

1. Classificação INPE-COM.2/NTI C.D.U. 621.38SR:581.1/.4		2. Período	4. Critério de Distribuição: interna ☒ externa ☐
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) TEMPERATURA IMAGENS TERMAIS			
5. Relatório nº INPE-1368-NTI/116	6. Data Outubro, 1978	7. Revisado por Antonio Tebaldi Tardin	
8. Título e Sub-Título A TEMPERATURA DAS PLANTAS E AVALIAÇÃO DE CULTURAS ATRAVÉS DE IMAGENS TERMAIS.		9. Autorizado por Nelson de Jesus Parada Diretor	
10. Setor DSR	Código	11. Nº de cópias 7	
12. Autoria Liane A.M. Lucht César C. Ghizoni		14. Nº de páginas 33	
13. Assinatura Responsável Liane Lucht.		15. Preço	
16. Sumário/Notas A classificação de culturas por Sensoriamento Remoto é de grande importância na estimativa de produção. Atualmente toda a classificação é feita com imagens no visível e infra-vermelho próximo. A extensão para outras regiões espectrais é altamente desejável dadas as deficiências inerentes, impostas pelo emprego de uma faixa espectral limitada. Neste trabalho estudamos a temperatura das plantas e seu relacionamento com a anatomia e fisiologia do vegetal. Diferentes plantas, ou diferenças organo-funcionais numa mesma cultura, causam diferentes comportamento térmico. Isto sugere, a viabilidade do uso de imagens termais como complemento na identificação e classificação de culturas por Sensoriamento Remoto. Também concluímos que tais diferenças são muito mais perceptíveis nas horas finais do dia. Finalmente, propomos uma classificação preliminar das plantas, com relação às suas temperaturas, baseada nos resultados teóricos e em dados experimentais de grandezas fisiológicas.			
17. Observações			

ABSTRACT

In this paper we present a theoretical study of the plant temperatures based upon the energy balance between the plant and its environment. The dependence of the temperature on the physiological and environmental parameters suggests the viability of using thermal imagery in the classification of crop canopies, since different plant species or organic functioning differences within a crop variety provoke dissimilar thermal behavior. We also conclude that these differences are best detected in the late hours of the day.

ÍNDICE

ABSTRACT	<i>iv</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>v</i>
1. INTRODUÇÃO	1
2. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DAS PLANTAS A PARTIR DA EQUAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO	3
3. DISCUSSÃO DA DEPENDÊNCIA DA TEMPERATURA NOS PARÂMETROS FI SIOLÓGICOS E DE TEMPERATURA DE CALOR	8
4. PROPOSIÇÃO PARA UMA CLASSIFICAÇÃO DE CULTURAS ATRAVÉS DE SUAS TEMPERATURAS	12
BIBLIOGRAFIA	17

LISTA DE FIGURAS

1 - Diagrama Esquemático da Interface Folha Ambiente	18
2 - Diagrama Esquemático das Resistências de Difusão Externas e Internas	19
3 - Variação do Fluxo Solar no Transcorrer do Dia	20
4 a 10 - Variação das diferenças de temperatura (δT) com a resistência de difusibilidade térmica da folha (R_f), para os horários e R_a indicados.....	21 a 27
10 a 12 - Superfícies (δT) para horários e demais parâmetros indicados	28 a 29

1. INTRODUÇÃO

A temperatura é, sem dúvida, um dos indicadores qualitativos das diferenças existentes entre as plantas. Sendo associada a um melhor entendimento dos processos de transferência de calor com o ambiente, poderá ser útil na aquisição de dados quantitativos para caracterização de situações de interesse agrícola, como estimativa de produção, determinação do grau de normalidade ou anormalidade das culturas etc.

Os métodos comuns de medidas de temperatura apresentam sérios problemas de amostragem, além do que possibilitam um aumento do erro experimental pela interferência direta do aparelho medidor sobre a planta. Estas dificuldades podem ser superadas por Sensoriamento Remoto, pelo uso de medidas da radiação térmica, feitas à distância, sem interação do instrumento com os alvos.

Todos os objetos a temperaturas acima de zero grau absoluto emitem energia. Para os organismos biológicos esta radiação está compreendida inteiramente na região do infra-vermelho. A eficiência da emissão é determinada pelas características da superfície e por uma constante de emissividade ϵ . A lei da radiação é equacionada por,

$$R = \epsilon \sigma T^4$$

onde

T é a temperatura absoluta

σ é a constante de Stefan-Boltzmann e

ϵ é a emissividade média na região espectral considerada.

Na região do visível e infra-vermelho próximo a radiação refletida pelas plantas é dominante, esta reflectância está diretamente relacionada ao conteúdo clorofílico e à estrutura interna das

folhas. Pelo fato de que normalmente se trabalha com plantas verdes, a amplitude da reflectância pode ser relacionada à quantidade de pigmentos na planta. Devemos enfatizar, porém, que a variação na quantidade de clorofila pode resultar de várias causas como maturação, salinidade e doenças, sendo, por si só, um parâmetro insuficiente para avaliar determinadas culturas.

Com o aumento do comprimento de onda a quantidade de radiação refletida diminui, tornando-se cada vez maior a radiação emitida que é, como vimos, uma função da temperatura da superfície e da emissividade das plantas.

No infra-vermelho termal a emissividade dos vegetais é aproximadamente 1, dadas as suas estruturas moleculares complexas. Isto sugere que, para a avaliação de culturas através de imagens termais, a temperatura assume importância fundamental.

A temperatura da planta determina a magnitude e direção das trocas de calor por convecção e por mudanças de fase da água presente na planta além de ser determinante na emissão de radiação. O conhecimento de tal grandeza, e de como a mesma depende dos diversos fatores envolvidos nos processos fisiológicos, é, portanto, de grande importância e essencial para o entendimento da interação da planta com o ambiente.

A temperatura da planta influencia cada um dos componentes dos processos de transferência de calor de maneira diferente: Convecção e condução são proporcionais à diferença de temperatura entre planta e meio. A pressão de saturação de vapor segue uma lei exponencial e a perda de calor por radiação, no infra-vermelho, conforme a lei da radiação, aumenta com a quarta potência da temperatura.

Tais dependências quando substituídas na expressão para o balanço energético originam uma equação para a temperatura da planta. Essa equação é entretanto transcendental e uma solução analítica

não é possível. No capítulo seguinte apresentamos uma solução aproximada para a temperatura da folha.

2. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DAS PLANTAS A PARTIR DA EQUAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO.

As plantas absorvem energia na faixa do visível através de interação com a radiação recebida do Sol. Parte desta energia é dissipada como calor sensível, parte como calor latente e parte é envolvida nos processos metabólicos. Os componentes individuais são trocas de calor sensível (C) e calor latente (λE) com a atmosfera, troca de calor sensível com a vegetação e o solo (G) e conversões em energia química (aA) envolvida na fotossíntese e respiração das plantas. Invocando um princípio geral, o da conservação de energia, e adotando a convenção de que os fluxos para dentro da superfície das folhas são positivos, a seguinte equação pode ser escrita (Slatyer, R.O)

$$R_n + C + \lambda E + G + aA = 0 \quad (1)$$

onde λ e a são o calor latente de vaporização da água (540 cal/g) e o coeficiente de armazenamento de energia química (~ 3600 cal/g), respectivamente.

Em geral o termo aA é muito pequeno face a R_n , λE e C , podendo ser desprezado. Na grande maioria dos casos podemos também desprezar G (Raschke, K 1960) de modo que a equação (1) fica reduzida a

$$R_n + \lambda E + C = 0 \quad (2)$$

Tal equação é usada para a determinação da temperatura da planta dado que todos os seus componentes (R_n , λE e C) dependem da temperatura, como veremos a seguir.

a) Calor sensível (C)

Este termo é devido à condução de calor entre a planta com uma temperatura (T_f) e o ar ambiente na temperatura (T_a).

Como é bem conhecido, C é expresso por

$$C = C_p \rho_a \frac{T_f - T_a}{r_a} \quad (3)$$

onde:

C_p é o calor específico do ar em pressão constante ($\text{cal/g}^\circ\text{K}$),

ρ_a é a densidade do ar úmido (g/cm^3) e

r_a é uma resistência efetiva à difusão térmica da camada limite (Raschke, K. 1960) vide Figura 1 para definição dos termos.

Tais resistências são externas às folhas em si e dependem das condições ambientais.

b) Calor latente (λE): Evaporação.

A transpiração das plantas envolve transferência de vapor de água ao longo de um gradiente entre as concentrações das superfícies evaporadoras internas das folhas e ar que as envolvem. A quantidade de calor depende portanto da diferença entre as pressões de vapor dentro da folha e no ar, e é dado por (Raschke, K ; 1960).

$$\lambda E = \frac{\rho_a C_p (p_f - p_a)}{(r_a + r_f)} \quad \frac{1}{a} \quad (4)$$

onde:

$(p_f - p_a)$ é a diferença entre pressões de vapor,

r_f resistência de difusão interna da folha e $\frac{1}{a}$ é um fator de conversão do gradiente de concentração em diferença de pressão. Possui um valor aproximadamente igual 0.5 (Raschke, K.; 1960).

