat natural cresce sob sombra intensa de outras árvores e produz poucos frutos. O homem trouxe-o desse ambiente e submeteu-o a cultivo intenso, na maioria das vezes a pleno sol, forçando-o a produzir muito mais por meio de tratamentos culturais, inclusive adubações e seleção de plantas mais produtivas.

Nessas condições o cafeeiro é levado a produzir maior quantidade de frutos do que as suas condições fisiológicas poderiam suportar sem prejuízo para as partes vegetativas, já que na competição nutricional entre as partes vegetativas e os frutos, estes levam vantagem.

O “die-back” devido à superprodução é geralmente considerado pelos fisiologistas como uma ocorrência normal nas culturas de café (Small, 1920; Dean; Beaumont, 1943; Sylvain, 1952b, 1958b; Beaumont; Fukunaga, 1958; Müller, 1960; Burdekin, 1964; Trench; Beckeley, 1935).

Aquele “die-back” ocorre mesmo no Havaí, onde os cafeeiros recebem trato esmerado e adubação de mais de 2 kg de adubos minerais por planta e por ano, resultando na produção média de 2.260 kg/ha/ano.

A esse respeito, Beaumont e Fukunaga (1958), da Estação Experimental de Agricultura do Havaí, afirmaram: “a produção alternada, ou seja, o fato do cafeeiro produzir uma grande colheita em um ano e pequena no ano seguinte, parece ser uma característica daquela planta em todo o mundo. O hábito de produção do cafeeiro no Havaí não faz exceção a essa regra, pois uma produção pesada em um ano é sempre acompanhada por severa perda de folhas, frutos pequenos queimados do sol e mesmo o “die-back” dos ramos laterais e frequentemente até mesmo dos ramos verticais”.

Sylvain (1952b) estudando o “die-back” fisiológico na América Central mostrou que ele é causado pela exaustão do nitrogênio e do carboidrato na planta, conseguindo mesmo reproduzir experimentalmente aquele distúrbio, em condições controladas.

O “die-back” de superprodução pode ser amenizado por meio de adubações e tratos culturais adequados, mas não se consegue eliminá-lo completamente.

## REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, J. Estrangulamento da haste do cafeeiro. **O Biológico**, v. 20, n. 2, p. 32-36, 1954.

ACCORSI, W. R.; HAAG, H. P. Alterações morfológicas e citológicas do cafeeiro cultivado em solução nutritiva decorrentes das deficiências e excessos dos macronutrientes. **Revista do Café Português**. v. 6, n. 23, p. 5-19, 1959.

ALVIM, P. T. Algunos estudios sobre la fisiologia del cafeto. **Suelo Tico**, v. 8, n. 29, p. 52-61, 1953.

ALVIM, P. T.; HAVIS, J. R. An improvised infiltration series for studying stomatal opening as illustrated with coffee. **Plant Physiol.**, v. 29, p. 97-98, 1954.

ALVIM, P. T. Advances in coffee production technoly. Recent advances in our knowledge of coffee trees. I Physiology. **Coffee & Tea Ind. Flav.**, v. 81, n. 11, p. 17-25, 1958.

ALVIM, P. T. Fisiologia del crecimiento y de la floración del cafeto. **Cafe**, v. 2, n. 6, p. 57-64, 1960.

ANANTH, K. C.; GEORGE, K. V.; NARASIMHASWAMY, R. L.; CHOKKANNA, N. G. Die-back of coffee - outlook and observations. **Indian Coffee**, v. 24, n. 6, p. 238-245, 1960.

BACCHI, O. A seca da semente de café ao sol. **Bragantia**, v. 14, p. 225-236, 1955.

BACCHI, O. Novos ensaios sobre a seca da semente de café ao sol. **Bragantia**, v. 15, p. 83-91, 1956.

BACCHI, O. Estudos sobre a conservação de sementes. IV - Café. **Bragantia**, v. 17, p. 262-270, 1958.

BACCHI, O. Equilíbrio higroscópico das sementes de café, fumo e várias hortaliças. **Bragantia**, v. 18, p. 225-232, 1959.

BEAUMONT, H. H.; FUKUNAGA, E. T. Factors affecting growth and yield of coffee in Kona, **Hawaii Agr. Exp. Sta. Bull.** v. 113, 39 p., 1958.

BECKLEY, V. A. Observation on coffee in Kenya. (I): Chlorosis and die back in coffee. **Empire Journal of Experimental Agriculture**, v. 3, n. II, p. 203-209, 1935.

