

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**FLUXOS DE TRANSPIRAÇÃO DE TRÊS VARIEDADES DE
CANA-DE-AÇÚCAR SOB ALTAS CONDIÇÕES DE
DEMANDA HÍDRICA**

CARLOS ALBERTO VERTUAN

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**FLUXOS DE TRANSPIRAÇÃO DE TRÊS VARIEDADES DE
CANA-DE-AÇÚCAR SOB ALTAS CONDIÇÕES DE
DEMANDA HÍDRICA**

Dissertação de Mestrado submetida à
banca examinadora para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Agrícola,
na área de concentração de Água e
Solos.

CARLOS ALBERTO VERTUAN
PROF. Dr JOSÉ TEIXEIRA FILHO

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2003

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

V617f Vertuan, Carlos Alberto
 Fluxos de transpiração de três variedades de cana-de-
 açúcar sob altas condições de demanda hídrica / Carlos
 Alberto Vertuan.--Campinas, SP: [s.n.], 2003.

 Orientador: José Teixeira Filho.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

 1. Cana-de-açúcar. 2. Radiação solar. 3.
 Evapotranspiração. 4. Fisiologia vegetal. I. Teixeira
 Filho, José. II. Universidade Estadual de Campinas.
 Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Aos meus pais:

Osmar e Romilda

dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por possibilitarem a minha caminhada frente às adversidades.

A toda minha família pela retaguarda constante e sólida

Ao professor Dr José Teixeira Filho, pelo apoio e suporte necessário para que pudesse desenvolver esse estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro por meio de concessão de bolsas de estudos.

Ao amigo Ariston, companheiro inestimável no levantamento de dados de campo, sempre pronto para ajudar quando necessário.

À amiga Camila pela ajuda no fornecimento de textos pertinentes à elaboração do trabalho.

Ao companheiro Sérgio pela disponibilidade na resolução de problemas rotineiros no trabalho de campo.

À faculdade e aos seus funcionários, parceiros importantes na realização dessa dissertação de mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Histórico da Cana-de-Açúcar	1
1.2 - Distribuição da água no globo terrestre	3
1.3 - Transpiração vegetal	4
2 - OBJETIVO	5
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 - Transpiração vegetal	6
4 - MATERIAIS E MÉTODO	30
4.1 - Localização do experimento	30
4.2 - Caracterização da área experimental	31
4.3 - Medidas de campo	33
4.3.1 - Parâmetros climáticos	33
4.4 - Medidas de transpiração vegetal	33
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 - Análise comparativa entre as variedades	38
5.2 - Análise comparativa no período integral de medidas	57
5.3 - Relação da transpiração foliar e das condições climáticas: Radiação global e DPVS	64

6 - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	67
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
8 - APÊNDICES	79

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Localização do município de Campinas no estado de São Paulo	30
FIGURA 2	Parcela cultivada com a variedade SP 832847	32
FIGURA 3	Parcela cultivada com as variedades SP 801842 e SP 791011	32
FIGURA 4	Porômetro de equilíbrio dinâmico	34
FIGURA 5	Reservatório de água de um evapotranspirômetro	35
FIGURA 6	Visão diferenciada de reservatório de água	35
FIGURA 7	Variedade cultivada em um evapotranspirômetro	35
FIGURA 8	Estágio de desenvolvimento da SP 832847	36
FIGURA 9	Estágio de desenvolvimento das SP 801842 e SP 791011	36
FIGURA 10	Sistema coluna de água e reservatório de um evapotranspirômetro	37
FIGURA 11	Transpiração para o dia 24/10/02 na variedade SP 832847	41
FIGURA 12	Cond. estomática para o dia 24/10/02 na variedade SP 832847	41
FIGURA 13	Rad. fotoss. ativa para o dia 24/10/02 na variedade SP 832847	42
FIGURA 14	DPVS para o dia 24/10/02 na variedade SP 832847	42
FIGURA 15	Transpiração para o dia 24/10/02 na variedade SP 801842	43
FIGURA 16	Cond. estomática para o dia 24/10/02 na variedade SP 801842	43
FIGURA 17	Rad. fotoss. ativa para o dia 24/10/02 na variedade SP 801842	44
FIGURA 18	DPVS para o dia 24/10/02 na variedade SP 801842	44
FIGURA 19	Transpiração para o dia 24/10/02 na variedade SP 791011	45
FIGURA 20	Cond. estomática para o dia 24/10/02 na variedade SP 791011	45
FIGURA 21	Rad. fotoss. ativa para o dia 24/10/02 na variedade SP 791011	46
FIGURA 22	DPVS para o dia 24/10/02 na variedade SP 791011	46
FIGURA 23	Transpiração para o dia 27/11/02 na variedade SP 832847	49

FIGURA 24	Cond. estomática para o dia 27/11/02 na variedade SP 832847	49
FIGURA 25	Rad. fotoss. ativa para o dia 27/11/02 na variedade SP 832847	50
FIGURA 26	DPVS para o dia 27/11/02 na variedade SP 832847	50
FIGURA 27	Transpiração para o dia 27/11/02 na variedade SP 801842	51
FIGURA 28	Cond. estomática para o dia 27/11/02 na variedade SP 801842	51
FIGURA 29	Rad. fotoss. ativa para o dia 27/11/02 na variedade SP 801842	52
FIGURA 30	DPVS para o dia 27/11/02 na variedade SP 801842	52
FIGURA 31	Transpiração para o dia 27/11/02 na variedade SP 791011	53
FIGURA 32	Cond. estomática para o dia 27/11/02 na variedade SP 791011	53
FIGURA 33	Rad. fotoss. ativa para o dia 27/11/02 na variedade SP 791011	54
FIGURA 34	DPVS para o dia 27/11/02 na variedade SP 791011	54
FIGURA 35	Comportamento da transp. na variedade SP 832847 (set-nov)	58
FIGURA 36	Transpiração de set. a nov. nas três variedades pesquisadas	59
FIGURA 37	Transpiração em função da RFA de set. a nov. em SP 832847	60
FIGURA 38	Transpiração em função da RFA de set. a nov. em SP 801842	61
FIGURA 39	Transpiração em função da RFA de set. a nov. em SP 791011	61
FIGURA 40	Cond. Estom. em função da RFA de set. a nov. em SP 832847	62
FIGURA 41	Cond. Estom. em função da RFA de set. a nov. em SP 801842	63
FIGURA 42	Cond. estom. em função da RFA de set. a nov. em SP 791011	63
FIGURA 43	Relação entre a transp. foliar e a rad. global (valores horários)	64
FIGURA 44	Relação entre a transp. foliar e a rad. global (valores diários)	65
FIGURA 45	Comportamento da transpiração foliar em função do DPVS (valores horários)	65