Na Figura 2 mostramos um diagrama esquemático das resistências de difusão externas e internas.

Para as finalidades as quais nos propomos, $(p_f - p_a)$ deverá ser expressa em função da diferença de temperaturas entre a planta (T_f) e o ar (T_a). A pressão de vapor é relacionada à temperatura através da expressão.

$$p = p_0 \exp \left(- \frac{\ell}{RT} \right) \quad (5)$$

onde

p_0 é uma constante
 ℓ o calor latente molar
 R a constante dos gases
 T a temperatura absoluta

Considerando pequenas variações de temperatura e pressão, isto é $\delta T \ll T_f$ e T_a , e $\delta p \ll p_f$, p_a e referindo-nos a Figura 1, podemos escrever

$$p_f - p_a = p_f - p_{cl} + p_{cl} - p_a$$

com p_{cl} sendo a pressão de saturação de vapor na camada limite. Sendo μ a umidade do ar, escrevemos

$$p_{cl} - p_a = (1 - \mu) p_{cl} \quad (6)$$

Levando em consideração que a diferença entre p_f e p_{cl} é unicamente devida à diferença de temperatura entre a folha e o ar, $T_f - T_a$, que é por hipótese muito pequena, podemos aproximar os quocientes entre diferenças por quocientes diferenciais.

Isto é:

$$\frac{\delta p}{\delta T} \approx \frac{dp}{dT}$$

Então, usando a equação 5, temos

$$\frac{\delta p}{\delta T} \approx \frac{dp}{dT} = \frac{\ell}{RT_a^2} p_{cl}(T_a),$$

ou

$$\delta p = p_f - p_{cl} \approx \frac{\ell}{RT_a^2} p_{cl}(T_a) (T_f - T_a)$$

Denominando a diferença entre temperaturas da folha e do ar por $\delta T = T_f - T_a$, temos:

$$p_f - p_a = (1 - \mu) p_{cl} + \frac{\ell}{RT_a^2} p_{cl} \cdot \delta T \quad (7)$$

Substituindo o resultado (7) na equação (4) para a evaporação

$$\ell E = \left[(1 - \mu) p_{cl} + \frac{\ell}{RT_a^2} p_{cl} \delta T \right] \frac{\rho_a C_p}{r_a + r_f} \quad (8)$$

Observe-se que p_{cl} é a pressão de saturação de vapor d'água na temperatura do ar.

c) Radiação (R_n)

A diferença entre a quantidade de energia absorvida e aquela emitida, no infra-vermelho termal, é cedida nas formas de calor sensível e calor latente expressos pelas equações (3) e (8), respectivamente. Assim sendo, R_n é dada por

$$R_n = Q_{abs} - R_{emitida},$$

com Q_{abs} sendo a energia absorvida, no visível principalmente, e $R_{emitida} = \epsilon \sigma T_f^4$, com ϵ sendo a emissividade T_f , a temperatura da folha e σ , a constante de Stefan Boltzmann ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{watts}}{\text{cm}^2 \cdot \text{K}^4}$).

Em termos de $\delta T = T_f - T_a$, temos $T_f = \delta T + T_a$, então:

$$R_{emitida} = \epsilon \sigma (T_a + \delta T)^4 \approx \epsilon \sigma T_a^4 + 4 \epsilon \sigma T_a^3 \delta T$$

com a aproximação de que $\delta T \ll T_a$.

Finalmente,

$$R_n \approx Q_{abs} - (\epsilon \sigma T_a^4 + 4 \epsilon \sigma T_a^3 \delta T) \quad (9)$$

Resumindo os resultados (3), (8) e (9), na equação do balanço de energia (2), temos uma equação para $\delta T = T_f - T_a$

$$Q_{abs} = \epsilon \sigma T_a^4 + 4 \epsilon \sigma T_a^3 \delta T + \frac{C_p \rho_a}{r_a} \cdot \delta T$$

$$+ \frac{\rho_a C_p}{a(r_a + r_f)} \cdot \left[(1 - \mu) P_{cl} + \frac{\ell}{RT_a^2} P_{cl} \delta T \right]$$

Resolvendo para δT , obtemos a equação:

$$\delta T = \frac{(Q_{abs} - \epsilon \sigma T_a^4) - (1 - \mu) p_{cl} \rho_a C_p / (r_a + r_f) a}{4\epsilon \sigma T_a^3 + \frac{C_p \rho_a}{r_a} + \frac{\ell \rho_a C_p p_{cl}}{R T_a^2 (r_a + r_f) a}} \quad (10)$$

que relaciona a temperatura da folha $T_f = T_a + \delta T$ com as várias grandezas fisiológicas e de transferência de calor.

A equação acima (10) pode ser reescrita numa forma mais conveniente para os cálculos numéricos.

$$\delta T = \frac{A (r_a + r_f) - B}{C + \left(\frac{\rho_a C_p}{r_a} + 4 \epsilon \sigma T_a^3 \right) (r_a + r_f)} \quad (11)$$

onde:

$$A = Q_{abs} - \epsilon \sigma T_a^4$$

$$B = (1 - \mu) p_{cl} \frac{\rho_a C_p}{a}$$

$$C = \frac{\ell p_{cl} \rho_a C_p}{R T_a^2 \cdot a}$$

3 - DISCUSSÃO DA DEPENDÊNCIA DA TEMPERATURA NOS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A equação (11) permite calcularmos a temperatura das folhas ($T_f = \delta T + T_a$) em função de fatores fisiológicos e ambientais. A única dependência em parâmetros da folha em si é através das resistências de difusão térmica r_f e r_a . A seguir apresentamos uma descrição sucinta dos dois principais fatores determinantes da temperatura da folha.

A temperatura ambiente (T_a), a pressão de vapor nesta temperatura (p_{cl}), e a umidade relativa (μ) do ar são fatores que, obviamente, afetam a planta. Os fatores ambientais mais importantes são sem dúvida o fluxo solar diário e a emissão de radiação. O fluxo solar varia com o horário do dia, como é visto na Figura 3. Isto faz com que Q_{abs} mude de maneira análoga. Entretanto devido às constantes de tempo térmicas, a temperatura ambiente acompanha mais lentamente a variação do fluxo solar no decorrer de um período, como podemos ver na mesma Figura 3. É importante, entretanto, notar que a temperatura da folha (T_f) depende do horário do dia de uma forma diferente da temperatura do ar, dada a forma da equação (11) para δT .

As resistências de difusão térmica são uma medida do tempo necessário para a difusão de concentrações de ar (r_a) ou de vapor de água (r_f)

Sendo r_a uma grandeza externa à folha, dependerá da forma geométrica da superfície, e, fortemente de alguns fatores do ambiente como a velocidade do vento, por afetarem as características da camada limite.

A resistência de difusão térmica do ar (r_a) decresce com o aumento da velocidade da corrente de ar, possibilitando maior transferência de calor por convecção, sendo que a sua eficiência diminui com a maior largura da folha.

A resistência de difusão térmica da folha r_f , constitui um complexo de resistência ou seja, resistência cuticular (r_c), estomatal (r_e) sub-estomatal (r_s) e resistência das paredes celulares (r_p) à difusão térmica.

Nos vegetais, uma das principais resistências à difusão térmica é oferecida pelos estômatos. A quantificação do valor r_e , depende de vários fatores tais como a abertura, formato e número de poros, idade da planta, suprimento de água, concentração de CO_2 na cavi

dade sub-estomatal e, principalmente, da luz. As plantas classificadas de acordo com o movimento estomatal, ou seja, suculentas (estômatos fechados durante o dia) e não suculentas (estômatos abertos na maior parte do dia) apresentam valores de r_e diferentes e, ao mesmo tempo, dependentes da exposição da luz. Para a grande maioria dos vegetais de interesse agrícola o aumento da intensidade luminosa produz um decréscimo na resistência difusiva estomatal.

As paredes celulares podem apresentar valores variáveis de resistência à difusão do vapor, dependendo do tipo de planta. Para as mesófitas os valores estimados são pequenos, ao passo que são consideráveis para as plantas xerófitas com paredes mais espessas e, possivelmente, possuidoras de uma camada interna de cera.

Pelo fato das cavidades sub-estomatais geralmente apresentarem formas assimétricas entre o mesófilo foliar e o estômato, a resistência a difusão térmica (r_s) é realmente sempre constituída de dois valores que diferem entre si. No caso de folhas hipostomatosas os valores da resistência (r_s) calculados podem ser mais altos quando comparados a folhas que tenham estômatos em posição normal.

As resistências discutidas acima tem papel determinante na taxa de transpiração global da cultura, portanto afetam o potencial de água nas plantas.

As difusões do vapor de água de folhas individuais formam o fluxo total de vapor de água da cultura. O valor quantitativo deste depende, diretamente, dos valores médios das resistências internas e externas das folhas, da área foliar e da diferença entre a umidade das superfícies evaporadoras no interior das folhas e fora da camada limite desses mesmos órgãos.