BITANCOURT, A. A.; PINHEIRO, E. D. A seca dos ponteiros do cafeeiro na presente estação. **O Biológico**, v. 22, n. 8, p. 140-142, 1956.

BITANCOURT, A. A.; PINHEIRO, E. D. Um inquérito sobre a seca dos ramos do cafeeiro. **O Biológico**, v. 24, n. 2, p. 19-22, 1958.

BOCK, K. R.; ROBINSON, J. B. D.; CHAMBERLAIN, G. T. Zinc deficiency induced by mercury in *Coffea arabica*. **Nature**, v. 182, p. 1607-1608, 1958.

BURDEKIN, D. A. Lyamungu die back of arabica coffee in Tanganyika. **Ann. Appl. Biol.** v. 53, n. 2, p. 281-289, 1964.

CAMARGO, A. P.; ORTOLANI, A. A.; RODRIGUEZ, O.; GODOY, H. Efeito da cobertura do terreno em laranjal sobre as temperaturas extremas do ar. **Bragantia**, v. 20, p. XI-XVII, 1961.

CARVAJAL, J. F.; ACEVEDO, A. C.; LOPES, C. A. Nutrient upstake by the coffee tree during a yearly cycle. **Turrialba**, San José, v. 19, n. 1, p. 13-20, 1969.

CASTILLO, Z. J. **Ensayo de análisis del crecimiento en café**. Cenicafe, v. 12, n. 1, p. 1-16, 1961.

CASTRO, F. S. Algunas observaciones sobre el sistema radicular del *Coffea arabica* L. **Rev. Cafetera de Colombia**, v. 10, n. 120, p. 3604-3612, 1951.

CASTRO, F. S. **Distribución de las raíces del *Coffea arabica* L. en un suelo franco-limoso**. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchina. Colombia, 1953. v. 1, n. 12, p. 1-28. (Boletín Técnico)

CATANI, R. A.; PUPO DE MORAES, F. R. A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, v. 33, n. 1, p. 45-52, 1958.

COOIL, B. J.; NAKAYAMA, M. **Carbohydrate balance as a major factor affecting yield of the coffee tree**. Hawaii Agric. Exp. Sta., University of Hawaii. Progress Notes n. 91. 1953. 16 p.

COSTA, A. S.; FRANCO, C. M. A virus technique useful to diagnose foliar deficiencies. **Plant Physiol.**, v. 26, n. 3, p. 625-628, 1951.

COSTA, A. S.; MENDES, J. E. T. Clorose das folhas do cafeeiro Excelsa. **Bragantia**, v. 11, n. 7-9, p. 223-226, 1951.

DAFFERT, F. W.; TOLEDO BRAGA. **Sobre as substâncias minerais do cafeeiro. B - Relação de peso das partes singulares do cafeeiro**. Relatório Secret. Agric. Com. Obr. Publi. S. Paulo. 1917.

DARWIN, F. Observations on stomata. IX - **Phil. Trans.**, ser. B, v. 190, p. 531-621, 1898.

DEAN, L. A.; BEAUMONT, J. H. **Agricultural science on the war front**. Hawaii Agric. Exp. Sta. Ann. Rep. 1941, v. 42, p. 96-97, 1943.

DEUEL, H.; STUTZ, E. Pactic substances and pactic enzymes. **Adv. Enzim**, v. 20, p. 341-382, 1958.

DIXON, H. H. **Transpiration and the ascent of sap in plants**. London: Macmillan, 1914. 216 p.

DRUMMOND, O. A. Etiologia da “canela seca” do cafeeiro. **Bol. Agric.**, Minas Gerais, v. 5, n. 1-2, p. 29-38, 1956.

FRANCO, C. M. Sobre a fisiologia dos estômatos do cafeeiro. **Anais...** 1ª Reunião Sul Americana de Botânica, Rio de Janeiro, v. 3, p. 293-297, 1938.

FRANCO, C. M. Relation between stomata number and chromosome in *Coffea*. **Bot. Gaz.**, v. 100, n. 4, p. 817-827, 1939.

FRANCO, C. M. Fotoperiodismo em cafeeiro *C. arabica* L. **Revista Instituto de Café**, v. 174, p. 1586-1592, 1940.

FRANCO, C. M. A fermentação do café é um processo bacteriano. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, v. 19, n. 205, p. 250-256, 1944.