FIGURA 46 Comportamento da transpiração foliar em função do
DPVS (valores diários)

66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Máximos valores de transpiração em dois dias selecionados para as três variedades envolvidas no estudo.	55
TABELA 2	Valores médios de transpiração em dois dias específicos para SP 832847, SP 801842 e SP 791011.	55
TABELA 3	Valores máximos de condutância estomática em dois dias escolhidos para as cultivares do estudo.	55
TABELA 4	Valores médios de condutância estomática em dias específicos para as três variedades.	55
TABELA 5	Valores máximos de radiação fotossinteticamente ativa nas variedades SP 832847, SP 801842 e SP 791011	56
TABELA 6	Valores médios de radiação fotossinteticamente ativa nas variedades SP 832847, SP 801842 e SP 791011	56

RESUMO

A quantificação da transpiração vegetal é fundamental para a determinação do fluxo de água de uma área e/ou bacia hidrográfica. A investigação acerca da transpiração aponta os estômatos como o principal ponto de controle do fluxo de água, assim a eficiência do uso da água pelas variedades pode ser considerada como uma espécie de relação custo/benefício para aumentar a produção de cana-de-açúcar, com o mínimo impacto na reserva hídrica do ecossistema. O Brasil é um importante produtor de açúcar e álcool e em estados como São Paulo, um grande percentual de sua área é ocupado por bacias hidrográficas com cobertura predominante de cana-de-açúcar. Atento a esse fato elaborou-se um estudo que mensurou a transpiração vegetal para três variedades comuns à região da bacia hidrográfica do rio Piracicaba, com as medidas se concentrando de setembro a novembro de 2002. Implantou-se um dispositivo experimental em uma área pertencente à Faculdade de Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), município de Campinas (SP). Trabalhou-se com as variedades SP 832847, SP 801842 e SP 791011, realizando medidas de transpiração foliar, condutância estomática, radiação fotossinteticamente ativa e déficit de pressão de vapor saturado. No período de análise desse estudo verificou-se que a maior média de transpiração foi de $4.38 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ para a SP 791011. A maior taxa de transpiração na variedade SP 801842 foi de $4.19 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e na SP 832847 foi de $4.16 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$. A variedade SP 791011 registrou uma transpiração em média 4.5% superior à encontrada para a variedade SP 801842 e 5.3% superior à verificada na variedade SP 832847, enquanto a SP 801842 registrou uma transpiração média 0.7% maior quando comparada à variedade SP 832847.

ABSTRACT

The quantification of vegetal transpiration is basic for the determination of the water flow of an area and/or watershed. The inquiry concerning transpiration points the stoma as the main point of control of the water flow, thus the efficiency of the use of the water for the varieties can be considered as a species of relation cost/benefit to increase the sugarcane production, with the minimum impact in the hydro reserve of the ecosystem. Brazil is an important producer of sugarcane and alcohol and in states as São Paulo, a great percentage of its area is busy for watershed with predominant covering of sugarcane. Intent to this fact a study that measured vegetable transpiration for three common varieties to the region of the watershed of the river Piracicaba, with the measures was elaborated if concentrating of September the November of 2002. An experimental device in a pertaining area to the College of Agricultural Engineering of the State University of Campinas (UNICAMP), city of Campinas was implanted. One worked with varieties SP 832842, SP 801842 and SP 791011, carrying through measured of leaf transpiration, stomatal conductance, active radiation photosynthetic and deficit of vapor pressure saturated. In the period of analysis of this study it was verified that the average greater of transpiration was of $4.38 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ for SP 791011. The biggest transpiration tax in variety SP 801842 was of $4.19 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and in SP 832847 was of $4.16 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Variety SP 791011 registered a transpiration in average 4,5% superior to the found one for 5,3% variety SP 801842 and superior to the verified one in variety SP 832847, while SP 801842 registered an average transpiration 0,7% greater when compared variety SP 832847.

1 - INTRODUÇÃO

1.1. - Histórico da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar tem provavelmente sua origem na Índia ou China apesar de novas pesquisas históricas apontarem as ilhas do oceano Pacífico como o seu berço. Embora já fosse conhecida por muito tempo, sua propagação deveu-se aos árabes que se lançaram, no século VII à conquista de um vasto império. À medida que a conquista de novas terras se concretizava a cana-de-açúcar acompanhava os conquistadores.

Ao invadirem a península Ibérica os mouros como eram conhecidos os árabes levaram a novidade consigo, mas esse novo espécime não se deu bem em terras européias, apesar disso o consumo do açúcar proveniente da cana aumentava incansavelmente, com isso os ibéricos eram obrigados a comprarem o açúcar comercializado pelos venezianos.

Na época das grandes navegações e com a descoberta do Brasil os portugueses introduzem a cana-de-açúcar na nova colônia. Com o Brasil nascia o engenho, e com o seu florescimento a colônia se torna um grande negócio para a coroa portuguesa.

Com o advento das capitânias hereditárias o cultivo da cana-de-açúcar serviu para fixar o colonizador à terra descoberta. Com o passar do tempo o cultivo da cana-de-açúcar torna-se mais importante economicamente do que a exploração do pau brasil e o seu beneficiamento colocam a metrópole em posição privilegiada a ponto de quebrar o monopólio dos venezianos. Com a união das coroas portuguesa e espanhola os holandeses detentores principalmente da tecnologia de produção e comercialização do produto aproveitam-se da fragilidade política do novo império recém formado e invadem a maior região produtora de açúcar na época o nordeste brasileiro, passando a dominar o ciclo da economia açucareira.

CASTILHO (2000) observa que na passagem do século XVII para XVIII, o açúcar brasileiro começa sofrer a concorrência da produção das Antilhas, além das restrições impostas à sua entrada nas metrópoles inglesa, francesa e holandesa.

Em 1857 foi elaborado um programa de modernização da produção de açúcar. Assim surgiram os Engenhos Centrais, que deveriam somente moer a cana e processar o açúcar, ficando o cultivo por conta dos fornecedores. Nessa época, Cuba liderava a

produção mundial de açúcar de cana com 25% do total e o açúcar de beterraba produzido na Europa e EUA significavam 36% da produção mundial. O Brasil contribuía com apenas 5% de um total de 2.640.000 toneladas em 1874. O desconhecimento dos novos equipamentos, a falta de interesse dos fornecedores, que preferiam produzir aguardente ou mesmo açúcar pelos velhos métodos, e outras dificuldades contribuíram para a derrocada dos Engenhos Centrais.