Para o fluxo de calor sensível, na planta como um todo, considerações similares podem ser feitas, pois a diferença entre a temperatura da superfície foliar e a do ar, podem ser convertidas em diferenças de umidade específica de ar saturado naquelas temperaturas.

Podemos conseqüentemente considerar as copas das plantas como uma superfície única caracterizada então por uma resistência interna R_f . Tais resistências são funções complexas das resistências individuais das folhas e também de fatores atmosféricos, podendo entre tanto serem medidas diretamente.

O modelo que usamos continua válido para a planta como um todo se usarmos seus parâmetros equivalentes em lugar daqueles da folha individual.

Como acabamos de ver, as resistências R_a e R_f caracterizam diferentes plantas ou diferentes microambientes vegetais de uma mesma cultura e que entre eles R_f é o parâmetro que melhor designa a condição da planta. Um exemplo é o da deficiência hídrica em que, o conteúdo de água modifica consideravelmente os valores de R_f .

Nas Figuras 4 a 10 apresentamos a dependência de δT (eq. 11) na resistência da folha, R_f , para diferentes horários e R_a . Estes dados correspondem a situações reais para culturas e condições ambientais diferentes (Tabelas 1 e 2).

Os demais parâmetros que usamos para os exemplos apresentados nas figuras 4,5 e 6 são os seguintes:

$$\epsilon = \text{Emissividade média} \approx 0.96$$

$$\rho_a C_p = \text{Densidade} \times \text{Calor específico do ar} \approx 1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{Joules}}{\text{cm}^3 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

$$\sigma = \text{Constante de Stefan- Boltzmann} = 5.67 \times 10^{-12} \frac{\text{watts}}{\text{cm}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4}$$

$$\frac{\ell}{R} = \text{Relação Calor latente molar e constante dos gases} = 4886.89^\circ\text{K}$$

a = Parâmetro de conversão entre diferença de concentrações e diferença de pressão de vapor d'água $\approx 0.5 \frac{\text{mm Hg}}{^{\circ}\text{K}}$

μ = Umidade relativa do ar ≈ 0.75 (75%).

Como mencionamos, o valor $R_a = 0.1$ corresponde ao gênero *Pinus* spp conforme a Tabela 2. De acordo com a mesma Tabela, o gênero *Pinus* apresenta um $R_f \approx 1$ em condições normais. Alterações fisiológicas devido a doenças ou deficiência hídrica manifestam-se em R_f mudando seu valor. Vemos então, pelas figuras, que a temperatura da planta ($T_f = T_a + \delta T$) apresenta características bastante diferentes no transcorrer do dia. Isto é de fundamental significância na detecção remota de alterações orgânicas através de imagens termais.

Presente qualquer disfunção numa área da cultura, causada, por exemplo, por agentes patológicos ou ambientais, a mesma é melhor registrada, através de medidas de temperatura, nas últimas horas do dia. Esta conclusão de aparência surpreendente é explicada pelo fato de que, no final do dia, a quantidade de energia suprida à planta pela radiação solar é pequena mantendo-se, entretanto, à uma temperatura relativamente alta (vide Tabela 1). Na falta do agente fornecedor de energia, o sistema (vegetal) tenderá a um novo equilíbrio termodinâmico através de trocas de calor por convecção, evaporação e radiação. Tais processos físicos assumem um papel determinante e quaisquer alterações em um deles traduzir-se-ão numa mudança agora significativa na temperatura da planta.

No capítulo que segue discutiremos os resultados obtidos e apresentados nas Figuras 4 a 12.

4 - PROPOSIÇÃO PARA UMA CLASSIFICAÇÃO DE CULTURAS ATRAVÉS DE SUAS TEMPERATURAS.

Como vimos no capítulo anterior, a temperatura da "folha" $T_f = T_a + \delta T$ depende fortemente das resistências R_a e R_f .

TABELA 1

DEPENDÊNCIA DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS NO HORÁRIO DO DIA

HORÁRIO	$Q_{ABS}(\frac{JOULES}{cm^2 - seg})$	$T_a(^{\circ}K)$	$p_{Cl}(mmHg)$
8:30	0.0195	273 + 18.0	17.52
9:30	0.0337	273 + 22.5	20.64
10:00	0.0376	273 + 23.2	21.51
11:00	0.0439	273 + 23.2	21.51
12:00	0.0536	273 + 23.8	22.25
13:30	0.0459	273 + 25.0	23.75
14:00	0.0439	273 + 26.0	25.36
15:00	0.0293	273 + 26.0	25.36
16:80	0.0107	273 + 25.5	24.56
17:00	0.0083	273 + 24.0	22.50

A Tabela 2 informa que um par (R_a , R_f), de resistências de difusão térmica, caracteriza uma dada cultura. É evidente, portanto, que diferentes plantas possuem temperaturas diferentes e que estas diferenças dependem, também, do horário do dia. Isto nos sugere, pelo uso do δT , uma possibilidade de classificação de culturas através de imagens termais.

Nas Figuras 4 a 10 apresentamos a função $\delta T(R_f)$ para R_a e condições ambientais diferentes. A influência do horário do dia é observada nas Figuras 4, 5 e 6. Vemos que δT é pouco sensível às diferentes R_a 's no horário das 12 horas. Isto significa que culturas diferentes (diferentes R_a) não são passíveis de classificação via δT em tal hora. No entanto aquelas culturas apresentam-se com temperaturas bastante diferentes e portanto classificáveis, no final do dia (17 horas, por exemplo).

Um fator importante, na detecção do estado de fitosamidade, principalmente, é a umidade relativa do ar. Como podemos observar pelos resultados das Figuras 7, 8 e 9, baixo teor de umidade do ar acarreta em maior sensibilidade do δT com respeito à R_f . Finalmente, da Figura 10 vemos que a planta apresenta uma maior diferença de temperatura com o ar ambiente no final do dia. Tal fato foi explicado em termos do balanço energético no Capítulo anterior.

Usando a expressão 11, calculamos δT para cada par R_a , R_f . Isto nos fornece um gráfico em três dimensões para δT . Uma determinada cultura é caracterizada, teoricamente, por uma pequena região sobre a superfície δT , correspondem a uma par de valores de R_a , R_f .

Apresentamos as superfícies δT para três horários diferentes. Podemos ver como certos agrupamentos de vegetais comportam-se durante o dia. Uma sistemática para a classificação de culturas pode então ser sugerida a partir de tais resultados teóricos: Definindo um horário do dia, culturas diferentes serão identificadas por pequenas regiões sobre a superfície δT . Uma imagem termal pode portanto ser interpretada, em termos do conteúdo de culturas, com a ajuda dos grá

TABELA 2

VALORES DE RESISTÊNCIA DE DIFUSIBILIDADE TÉRMICA DO AR
E DA (R_a) E DA FOLHA (R_f) PARA VÁRIAS CULTURAS
(CONFORME TANNER)

SUPERFÍCIE	R _a (seg/cm)	R _f (seg/cm)
Gramíneas (capim)	0.2	0.5
Gramados	0.5	4.1
Azevém	0.3	0.5
	0.1	1.1
Pasto Natural	0.3	2.1
	0.2	7.0
	0.3	15
Alfafa	0.2	0.4
Cevada	0.3	0.3
	0.2	0.7
Feijão	0.3	0.5
	0.2	1.1
	0.2	2.3
Floresta de Pinos	0.1	0.9

ficos tridimensionais que apresentamos. As superfícies δT estão nas Figuras 11 e 12 e são por si, auto-explicativas.

BIBLIOGRAFIA

RASCHKE, K. *Annual Review of Plant Physiology*. California, Annual Reviews, 1960. v.2.

SLATYER, R.O. Environmental Aspects of Plant Water Relationships
In: ——— *Plant-Water Relationship*. London, Academic, 1967
Cap.2.

TANNER, C.B. Evaporation of Water from Plants and Soil.
In: KOZLOWSKI, T.T. *Water Deficits and Plant Growth*. London,
Academic, 1968. Cap. 4.