FRANCO, C. M. **Influência do pergaminho sobre a germinação de sementes de café**. Relatório Seção de Fisiologia do Instituto Agrônomo do Est. de São Paulo, 1946, 7 p. (Datilografado)

FRANCO, C. M.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 6, n. 9, p. 443-478, 1946.

FRANCO, C. M.; LOOMIS, M. E. The absorption of phosphorus and iron from nutrient solutions. **Plant Physiol.**, v. 22, n. 4, p. 627-634, 1947.

FRANCO, C. M.; MENDES, H. C. Sintomas de deficiências minerais no cafeeiro. **Bragantia**, v. 9, n. 9-12, p. 165-173, 1949.

FRANCO, C. M.; INFORZATO, R. Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro cultivado ao sol. **Bragantia**, v. 10, n. 9, p. 247-257, 1950.

FRANCO, C. M. A água do solo e o sombreamento dos cafezais na América Central. **Bragantia**, v. 11, n. 4-6, p. 99-119, 1951.

FRANCO, C. M.; INFORZATO, R. Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro sombreado e pelo ingazeiro. **Bragantia**, v. 11, n. 4-6, p. 121-125, 1951.

FRANCO, C. M. A água do solo e o sombreamento dos cafezais em São Paulo. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, n. 299, p.10-19, 1952.

FRANCO, C. M. Descoloração em folhas de cafeeiro causada pelo frio. **Bragantia**, v. 15, n.13, p. 131-135, 1956.

FRANCO, C. M. Rescard on coffee - plant physiology at the Earhart Laboratory, California Institute of Technology. **Progress Report**. n. 1, p. 1-16; n. 2, p. 1-11; n. 3, p. 1-5; n. 4, p. 1-11; n. 5, p. 1-11, 1956-1957.

FRANCO, C. M. **Influence of temperature on growth of coffee plant**. IBEC Research Institute, p. 1-24, 1958.

FRANCO, C. M. Estrangulamento do caule do cafeeiro causado pelo frio. **Bragantia**, v. 19, n. 32, p. 515-521, 1960a.

FRANCO, C. M. A eliminação da substância péctica do café despolpado é causada por microrganismos. **Bragantia**, v. 19, p. 621-626, 1960b.

FRANCO, C. M. Lesão do colo do cafeeiro, causada pelo calor. **Bragantia**, v. 20, n. 24, p. 645-652, 1961.

FRANCO, C. M.; MAGALHÃES, A. C. Techniques for the measurement of transpiration of individual plants. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE METHODOLOGY OF PLANT ECO-PHYSIOLOGY, 1962, Montpellier, France, **Proceedings...** Montpellier: UNESCO, 1965. p. 211-224.

FRANKEL, W. Unknown dieback in Tanganyika. **Kenya Coffee**, v. 28, n. 325, p. 21-25, 1963.

GUISCAFRE-ARRILAGA, J.; GÓMEZ, L. A. Studies of the root system of *Coffea arabica* L. Part I. - Environmental condition affecting the distribution of coffee roots in coloso clay. **The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 22, n. 2, p. 227-262, 1938.

GUISCAFRE-ARRILAGA, J.; GÓMEZ, L. A. Studies of the root system of *Coffea arabica* L. Part. II - Growth and distribution in Catalina clay soil. **The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 24, n. 3, p. 109-117, 1940.

GUISCAFRE-ARRILAGA, J.; GÓMEZ, L. A. Studies of the root system of *Coffea arabica* L. Part. III - Growth and distribution of roots of 21-year-old trees in Catalina clay soil. **The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 26, n. 2, p. 34-39, 1942a.

GUISCAFRE-ARRILAGA, J.; GÓMEZ, L. A. Effect of solar radiation intensity on the vegetative growth and yield of coffee. **The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 26, n. 4, p. 73-90, 1942b.

HOMWOOD, G. S. Troubles in Coffee. **Indian Coffee**, v. 25, n. 3, p. 101-103, 1961.

HUBER, B. Zur Methodik der transpirations be stimmung am Standort. **Ber. Deutsch. Bot. Ges.**, v. 45, p. 611-618, 1927.

HUERTA, S. A. **La influencia de la intensidad de luz en la eficiencia asimilatoria y el crecimiento del cafeto.** 1954. Tesis sin publicar. Turrialba, C. R. Inst. Ci. Agr. 1954. 69 p. (mimeografado)

JACOB, J. C. S. Voedings physiologische orderzoekin - gen biy *Coffea arabica*, I. **Arch. Koffecult.** Nederl. Indie, v. 12, n. 1, p. 1-48, 1938.