No final do século XIX, o Brasil vivia a euforia do café (70% da produção mundial estavam aqui). Após a abolição da escravidão, o governo brasileiro incentivou a vinda de europeus para suprir a mão-de-obra necessária às fazendas de café, no interior paulista. Os imigrantes, de maioria italiana, adquiriram terra e grande parte optou pela produção de aguardente a partir da cana. Desta época até a década de 30 devido à expansão da produção, se faz necessário à criação de um órgão para controlar a superprodução advinda dessa expansão. Em junho de 1933 o governo provisório da República cria o Instituto do Açúcar e do Alcool para fomentar a produção de álcool anidro e favorecer por meio de auxílios financeiros a criação de cooperativas que se destinem a montar destilarias centrais, de interesse regional, para a produção de álcool anidro utilizando como matéria prima o melaço de produção de açúcar (TRUDA 1934). Nessa época o IAA adota o regime de cotas, que atribuía a cada usina uma quantidade de cana a ser moída, a produção de açúcar e também a de álcool. A aquisição de novos equipamentos ou a modificação dos existentes também precisava de autorização do IAA.

Com a crise energética no início da década de 70, decorrente de conflitos no oriente médio o preço do barril do petróleo no mercado internacional dispara saindo de um patamar de US\$ 2 atingindo o teto de US\$ 12, com isso ocorre à necessidade de substituição da matriz energética brasileira essencialmente até aqui, calcada em combustíveis fósseis não renováveis.

Com todas essas dificuldades o governo federal representado nessa fase por Ernesto Geisel providencia a criação do Programa Nacional do Açúcar e do Alcool. Esse governo lança linhas de crédito subsidiado ao setor canavieiro. (CASTILHO 2000).

A crescente preocupação da sociedade mundial com o meio ambiente vem incentivando a busca de alternativas para a substituição do uso de combustíveis fósseis não renováveis, os quais são os grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na

atmosfera. Vários países estão buscando reduzir ao máximo o uso desses combustíveis, seja pela substituição do produto ou pela adição de outros combustíveis para diminuir a carga poluidora. A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das alternativas que se coloca atualmente, sendo uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis. Essa cultura representa uma grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial. De acordo com DIAS (1997), o Brasil possui uma grande extensão territorial cultivada com a espécie, e se apresenta como um dos mais tradicionais produtores. Diferentes variedades são cultivadas em vários tipos de solos que estão sob influência de diferentes climas, resultando em uma diversificação de ambientes na produção.

Na safra 2001/02 a produção de cana-de-açúcar atingiu 243,4 milhões de toneladas na região Centro-Sul (do total de 300 milhões de toneladas no país todo) volume 17,5% maior sobre a safra 2000/01, de 207 milhões de toneladas a previsão da safra 2002/03 está em 286,2 milhões de toneladas de acordo com a União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo (UNICA). O volume de açúcar produzido foi de 15,9 milhões de toneladas (2001/02), a previsão para a safra seguinte está em 20,1 milhões de toneladas, a produção de álcool ficou 10,1 milhões de litros de álcool (safra 2001/02), sendo 11,2 milhões de litros a previsão para a safra 2002/03.

1.2. – Distribuição da água no globo terrestre

Do volume total de água estimado que existe no globo terrestre, 97.3% são de água salgada. Dos 2.7% restantes (água doce), 2% encontra-se na forma de gelo ou neve, nos icebergs e pólos. A porcentagem de 0.6% encontra-se como água subterrânea, sobrando apenas 0.1% como facilmente aproveitável pelas plantas. Outro fator a ser considerado é a distribuição da água que se encontra nas nuvens ou como vapor não ultrapassa de 0.001% do total. O Brasil pode ser considerado como um país relativamente privilegiado com relação às precipitações. Mesmo nas regiões críticas, existem ciclos de seca se alternando com períodos chuvosos.

1.3. – Transpiração Vegetal

A transpiração vegetal é um processo fisiológico que envolve uma transferência relativamente alta de água na forma de vapor para a atmosfera, resultando em uma diminuição do crescimento do vegetal podendo em alguns casos provocar a morte da planta. O processo da transpiração ocorre essencialmente em duas fases, a evaporação da água para os espaços intercelulares e após, a difusão da água para a atmosfera. Nos processos de fotossíntese e respiração ocorridos na folha são indispensáveis as trocas de gás carbono e oxigênio entre a folha e o ar. Esses processos são realizados principalmente por intermédio da abertura dos estômatos, que ao mesmo tempo permite a difusão de vapor de água para a atmosfera (transpiração). A transferência de água por esse processo representa 80 a 90% da transferência total de um vegetal, a abertura dos estômatos depende do grau de saturação hídrica das células estomáticas, podendo haver grande restrição da transpiração quando o déficit de água na planta for grande.

Por isso o estudo da transpiração vegetal é importante para o fornecimento de informações à cerca do comportamento no caso desse trabalho, da cana-de-açúcar, afim de que se conheça a sua melhor condição para propiciar uma maior produtividade no seu cultivo.

2 - OBJETIVO

O objetivo desse estudo foi avaliar por meio da quantificação, a transpiração vegetal bem como a condutância estomática em três variedades de cana-de-açúcar, expostas à situação de inexistência de restrição hídrica, relacionando estes parâmetros à variabilidade climática do local de estudo. O conhecimento do comportamento da transpiração vegetal se faz necessário, pois a mesma representa uma parcela decisiva no estabelecimento de balanços hídricos, possibilitando assim o desenvolvimento de modelos hidrológicos para parcelas cultivadas com cana-de-açúcar, podendo esses modelos, serem utilizados para simulações em bacias hidrográficas, onde a espécie é predominante como cobertura vegetal.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. - Transpiração Vegetal

A água penetra o solo, sendo absorvida pelas plantas por meio das raízes, percorrendo-as até atingir as folhas, onde ocorre a transferência para a atmosfera na forma de vapor. Em função da existência de um potencial hídrico e de uma continuidade hidráulica entre o solo e as folhas esse fenômeno acontece. A água é transportada pelo vegetal por uma rede formada de vasos, nos quais escoam o floema e o xilema. O floema distribui, a partir das folhas, uma solução concentrada e rica em substâncias nutritivas. O xilema assegura o transporte para as folhas de uma solução diluída proveniente do sistema radicular. A transpiração vegetal permite que as células foliares recebam os elementos e substâncias dissolvidas na água procedentes do solo. O motor responsável pela circulação da água nos vegetais é a energia de origem solar, estes para poderem captar mais e melhor a radiação solar, dividiram a sua parte aérea em um número muito grande de numerosas lâminas, as folhas. A radiação solar permite que a água líquida atinja as folhas.