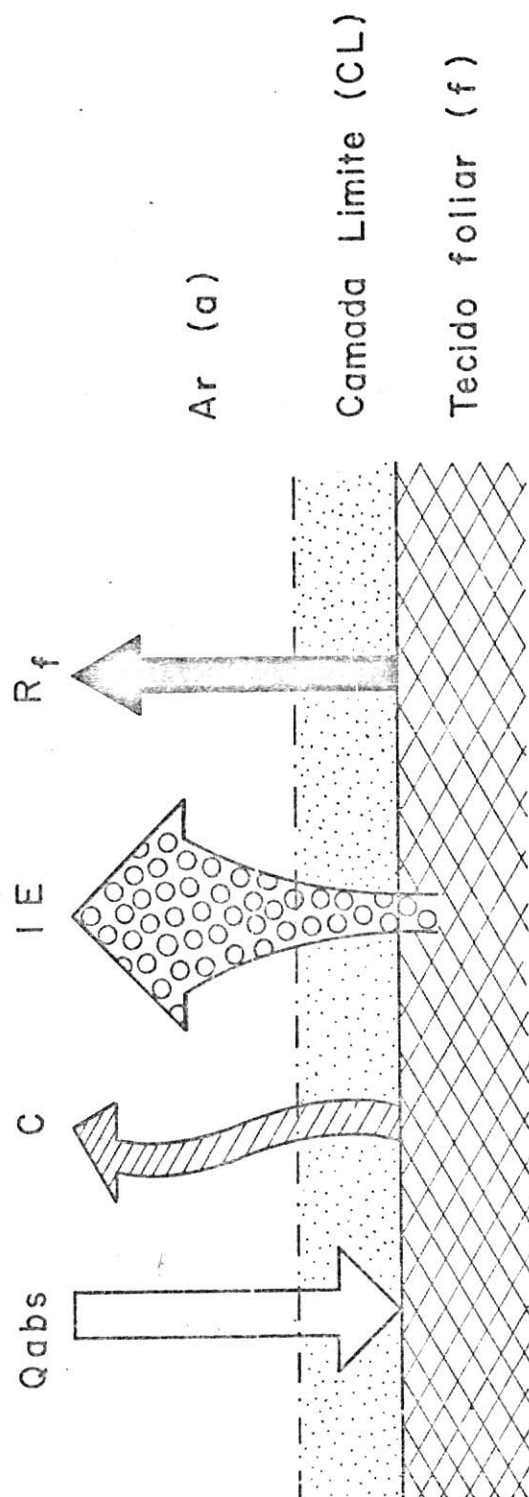


Fig. 1 - Diagrama Esquemático da Interface Folha Ambiente.

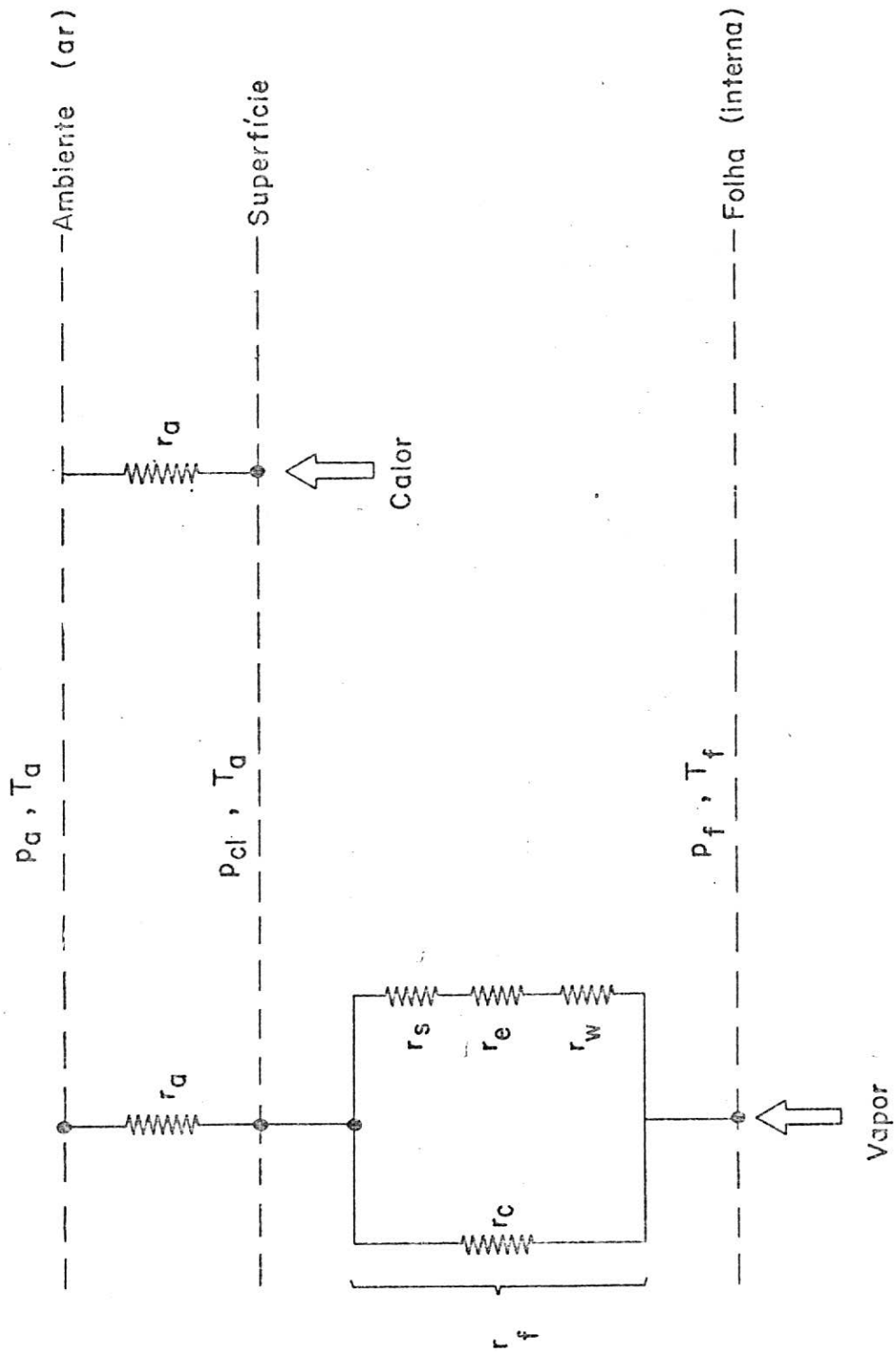


Fig. 2 - Diagrama Esquemático das Resistências de Difusão Externas e Internas.

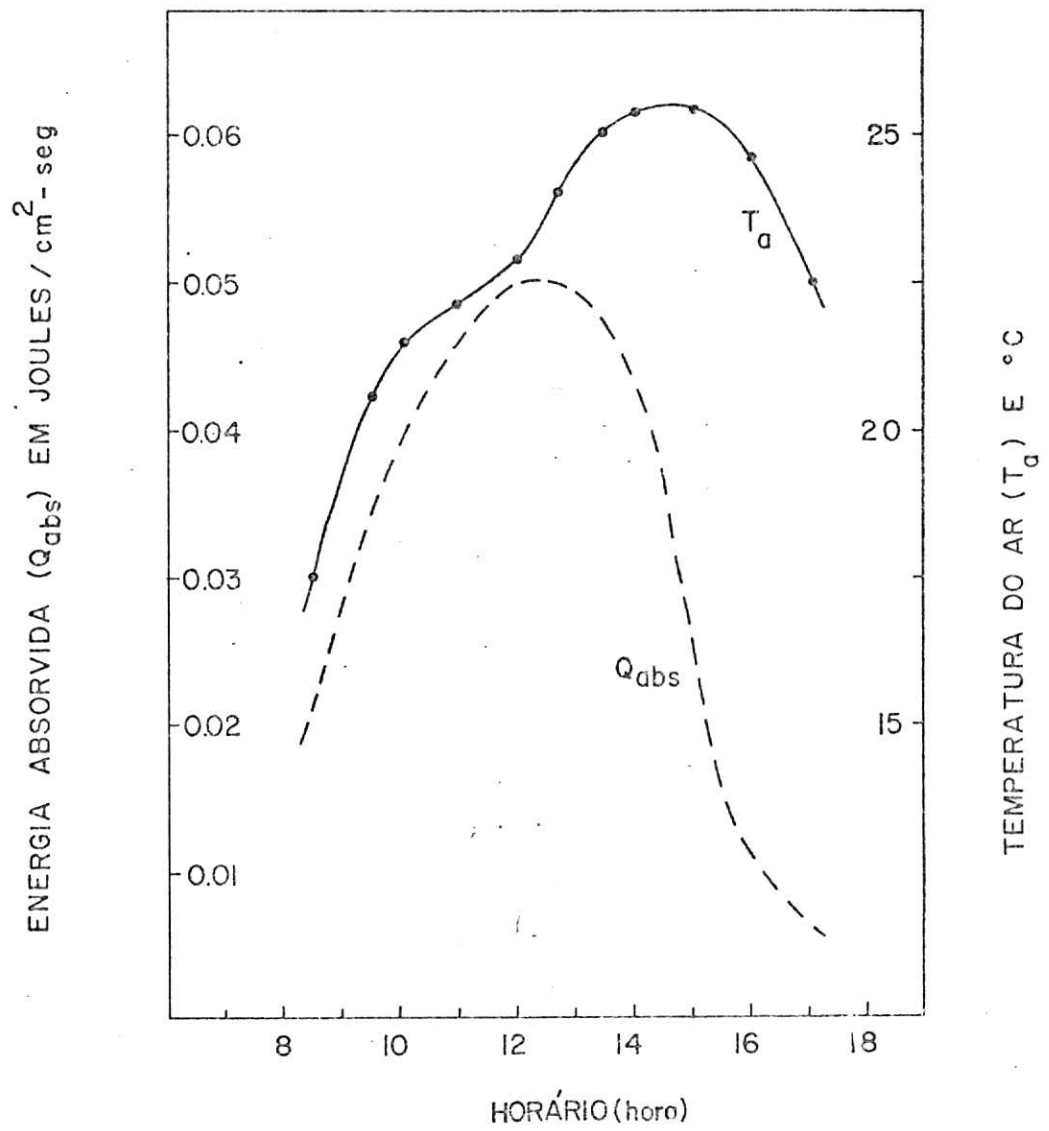


Fig. 3 - Variação do Fluxo Solar no transcorrer do dia.