JURION, F. **La brulure des caféiers.** Institut Nacional pour l'étude Agronomique du Congo Belge, Série scientifique, v. 6, p. 3-19, 1936.

KERTESZ, Z. I. **The pectic substances.** New York Interscience Publishers, Inc. XVI, 1951. 628 p.

MACHADO, A. S. **Influencia del sombrio, el suelo y las practicas de cultivo en el desarrollo del cafeto en sus primeros meses de vida propia.** Experimento preliminar. Centro Nasc. Invest. de Café, Chinchiná, Colombia. v. 1, n. 1, 1946, 32 p.

MAESTRI, M.; VIEIRA, C. Movimento de estômatos em café sob condições naturais. **Ceres**, v. 10, n. 59, p. 324-331, 1958.

MALAVOLTA, E.; ARZOLLA, J. D. P.; HAAG, H. P. Preliminary note in the absorption of radiozinc by young coffee plants growing in nutrient solution. **Phyton** (Argentina), v. 6, n. 1, p. 1-6, 1956.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL GOMES, F.; COURY, T. **Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro *Coffea arabica* L., variedade Bourbon Vermelho. I. Resultados preliminares.** Piracicaba: Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", 1958. 19 p. (Boletim, 14)

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL GOMES, F.; COURY, T. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XI. Extração de macro e micronutrientes, na colheita, pelas variedades Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e Mundo Novo. **Turrialba**, v. 13, n. 3, p. 188-189, 1963.

MAMPRIM, O. Tipo de semente para o cafeeiro. **Rev. Agric. Piracicaba**, v. 22, p. 109-118, 1947.

MATHEW, P. K.; CHOKKANNA, N. G. Studies on the intake of water and nutrients during development of flower buds to blossoms in coffee. **Indian Coffee**, v. 25, p. 264-271, 1961.

MEDCALF, J. C. **Preliminary study on mulching on young coffee in Brazil**. IBEC-Res. Inst., 1956. 47 p. (Boletim, 12)

MELO, J. C. Café - Campinas. *In*: AMARAL, L. (org.) **A cidade de Campinas em 1900**. Campinas, Casa Livro Azul, 1899. p. 99-103.

MES, M. G. Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. III - Various phenomena associated with the dormancy of coffee flower buds. **Portugaliae Acta Biologica**, Serie A, v. 5, n. 1, p. 25-44, 1957.

MES, M. G. **Physiological studies on *Coffea arabica* L.** Report IBEC Res. Inst., (s.d.). 50 p. (mimeografado)

MORAES, F. R. P. de. **Adubação do cafeeiro**. Campinas: Instituto Agrônomico, 1963. 9 p. (mimeografado)

MORAES, F. R. P. de; CATANI, R. A. A absorção de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante sua formação. **Bragantia**, v. 23, n. 26, p. 331-336, 1964.

MORAES, F. R. P. de *et al.* **Coffee fertilizing experiments with various sources of nitrogen**. FAO, Technical Working Party on Coffee Production and Protection, First Session, Brazil, October 1965. Working Paper CE/65/70. 2 p., 1965. (mimeografado)

MÜLLER, L. E. **La fisiologia del cafeto**. In: Reunión Técnica Interamericana de Café, 1, Bogotá, Colombia. Bogotá, Federación Nacional de Cafeteros. Doc. 5 Fisiologia - p. 1-22, 13, 24, 25-29, 30-38, 39-41, 1960.

NUNES, M. A.; BIERHUIZEN, J. P.; PLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. **Acta Bot. Neerl.**, v. 17, n. 2, p. 93-102, 1969.

NUTMAN, F. J. The root system of *Coffea arabica*. Parts I and II. **Empire Jour. Exp. Agric.**, v. 1, p. 271-284; 285-296, 1933.

NUTMAN, F. J. The root system of *Coffea arabica*. Part III. The espacial distribution of the absorbing area of the root. **Empire Jour. Exp. Agric.**, v. 2, p. 293-302, 1934.

NUTMAN, F. J. Studies of the physiology of *Coffea arabica*: I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. **Annals of Botany**, London, v. 1, n. 3, p. 353-367, 1937a.

NUTMAN, F. J. Studies of the physiology of *Coffea arabica*: II. Stomatal movements in relation to photosynthesis under natural conditions. **Annals of Botany**, London, v. 1, n. 4, p. 681-693, 1937b.