As perdas de água por um vegetal ocorrem de duas formas: a gasosa (vapor de água) ou líquida. A predominância é a gasosa, por transpiração e do tipo denominada estomática, ou seja, por intermédio dos estômatos (80 a 90% da perda de água total de um vegetal). Com relação à transpiração, todas as superfícies de um vegetal, em contato direto ou indireto com a atmosfera, estão sujeitas a perder maior ou menor quantidade de água por transpiração. Caules, flores, frutos, transpiram, mas a perda maior de água por transpiração se dá por meio das folhas. O grau de abertura dos estômatos é variável nas diferentes horas do dia e vai determinar as variações de perdas de água pelo vegetal ao longo do dia. A transpiração é um processo que ocorre, essencialmente, em duas fases, a evaporação da água para os espaços intercelulares e após, a difusão da água para a atmosfera. O principal meio de transpiração, é pelos estômatos, as suas aberturas irão depender do grau de saturação hídrica das células estomáticas, podendo haver grande restrição da transpiração quando o déficit de água na planta for muito grande.

Ao mesmo tempo em que as plantas necessitam abrir os estômatos para absorver CO_2 e assim realizar a fotossíntese, também necessitam fechá-los para evitar a perda de

água. A solução encontrada foi à regulação temporal da abertura estomática. À noite quando não há fotossíntese, e, portanto não há demanda por CO_2 dentro da folha, a abertura estomática fica pequena. Nas manhãs ensolaradas e com suprimento de água abundante e quando a radiação solar incidente na folha favorece altas taxas de fotossíntese, a demanda por CO_2 dentro da folha é alta e por isso o poro estomático permanece amplamente aberto.

Segundo CASTILHO (2000), as folhas são a fábrica na qual água, dióxido de carbono e os nutrientes são convertidos em carboidratos na presença de luz solar. De acordo com HUMBERT (1968) são três as funções principais atribuídas às folhas: produção de carboidratos (fotossíntese); síntese de outros compostos a partir de carboidratos e transpiração.

As folhas da cana-de-açúcar são alternadas e opostas, consistindo de uma lâmina e uma bainha que envolve o colmo (BLACKBURN, 1984). O número de folhas verdes é pequeno em plantas jovens e aumenta à medida que o colmo cresce, atingindo um número máximo de 10 a 15 folhas por colmo, dependendo da variedade e condições de crescimento. À medida que novas folhas emergem, as mais velhas e inferiores secam, morrem e caem (HUMBERT, 1968).

A forma da curva de crescimento da cana-de-açúcar em função do tempo apresenta característica sigmóide, provavelmente não havendo influência da cultivar, apresentando três fases características: 1) fase inicial de crescimento lento; 2) fase de crescimento rápido e, 3) fase final de crescimento lento. Uma quarta fase característica, de ligeiro, ou mesmo pronunciado decréscimo do valor do índice de área foliar, pode ser acrescentada à curva de crescimento do índice de área foliar.

DAUZAT et al. (2001) descreveram as representações de plantas virtuais utilizadas como a base de um modelo de simulação da transpiração foliar e do fluxo de seiva para os pés de café arábico em Turrialba Valley na Costa Rica. As plantas virtuais forneceram uma descrição detalhada da geometria e da topologia das mesmas, capacitando uma reconstrução altamente realista de uma parte da cobertura vegetal da cultura em questão. O modelo permite a simulação da condutância estomática além do balanço hídrico em nível foliar a fim de calcular a sua transpiração, então a transpiração foliar é acumulada para se obter o fluxo de seiva por toda a planta.

Devido às condições estruturais do modelo, é possível registrar as suas reações como o efeito da temperatura em uma determinada folha e a interferência desta sobre a condutância estomática, transpiração e o potencial hídrico.

O modelo gera imagens computadorizadas por meio de posicionamento 3D analisando a área e o diâmetro dos órgãos de grupos de árvores adultas de café plantadas em linha. Para a validação e parametrização do modelo foram medidos a condutância estomática, fluxo de seiva, potencial hídrico e a condutividade hidráulica.

A variedade escolhida foi a caturra devido ao crescimento vertical limitado (menor que 2 m). O cafezal em questão foi plantado em 1983, depois das mudas estarem em viveiros por um ano. Como relatado anteriormente as árvores foram plantadas em linhas com distância entre elas de dois metros, arrumadas em grupos de até três plantas (média de 2.07) ao longo das linhas com um espaçamento de 0.85 m entre os grupos.

As arquiteturas de 11 árvores de café foram detalhadas em 3 anos de ciclos de podas distribuídos em 6 grupos consecutivos ao longo da fila de plantio. Os dados meteorológicos foram coletados por meio de uma estação agrometeorológica instalada a 5 m de altura em uma parcela de aproximadamente 10 m a oeste do local de medidas. Para a realização dessas medidas utilizou-se de equipamentos como: LI-200, Li-Cor para medir a radiação global, o LI-190, Li-Cor, para medir a densidade de fluxo de fóton. Medidas de velocidade do vento, umidade relativa e a temperatura do ar foram também efetuadas. As obtenções dos dados locais só foram possíveis após os mesmos serem utilizados em uma série de simulações.

As medidas de fluxo de seiva foram realizadas por meio da utilização de duas sondas inseridas radialmente dentro dos troncos das árvores. A sonda superior foi inserida a 10-15 cm por baixo da segunda sonda e aquecida previamente. O fluxo de seiva no tronco é calculado pela diferença de temperatura entre as duas sondas, sobrecarregadas pela área seccional em forma de cruz da subcamada do tronco. As medidas foram realizadas em abril/maio de 1993 nas árvores já mencionadas.

O potencial hídrico da folha foi medido por meio da pressão da câmara (SCHOLANDER et al., 1965). Uma série de 220 medidas de transpiração foram realizadas de maneira livre nas folhas das árvores citadas durante sete dias no mês de dezembro de 1992 e agosto de 1993. Um dos mais convencionais modos de medidas do potencial hídrico

em elementos do xilema no caule foi usado para medir o potencial hídrico de uma folha anexada a um ponto onde o potencial possa ser mensurado com mais facilidade (TURNER, 1981). O método utilizado consiste em bloquear a transpiração das folhas selecionadas protegendo-as por meio de um recipiente plástico e por uma folha de alumínio, nessa ordem.