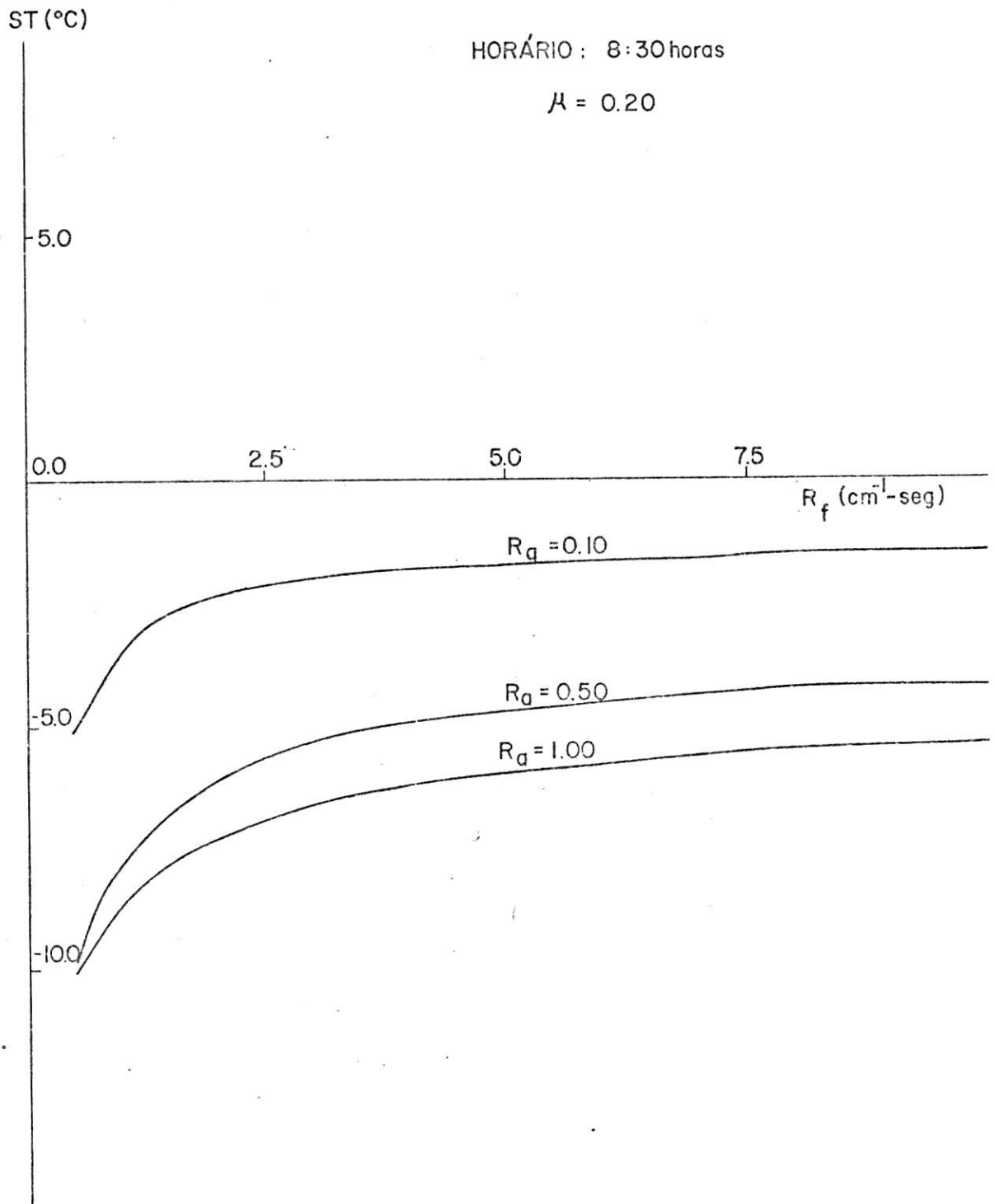


Fig. 4 - Variação das diferenças de temperatura (δT) com a resistência de difusibilidade térmica da folha (R_f), para os horários e R_a indicados.

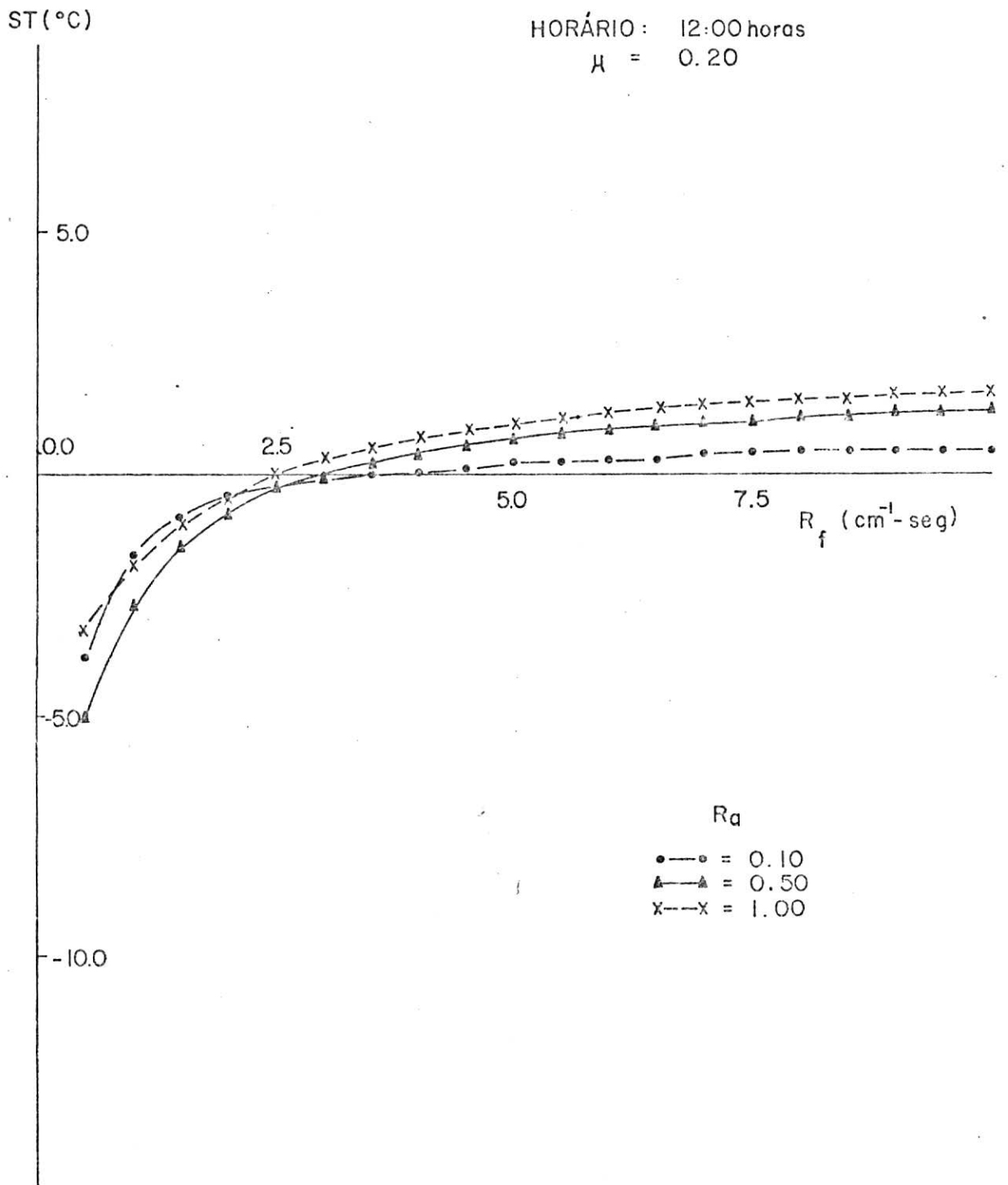


Fig. 5 - Variação das diferenças de temperatura (δT) com a resistência de difusibilidade térmica da folha (R_f), para os horários e R_a indicados.