NUTMAN, F. J. Studies on the physiology of *Coffea arabica*: III. Transpiration rates of whole trees in relation to natural environmental conditions. **Annals of Botany**, London, v. 5, n. 17, p. 59-81, 1941.

PEREIRA JUNIOR, J. Método rápido de liberação da mucilagem do café despulpado pela ativação de suas próprias enzimas. I. Esterases pancreáticas e ativadores catiônicos na degomagem do café despulpado. **Arch. Inst. Biol.**, São Paulo, v. 23, p. 79-86, 1956.

PEREIRA JUNIOR, J. Método rápido de liberação da mucilagem do café despulpado pela ativação de suas próprias enzimas. II. Degomagem rápida do café despulpado em contraste com a fermentação prolongada: mucilagem bruta liberada. **Arch. Inst. Biol.**, São Paulo, v. 24, p. 93-103, 1957.

PEAFF, F. **Über den Betrag der Verdunstung Eiche während der ganzen vegetations periode.** S. B. baver. Akad. Wiss., München, v. 1, p. 27. 1870.

PIRINGER, A. A.; BORTHWICK, H. A. Photoperiodic responses of coffee. **Turrialba**, v. 5, n. 3, p. 72-77, 1955.

RAYNER, R. W. **Annual report of the plant physiologist and pathologist (Coffee Services), 1945.** Kenya Department of Agriculture Annual Report, p. 55-61, 1946.

RIBEIRO, J. Estudo preliminar sobre a incidência do secamento de ponteiros ou “die back” em algumas variedades de cafeeiro *Coffea arabica* L. **Ceres**, v. 10, n. 59, p. 413-421, 1958.

RIBEIRO, O. Efeito das radiações ultravioleta e infravermelho sobre as sementes do café. **DNC**, v. 22, n. 128, p. 201-204 1944.

SCHWEIZER, J. On leaf function of cultivated plants during one growing cycle. (in Dutch). **De Belgcultures**, v. 13, n. 47, p. 413-421, 1939.

SMALL, W. **Die back of *Coffea arabica* in Uganda.** Circ. Department of Agriculture (Uganda), v. 4, p. 1-25, 1920.

SYLVAIN, P. G. **Effect of shade upon growth and differentiation of coffee seedlings as expressed by physical measurements and chemical composition.** Inter-American Inst. Agric. Sci. Turrialba, Costa Rica. 1952a. 15 p. (mimeografado)

SYLVAIN, P. G. **Studies on die back**. Final Report. Inter-American Institute for Agricultural Sciences, Turrialba, Costa Rica. 1952b. 15 p. (mimeografado)

SYLVAIN, P. G. **La asimilación del carbono e fotosíntesis del *Coffea arabica* L.** Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, Turrialba, Costa Rica, 1958a. 13 p. (mimeografado)

SYLVAIN, P. G. **Algunos transtornos fisiológicos del cafeto**. Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, Turrialba, Costa Rica, 1958b. 24 p. (mimeografado)

TANADA, T. Utilization of nitrates by coffee plant under different sunlight intensities. **J. Agric. Res.**, v. 72, n. 7, p. 245-258, 1946.

TRENCH, A. D. **Hot and cold disease**. Kenya Depart. Agric. Nairobi, Bull. n. 14, 1932.

TRENCH, A. D. **Preliminary observation on coffee roots in Kenya**. Kenya Depart. Agric. Bull. n. 2, p. 1-10, 1934.

TRENCH, A. D.; BECKLEY, V. A. Observations on coffee in Kenya. **Empire Jour. Exp. Agric.**, v. 3, n. 11, p. 203-309, 1935.

VAZ, J. A. T. **Etude du système racinaire du cafeeiro en Angola**. Junta de Exportação de Café, 1960. p. 1-24.

VIEIRA DA SILVA, J. Contribuição para los estudios de los sistemas radiculares del cafeto y del cacao en algunos suelos de San Tomé. **Estud. Agron.**, Lisboa, v. 1, n. 3, p. 225-258, 1960.

WENT, F. W. The experimental control of plant growth. Waltham, Massachusetts., **Chronica Botanica Co.**, 343 p., 1957.



Coaracy de Moraes Franco

## Instituto Agronômico

Av. Barão de Itapura, 1.481  
13020-902 - Campinas (SP) BRASIL  
Fone: (19) 2137-0600

[www.iac.sp.gov.br](http://www.iac.sp.gov.br)



Secretaria de  
**Agricultura e Abastecimento**



**SÃO PAULO**  
GOVERNO DO ESTADO  
SÃO PAULO SÃO TODOS