Os dados de condutância estomática foram obtidos utilizando-se de um porômetro de difusão, LI-1600, Li-Cor, sendo as medidas realizadas somente na face inferior das folhas escolhidas, tomando-se o cuidado para que essas medidas fossem realizadas sob condições estáveis, particularmente às condições radiativas. Foram cinco o número de medidas realizadas, no período compreendido entre dezembro de 1992 a agosto de 1993, totalizando 16 dias, obtendo-se 721 medidas simultâneas de condutância, temperatura da folha e da iluminação artificial no espectro do RFA (radiação fotossinteticamente ativa). Já as medidas de potencial hídrico se restringiram a 220 casos entre as 721 medidas descritas acima, distribuídas também em cinco ocasiões.

A condutividade hidráulica medida em amostras de caule em laboratório consistiu na aplicação de uma pressão em suas extremidades de 1 m de coluna de solução de ácido oxálico.

As medidas foram realizadas dentro de uma área uniforme de 12 hectares. O solo em questão apresenta um horizonte único muito profundo. A média anual de chuvas em Turrialba é de 2600 mm distribuídas ao longo de duas estações, a estação chuvosa se concentra de maio a novembro e a outra relativamente seca de dezembro a abril. A temperatura média anual é próxima de 22°C.

Os valores encontrados para os parâmetros da função da condutância estomática em relação a diferença de pressão de vapor de água entre a folha e o ar foi de 17 e 15. A condutância estomática máxima observada foi de $450 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. A temperatura foliar máxima para o fechamento dos estômatos foi de 41°C e a mínima de 15°C.

O modelo previu de maneira satisfatória a transpiração, temperatura foliar nas árvores de café e os gradientes de potencial de água no interior da plantas.

O modelo apresenta limitações referentes ao sistema solo-raíz. A transpiração nesse modelo foi simulada para a escala individual. Para iguais condições a simulação da

transpiração em escala “cobertura vegetal”, não é capaz de determinar o calor e o início do vapor de água nesse nível.

ANANDACOOMARASWAMY et al., (2000) observaram em um procedimento experimental os fatores que influenciaram nas taxas de transpiração do chá maduro clonal (*Camellia sinensis* L.) estimando a sua eficiência. A técnica utilizada para a determinação dessas taxas de transpiração foi a de “heat pulse” em plantas de chá crescidas no campo, na região de Talawakelle, no estado de St Coomb's no instituto de pesquisa do chá no Sri Lanka durante o período de 1 de janeiro a 19 de fevereiro de 1997. O chá no Sri Lanka é cultivado em altas e em baixas altitudes, a região é caracterizada pela alta taxa de umidade o que atende um dos pré-requisitos para o plantio dessa cultura, onde a exigência mínima é de 1200 mm de chuva ao ano, a taxa ótima está na faixa de 2500 a 3000 mm. No Sri Lanka essa taxa está acima dos 2000 mm ao ano.

Altas taxas de transpiração de extensas coberturas vegetais do chá na região causaram significativos déficits de água no solo no qual são responsáveis pelo decréscimo das taxas de expansão foliar. Mesmo quando o solo está na umidade ideal à excessiva taxa de transpiração resultante dos altos níveis de radiação solar e déficits de saturação próximos ao meio-dia podem causar déficits de água transitório no interior da planta (KRAMER, 1998; SMITH et al., 1994).

A produção de biomassa das plantas de chá é diretamente proporcional à transpiração. O déficit de vapor de pressão saturado do ar exerceu uma influência significativa na eficiência de transpiração de uma safra pelo controle do gradiente de pressão de vapor saturado da água entre uma câmara subestomática foliar e o ar do lado de fora (JONES, 1992).

A região de realização do experimento apresentou uma capacidade de campo de 44% e o ponto de murcha permanente de 26%. A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram definidos como o conteúdo de água no solo e os potenciais matriciais de -0.01 e -1.5 MPa, respectivamente. O conteúdo de água disponível no solo foi definido como a diferença entre conteúdo de água no solo e a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. O perfil do solo continha aproximadamente 200 mm de água disponível no primeiro metro de profundidade.

As plantas de chá maduras crescidas no campo do clone TRI 2025 foram usadas para as medidas. As plantas de chá cresceram sob as sombras de árvores de “*Grevillea robusta*” com espaçamento de 12 x 12 m. Os lotes experimentais foram de 8 x 6 m e as plantas de chá estavam com espaçamento de 1.2 x 0.6 m. A disseminação da cobertura das árvores de *Grevillea* foi de aproximadamente 5-6 m de diâmetro enquanto o diâmetro das plantas de chá foi de 1.0-1.2 m. No entanto as plantas de chá formaram uma contínua cobertura aplainada de 0.8-1.0 m de altura por meio do plantio dessas plantas em um espaçamento fechado. Em contraste a *Grevillea* foi plantada com um espaçamento mais dilatado formando uma descontínua cobertura com altura de aproximadamente 12-15 m.

A descrição do método de medidas de transpiração se baseia como relatado anteriormente nos “heat pulse”, onde ocorre à medição do tempo solicitado para um “heat pulse” aplicado em um ponto determinado do caule para ser transferido a um outro ponto com uma certa distância entre eles, com isso pode-se determinar a taxa de fluxo de seiva do xilema. A densidade de fluxo de seiva é então calculado usando o fluxo geométrico, a área de secção cruzada e a velocidade do fluxo (SWANSON, 1994).

As taxas de transpiração foram influenciadas por tratamentos impostos a lotes experimentais em diferentes períodos de medidas, esses lotes apresentavam uma dimensão de 8 m por 6 m na qual se aplicaram diferentes níveis de sombreamento (25, 60, 80 e 85%). Após uma semana de imposição dos tratamentos de sombreamento, a transpiração foi medida simultaneamente após um período de três dias.

Foi medida também a variação das taxas de transpiração em relação à água contida no solo a uma profundidade de até 15 cm partindo da superfície do solo, no período de 1º de janeiro a 14 de fevereiro de 1997. A água contida no solo decaiu da capacidade de campo de 44% no dia 1º a 15% no dia 23 de janeiro. A taxa de transpiração também mostrou uma similaridade de comportamento à capacidade de campo, caiu de 1.591 por planta para 0.71 por dia.

Quando a água contida no solo se aproximou à capacidade de campo, as taxas de transpiração máxima foram de 0.53 a 0.931 por planta. A máxima correspondente quando a água contida no solo foi próxima a ponto de murcha permanente ficou na faixa de 0.27 a 0.531 por planta ao dia. Já a eficiência de transpiração nas plantas de chá foi de 9.637

$\text{Kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ de água transpirada apresentando uma relação linear entre a produção foliar e a transpiração.