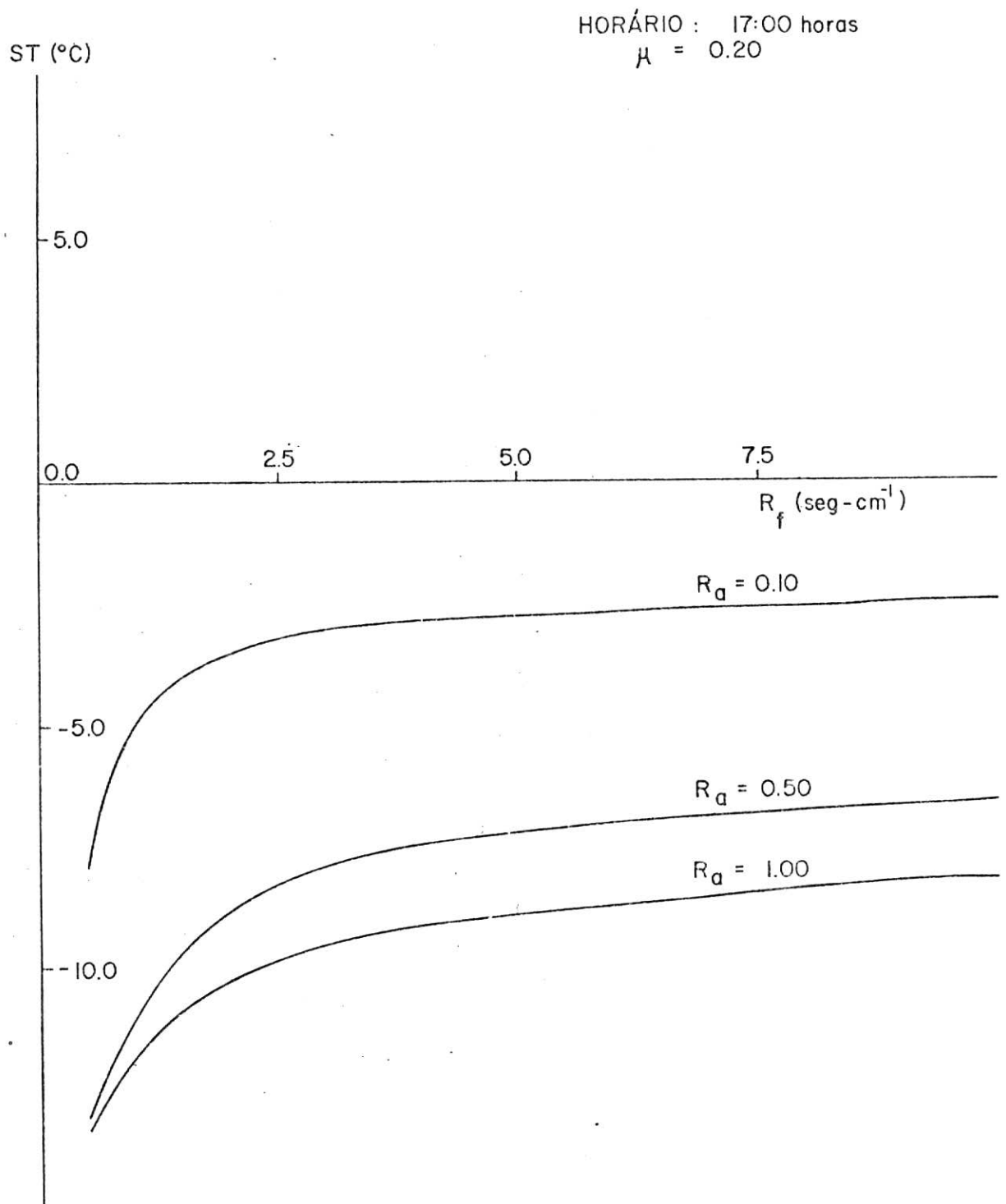


Fig. 6 - Variação das diferenças de temperatura (δT) com a resistência de difusibilidade térmica da folha (R_f), para os horários e R_a indicados.

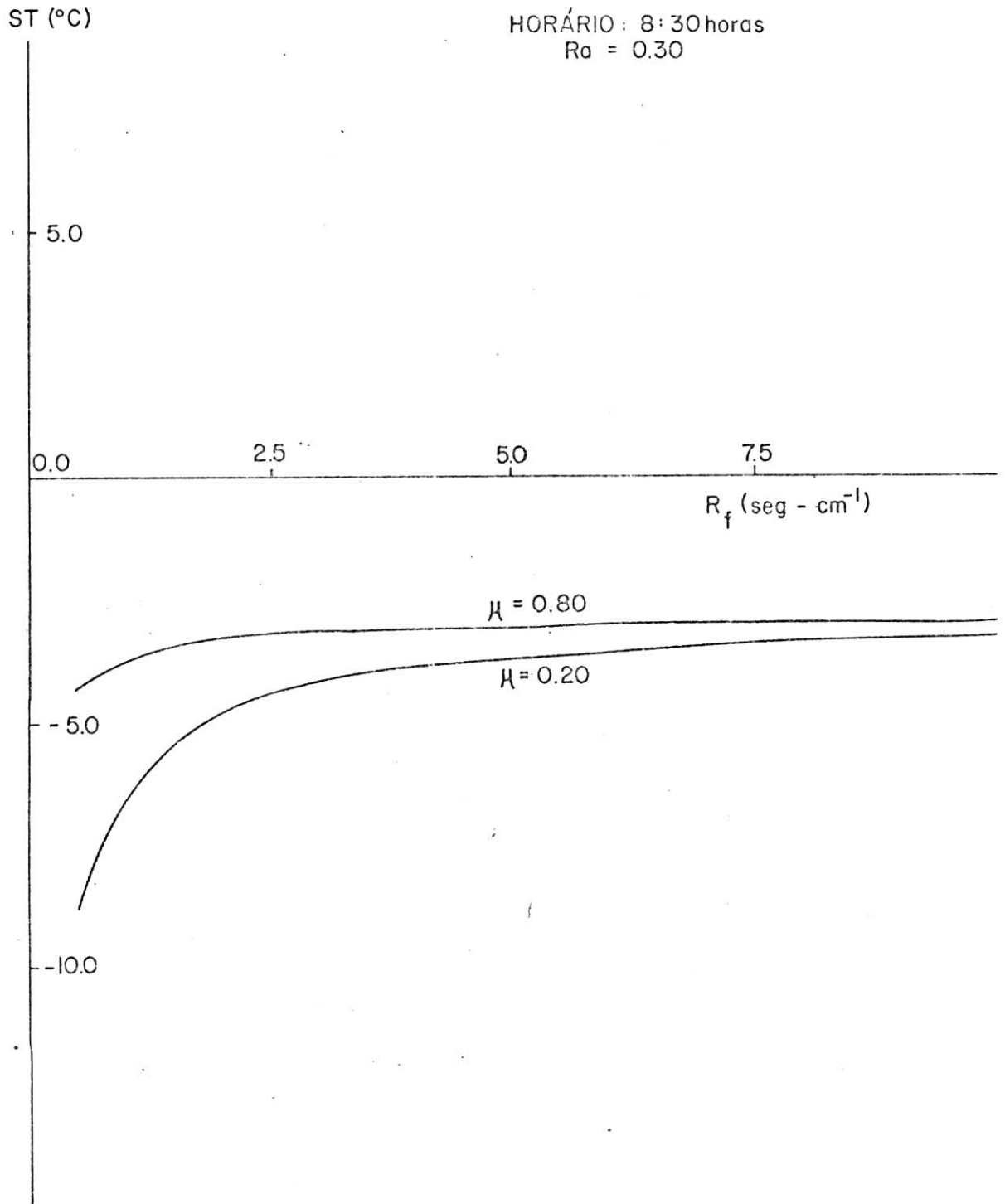


Fig. 7 - Variação das diferenças de temperatura (δT) com a resistência de difusibilidade térmica da folha (R_f), para os horários e R_a indicados.