Com respeito à água contida no solo foi identificado que a transpiração do chá não diminuiu significativamente até que essa água contida alcançasse um valor limite de 33% correspondendo a uma depleção de 65% da água disponível no topo da camada superficial (0 a 15 cm). Na verdade este valor de limitação da água disponível também depende da demanda de vapor de água na atmosfera (DENMEAD & SHAW, 1962) determinado pela radiação solar, déficit de pressão de vapor e resistência da camada limite (PENMAN, 1948).

O decréscimo das taxas de transpiração com a diminuição da disponibilidade da água no solo pode ser creditado a uma combinação de vários fenômenos tal qual o aumento da resistência da cobertura (MONTEITH et al., 1965), incremento da resistência hidráulica no interior do xilema e o aumento da resistência da interface solo-raiz (PASSIOURA, 1988a) Outro fator que influenciou na transpiração do chá foi a radiação solar, onde o principal fator de origem da transpiração é a energia utilizada para a evaporação da água na cobertura da planta. A sensibilidade da transpiração respondendo à radiação é dependente do grau de união da cobertura vegetal do chá com o ambiente a sensibilidade é aumentada com a diminuição da união.

O valor da eficiência de transpiração para as folhas de chá nesse experimento ($9637 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) é maior do que a abrangência da eficiência do uso da água de 1.5 a $5.2 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (STEPHENS & CARR, 1991).

Portanto conclui-se que as taxas de transpiração da cobertura vegetal do chá adulto sob condições hídricas favoráveis foram determinadas conjuntamente pelos níveis de radiação solar e pela disponibilidade de água contida no solo. Nas condições de solo e atmosfera as áreas de crescimento do chá em altitudes elevadas no Sri Lanka, próximo a 65% de disponibilidade de água no solo. A diminuição da taxa de transpiração com a diminuição da radiação a uma taxa de 0.031 litros para cada planta ao dia por porcentagem de redução na radiação solar. A estimativa da eficiência da transpiração do chá para o ambiente é de $9637 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ da água transpirada.

MEIRESONNE et al., (1999) estudaram o fluxo de seiva por meio da simulação da transpiração para o poplar híbrido (*Populus trichocarpa x P. deltoides*) plantado no leste

dos Flanders na Bélgica mais precisamente em Balegem no ano de 1997, onde a altitude da região atinge 45 m sobre o nível do mar. O local do experimento é caracterizado por uma área arborizada de 1,5 ha, a área apresenta um relevo plano, o solo é moderadamente gleico argiloso com degradação textural do horizonte B. Em 1984 foi plantado aproximadamente um ha de poplar clonados (*Populus trichocarpa* x *P. deltoides* cv Beaupré) com dois anos de idade enquanto que no restante da área plantou-se (*Populus trichocarpa* x *P. deltoides* cv *Boelare*), o espaçamento utilizado foi de 7 m por 7.5 m. As condições climáticas da região foram obtidas por uma estação localizada a poucos metros da área em questão. A transpiração foi medida por técnicas de fluxo de seiva em árvores individuais utilizando-se também de simulações no modelo WAVE (Water and Agrochemicals in soil, crop and Vadose Environment) de balanço hídrico. Esse modelo especificamente descreve o transporte e a transformação da substância e energia no solo. O modelo consiste de diferentes módulos baseados nas propriedades hidráulicas do solo, estes por sua vez incluem a retenção da umidade do solo descrito pelo modelo de função de energia van Genuchten.

A transpiração real é limitada pela transpiração potencial nunca sendo maior do que a última, desde que o programa WAVE foi originalmente desenvolvido para culturas agrícolas, apesar do modelo ser calibrado para condições existentes em florestas. Por fim há que se relatar que o modelo gera valores diários e cumulativos de evaporação, transpiração e evapotranspiração e integrado aos fluxos de água e a mudança de armazenamento de água abaixo da camada superficial.

Para as medidas de fluxo de seiva em árvores selecionadas para tal utilizou-se do método da deformação a quente no campo com o aquecimento radial linear e um sensor combinado, que consiste de um aquecedor (fio com resistência isolada) e dois ou três termopares, situados próximo ao aquecedor. Para as medidas de rotina do fluxo de seiva (fluxos diurnos dinâmicos), sensores padrões foram inseridos dentro de camadas da árvore com profundidades conhecidas. O taxa de fluxo de seiva foi medida a seis camadas de profundidade (tomando como parâmetro a camada superficial), as diferenças de temperatura foram medidas a cada minuto e registradas as médias depois de 15 minutos de intervalo (ocasionalmente durante estudos intensivos depois de 1 minuto de intervalo) por um aparelho denominado datalog.

A transpiração da unidade de área local (tronco) para toda a plantação foi obtida por meio de dados do fluxo de seiva de árvores pré-escolhidas baseado na amostra local. O processo de obtenção desses dados foi descrito com maior riqueza de detalhes por CERMAK et al., 1998) e por, mais um resumo dos procedimentos seguidos. A média diária da taxa de fluxo de seiva em árvores escolhidas previamente em uma população foi relatada para a área basal e alternadamente para a área principal das árvores da amostra escolhida.

Os fluxos de seiva entre os pontos medidos foram mínimos devido ao fato dos caules das árvores serem praticamente simétricas. O fluxo máximo de seiva ocorreu próximo ao meio do tronco nas árvores pesquisadas. As médias das transpirações dos indivíduos pesquisados possibilitaram que regressões lineares e curvilíneas fossem realizadas, mostrando uma combinação satisfatória, mas a aplicação da equação curvilínea foi encarada como mais confiável especialmente para as árvores maiores e menores no local de estudo.

O período compreendido entre 09 de agosto a 03 de setembro de 1997, mostrou que a transpiração medida foi de 141 mm e a proveniente da modelagem foi de 149 mm, no entanto, um quarto dos dias desse intervalo o modelo estimou de forma significativa a transpiração, obtida por meio das medidas do fluxo de seiva, portanto uma mais detalhada análise dos percursos diurnos foi necessário. Nos dias com as melhores combinações os dados do modelo e os medidos no que diz respeito às taxas de transpiração apresentaram uma diferença entre 2 a 10% entre as aproximações, ressaltando a não ocorrência de precipitação nos referidos dias.

Um importante fator na mensuração da transpiração é o déficit de pressão de vapor saturado, que foi de médio para alto, com máximo horas dias de 12 hPa e horas noite próxima a zero, especificamente nesses dias, o fluxo de seiva alcançou altos valores de pico durante o dia e níveis médios de fluxo durante as horas da noite (cerca de 10% dos valores diurnos).

Nos dias 09 e 10 agosto de 1997, os valores de fluxo de seiva noturnos foram 15% maiores quando comparados aos valores diurnos sendo estes altamente sensíveis à pressão de vapor saturado, nesses dias as transpirações medidas foram menores que as estabelecidas pelo modelo. As variações diurnas das taxas de fluxos de seiva foram coerentes com o fechamento dos estômatos próximo ao meio dia, em resposta ao estresse hídrico, no

entanto, o modelo não reproduz efeitos semelhantes. O modelo apresentou bons resultados para valores baixos de transpiração diária quando comparados a valores medidos unicamente isto é, subestimando a transpiração medida. Já nos dias com eventos de precipitação, o efeito da mesma nas taxas de transpiração do modelo foi dependente da quantidade e do momento da precipitação. Quando a precipitação foi maior que 1mm o modelo desviou da precipitação medida quando a chuva não caiu durante o período de ocorrência de transpiração com isso o modelo previu transpiração zero, embora as medidas de fluxo de seiva mostraram um nível de transpiração bastante alto. Nos dias com chuvas densas e concentradas em um curto período específico diurno com uma persistente demanda evaporativa a simulação da transpiração foi deficiente. Nos dias em particular com alta precipitação distribuída ao longo do período com ocorrência de baixa radiação solar e demanda evaporativa o modelo WAVE simulou de maneira satisfatória a transpiração do local. Tipicamente esses dias foram caracterizados com baixos valores de pressão de vapor saturado. Nos dias chuvosos as taxas de fluxos de seiva são baixas, permanecendo baixas por um tempo após o evento chuvoso.

Após a observação das peculiaridades acima se pode considerar que a transpiração sazonal nos “*Poplar Monoclonal*” foi de 320 mm com um máximo de cinco mm por dia e uma média diária de 1.9 mm. Essa quantidade foi considerável quando comparada com outros espécimes da região. Esses valores foram comparáveis também àqueles disponíveis na literatura para muitas florestas na Europa (ROBERTS, 1994).

Para as condições específicas desse estudo a precipitação em Balegem, Bélgica foi alta, apresentando uma boa capacidade de armazenamento de água no solo argiloso da região, portanto certificando-se da ausência de estresse hídrico.

As comparações dos resultados da escalada do fluxo de seiva e a simulação do balanço de água desse estudo com outros são poucos. Para a determinação da transpiração do “*Poplar Monoclonal*” foi observado uma aceitável concordância entre a transpiração medida pelo método do fluxo de seiva em árvores selecionadas e a obtida pela simulação do modelo WAVE.

GRANTZ e MEINZER (1991) avaliaram as reações dos estômatos à umidade utilizando a técnica de razão de Bowen para o ajuste da transpiração da cana-de-açúcar no campo, por meio do conhecimento da radiação líquida, da condutância da cobertura e da

evapotranspiração do dossel da cultura em questão, interagindo com os fatores ambientais e fisiológicos na regulação da perda de água. A razão de Bowen na técnica de balanço de energia avalia as respostas dos estômatos para a umidade na ausência do potencial instrumental associado com o porômetro e a dimensão da câmara foliar.

Esse experimento foi realizado em uma área de 140 ha plantada com cana-de-açúcar (*Saccharum spp. hybrid*; cv. H65-7052) localizado perto de Waipahu (Oahu) Hawaii, o plantio ocorreu no mês de maio de 1987 com segmentos de caule com 3 nódulos. À distância entre as linhas variava alternadamente de 0.9 e 2.1 m, não ocorreu estresse hídrico pois se lançou mão da irrigação por gotejamento entre linhas a cada 72 horas. O solo da área era um Molokai silte argiloso calcário (*Typic Torrox*). As medidas se concentraram nos meses de setembro, outubro e novembro de 1987, com a idade da lavoura em 3.5, 4.5 e 5.5 meses. Os dados climáticos foram obtidos graças a uma estação agrometeorológica colocada a 7 metros acima da plantação. Parâmetros como a densidade de fluxo do fóton fotossinteticamente ativo foi medido com um sensor quantum.

As medidas ecofisiológicas demonstraram os cursos paralelos da radiação líquida e a evapotranspiração em uma área abrangente plantada com cana-de-açúcar, essa relação fechada entre a energia disponível e a perda de água, tem sugerido para muitos observadores que a radiação líquida controla a transpiração, sobrando uma pequena função para as propriedades reguladoras estomatais. De qualquer forma a relativa estabilidade da média da temperatura foliar (aproximadamente 2°C sobre a temperatura do ar), não demonstrada e a razão de Bowen de 0.4 também não demonstrada, sugeriu um sistema regulador coordenado no qual as reações estomatais são unidas para mudar a radiação líquida. As reações estomatais na cana-de-açúcar são impulsionadas pela densidade de radiação fotossinteticamente ativa, relacionado intimamente com a radiação líquida.

O aumento da condutância do dossel com a radiação líquida foi similar ao aumento na condutância estomática com a radiação líquida observada previamente nas medidas porométricas diretas. Nesse experimento a condutância do dossel representa uma condutância funcional, relatado para os fluxos associados a gradientes provenientes do interior da folha. A mudança na condutância do dossel nesse experimento foi largamente refletido na condutância estomática (GRANTZ e MEINZER, 1990).

A radiação líquida teve uma importância fundamental também para a definição da temperatura foliar e, portanto a diferença de pressão de vapor da folha-ar foi relativamente estável. A relação de fechamento entre a densidade de fluxo dos fótons fotossinteticamente ativos e a radiação líquida significou uma relação de fechamento entre a densidade de fluxo e a diferença de pressão de vapor folha-ar. Nesse estudo se comprovou que a densidade de fluxo dos fótons fotossinteticamente ativos é o principal estimulador da abertura dos estômatos, enquanto que a diferença de pressão de vapor folha-ar é o estímulo principal de fechamento dos mesmos na cana-de-açúcar e em outras espécies (KAUFFMANN, 1982).

A relação acentuada entre a condutância do dossel (g_c) pela densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (I) e a diferença de pressão de vapor folha-ar (V), sugeriram que a condutância do dossel pode ser mecanicamente relatado para compor os parâmetros I / V , que incorporou juntamente o efeito de abertura da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos e o profundo efeito de fechamento da diferença de pressão de vapor folha-ar, na condutância estomática.

Baixos níveis de diferença de pressão de vapor folha-ar no campo, foram associados com baixos níveis de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos no qual as reações dos estômatos à densidade são mais sensíveis, o mais distante da saturação e o mais provável equilíbrio das reações dos estômatos à diferença de pressão.