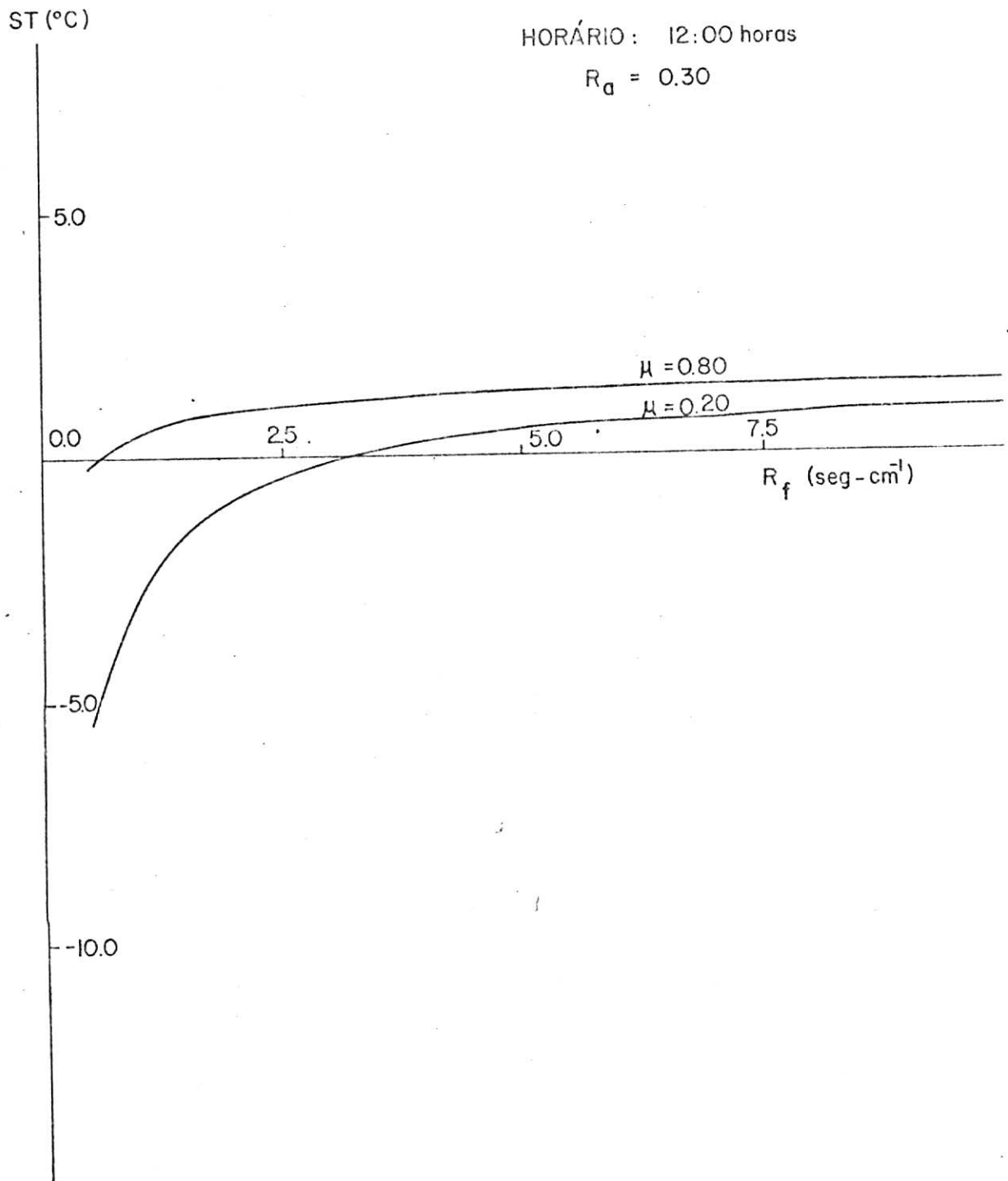


Fig. 8 - Variação das diferenças de temperatura (δT) com a resistência de difusibilidade térmica da folha (R_f), para os horários e R_a indicados.

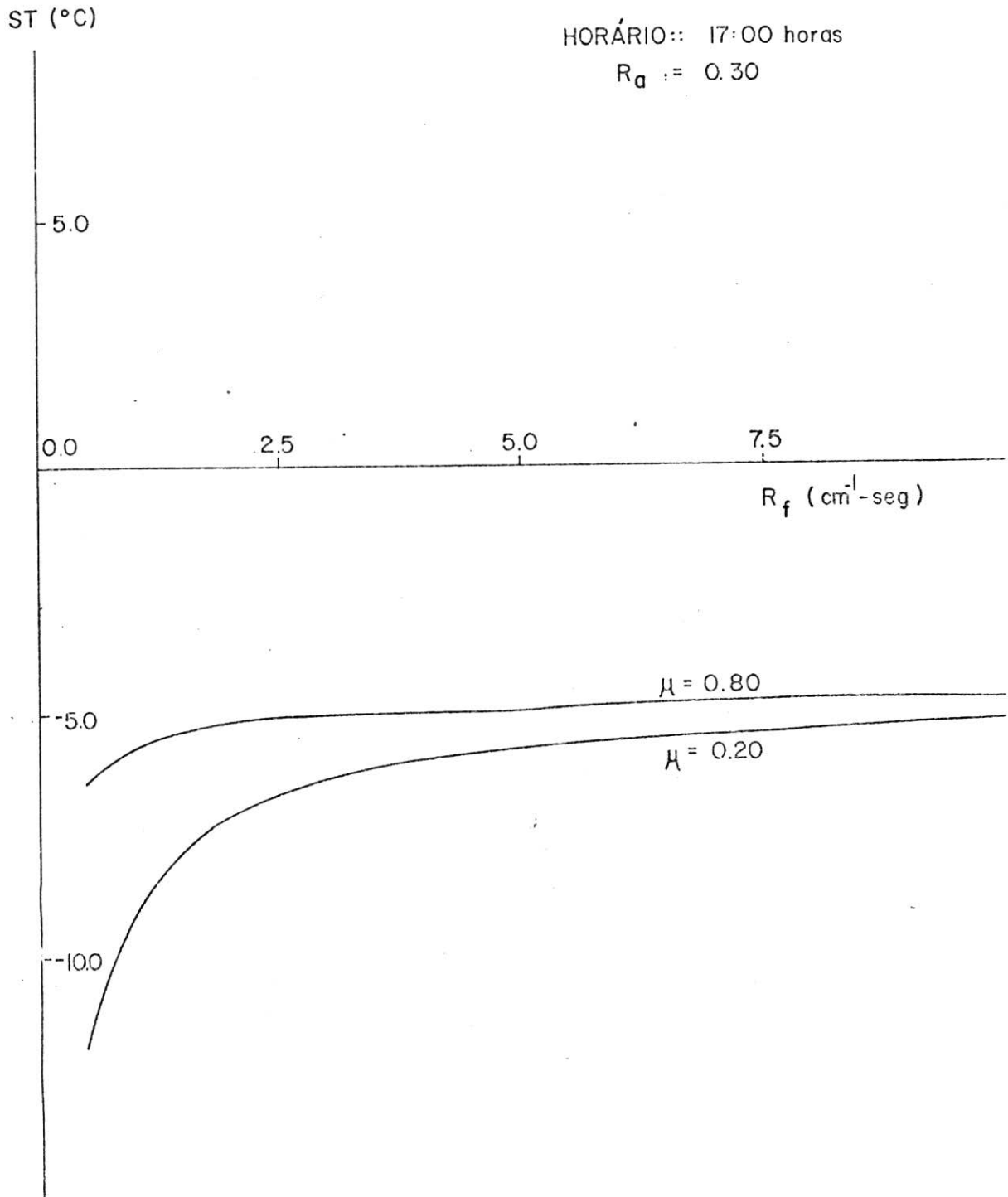


Fig. 9 - Variação das diferenças de temperatura (δT) com a resistência de difusibilidade térmica da folha (R_f), para os horários e R_a indicados.

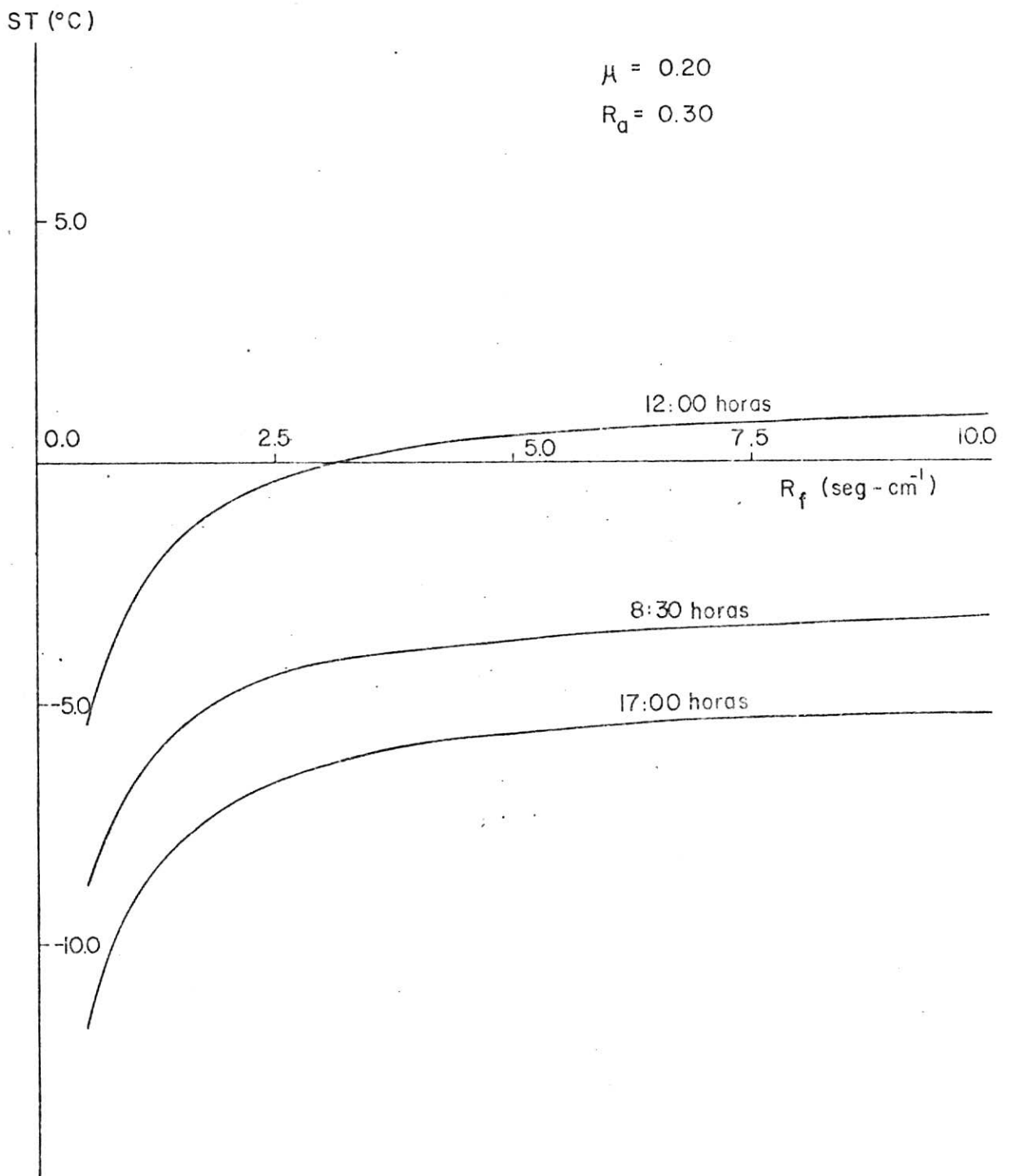


Fig. 10 - Variação das diferenças de temperatura (δT) com a resistência e difusibilidade térmica da folha (R_f), para os horários e R_a indicados.

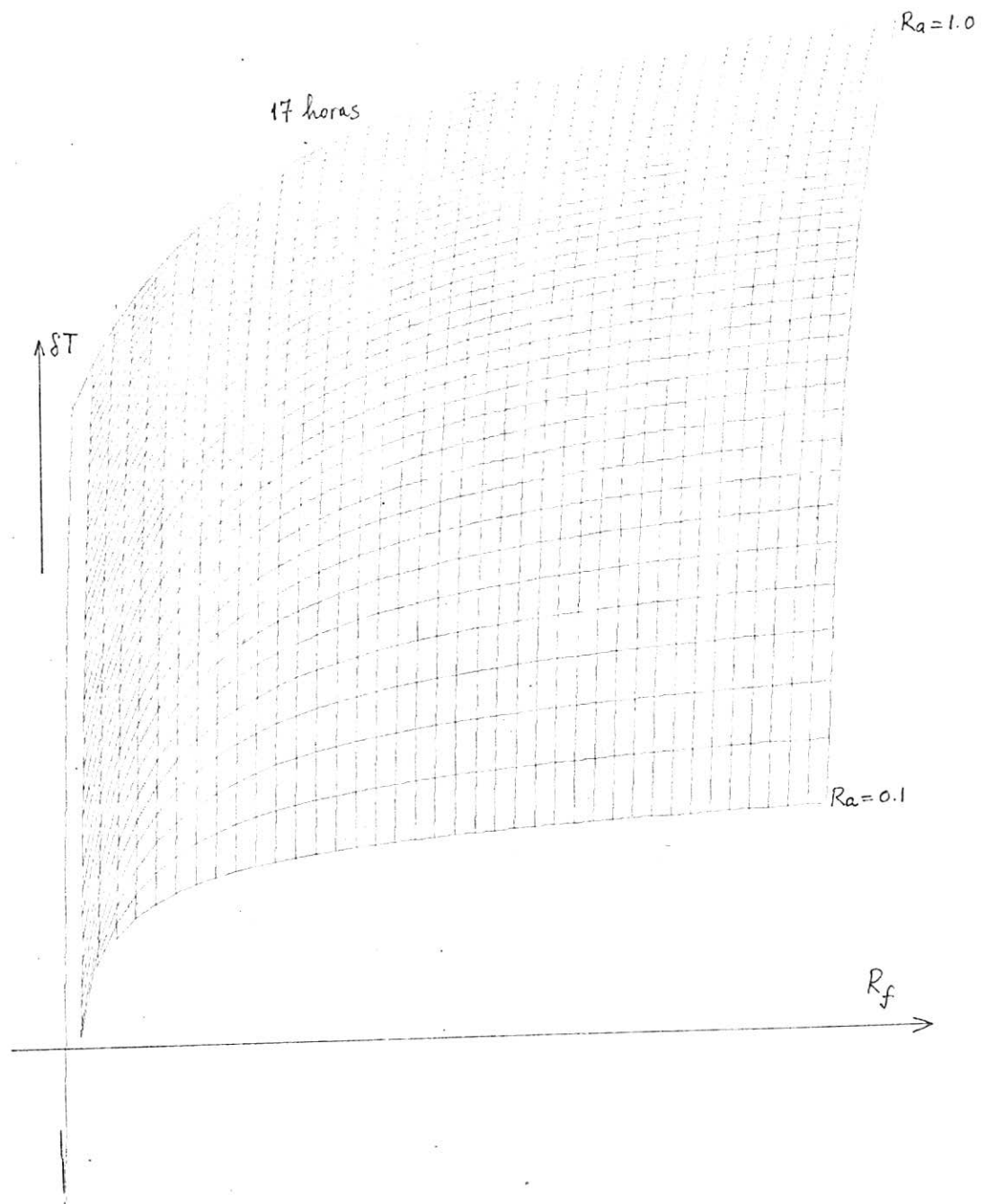


Fig. 11 - Superfícies (δT) para horários e demais parâmetros indicados.

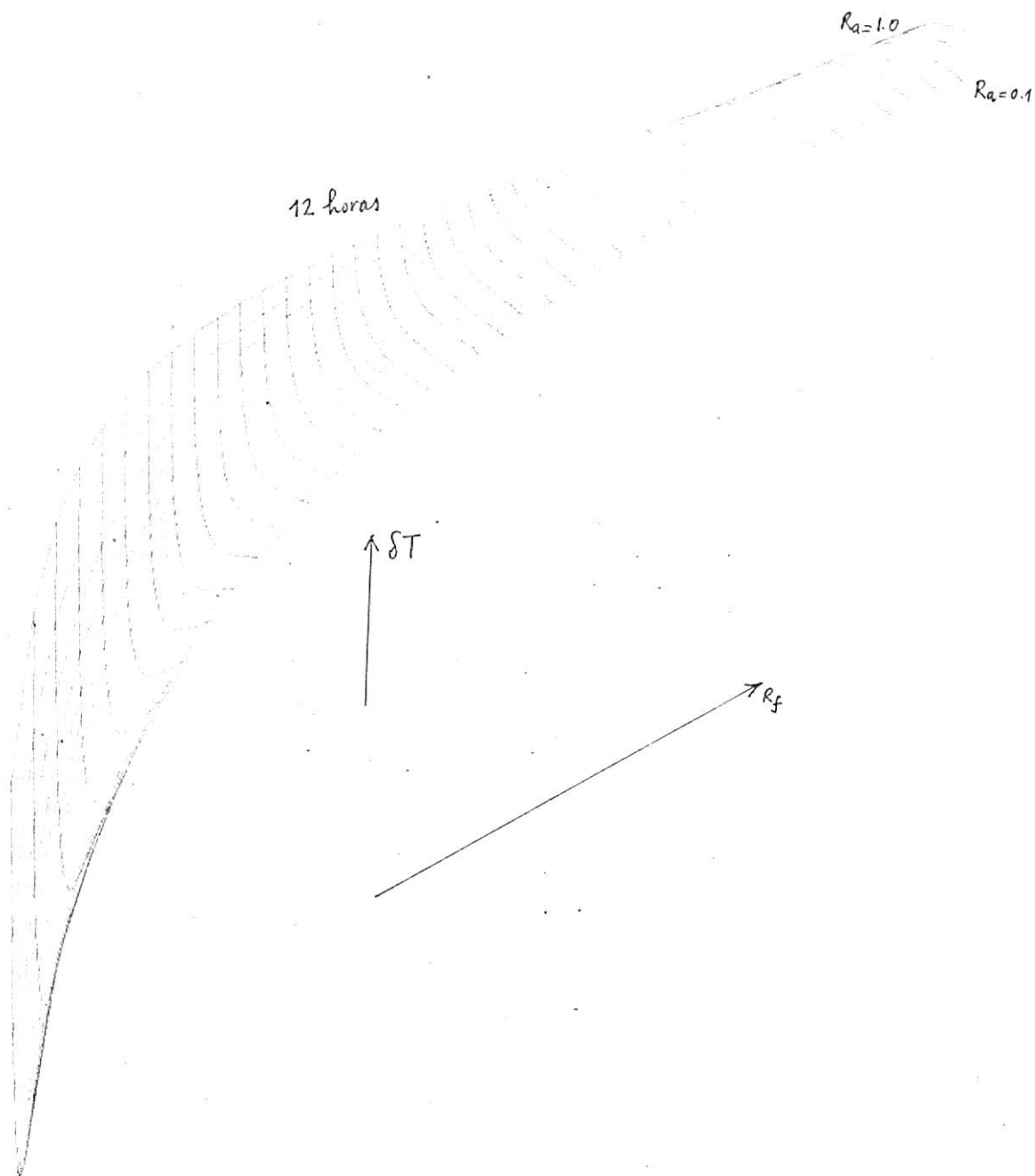


Fig. 12 - Superfícies (δT) para horários e demais parâmetros indicados.