Na superfície foliar como referência às células guardas dos estômatos respondem a condições ambientais imediatas delas. A sensibilidade das reações dos estômatos à diferença de pressão de vapor folha-ar é determinada pela magnitude das reações e pela amplitude dos estímulos impostos à superfície foliar.

Quando a disponibilidade de informações é suficiente para determinar a demanda evaporativa na superfície foliar, não existe distinção entre o uso da diferença de pressão de vapor folha-ar ou a quantidade ligada ao déficit de saturação do ar.

Na apresentação de resultados desse estudo a condutância da camada limite para a cana-de-açúcar foi de aproximadamente $0.7 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na base próxima ao chão e ficou na faixa de 0.1 a $0.3 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, na base foliar (GRANTZ e MEINZER, 1989).

A radiação líquida, transpiração e condutância estomática foram demonstradas de maneira conjunta em uma série de vezes, sob condições ideais de umidade. Isso reflete um sistema reformador no qual as reações dos estômatos à luz e à demanda evaporativa

conduzida a níveis de condutância do dossel que mantém a transpiração proporcional à energia disponível sem induzir no aumento do aquecimento das folhas. As reações dos estômatos à diferença de pressão de vapor folha-ar, são uma importante componente desse sistema de ambiente no campo.

GRANIER et al., (2000) estudaram a quantificação de diferentes fluxos de energia e de água em ecossistemas “*beech*” variedade *Fagus sylvatica* L. comum em todo o continente europeu, focando-se na transpiração e na evapotranspiração total das árvores. Por meio das medidas de fluxo de seiva foi possível analisar a variabilidade da transpiração em árvores escolhidas dentro da área experimental, localizada dentro da floresta de Hesse no leste da França e quantificar os diferentes fluxos de água no ecossistema “*beech*” nesse trabalho buscou-se a comparação entre as transpirações dos indivíduos escolhidos com a evapotranspiração total. O controle ambiental e fisiológico da evapotranspiração do local foi avaliado usando a variação da condutância da cobertura vegetal que por sua vez é derivada das variáveis climáticas e das medidas de transpiração. A parametrização de um grande modelo foliar envolvendo a transpiração dos “*beechs*” os efeitos da radiação, os efeitos do déficit de vapor de pressão, da temperatura do ar e do estresse hídrico foi realizado. O objetivo final desse trabalho foi dar validade ao modelo de transpiração local para uma segunda floresta de “*beechs*” mas com diferenciação na idade, na estrutura e nas condições ambientais.

As técnicas utilizadas nesse trabalho foram uma combinação entre a covariância “Eddy” com o fluxo de seiva e as já clássicas medidas de balanço de água por um período superior a dois anos. A floresta Hesse possui uma elevação de 300 metros acima do nível do mar, a área é composta em 90% por “*beechs*”, a idade média das árvores na época de medidas era de 30 anos, com uma densidade local de 3800 caules ha⁻¹, com média de altura na faixa de 13 metros, a circunferência das árvores medidas, em uma altura de 1.3 metro era de 227 mm. O experimento se realizou em uma área de 0.6 ha na parte central da floresta em questão. As medidas concentraram-se em árvores com altura entre 10 e 16 metros. A precipitação anual foi de 820 mm e a média anual de temperatura foi de 9.2 C. Os resultados obtidos nessa floresta foram comparados com outros obtidos na floresta de Aubure, com altitude acima de 1000 metros.

A técnica de dissipação termal (GRANIER, 1985 e 1987) foi usada para medir a densidade de fluxo de seiva em árvores escolhidas previamente, o equipamento foi instalado no tronco a uma altura de 1.5 metro e permite estimar o fluxo nas subcamadas do tronco.

A condutância da cobertura foi calculada por meio da inversão da equação de Penman-Monteith. Nesse trabalho estimou-se a condutância da cobertura total (g_{ct}), a condutância da cobertura das árvores (g_c). A condutância aerodinâmica (g_a) foi estimada pela velocidade do vento. Para o cálculo da condutância da cobertura das árvores (g_c), os dados noturnos e os dos períodos chuvosos foram eliminados, assim como os dados das primeiras horas da manhã e os últimos da tarde, quando tenderam a zero os dados de radiação, déficit de pressão de vapor saturado e o fluxo de seiva.

Variação radial e fluxo de seiva no tronco: Dentro de uma determinada árvore os perfis radiais dia a dia da densidade de fluxo de seiva (F_d) foram similares quando expressados em porcentagem da máxima densidade de fluxo de seiva. De qualquer forma diferentes padrões foram observados entre três indivíduos estudados. Duas delas mostraram medidas máximas do fluxo de seiva na camada externa (0 - 10 mm abaixo da camada superficial) do tronco, enquanto que na terceira árvore estudada as medidas máximas concentraram-se na camada compreendida 10 - 20 mm. Para camadas mais profundas (acima de 20 mm) todas as árvores mostraram uma diminuição de maneira exponencial de forma semelhante para a densidade de fluxo de seiva. A proporção da densidade do fluxo de seiva que circula nas camadas mais profundas mostraram uma tendência de aumento com o aumento da transpiração das árvores em questão.

Transpiração local: a estimativa da transpiração local exige análises da variação do fluxo de seiva entre as árvores. Durante os dias mais claros as taxas maiores de densidade de fluxo de seiva (F_d) (acima de 10^{-4} ms^{-1}) foram observadas em árvores dominantes. O aumento na densidade de fluxo de seiva foi observado após o período da manhã e a diminuição no início da tarde para as árvores menores quando comparadas a árvores dominantes.

Os valores acumulados obtidos para a transpiração local foram de 256 mm para a floresta de Hesse no ano de 1996 e de 253 mm no ano de 1997, esses dados foram comparados com o dado obtido na floresta de Aubure que foi de 218 mm no ano de 1995.

Já a evapotranspiração encontrada apenas na floresta de Hesse foi de 338 mm no ano de 1996 e de 351 mm no ano de 1997.

Foi observado um perfil do fluxo de seiva de maneira radial nos troncos, a velocidade do fluxo tem um perfil semelhante com a água contida na madeira.

A transpiração local foi igual a 77% a evapotranspiração total quando a cobertura no local de medida estava seca, 23% restantes pode ser creditada a evaporação do solo. No entanto isso é uma incógnita na diferença entre a evapotranspiração e a transpiração local para erros de medidas juntamente em ambos os termos. Por outro lado à evaporação total da floresta pôde ser subestimada, como suspeitado quando comparado à radiação líquida para o cálculo dos fluxos de energia medido.

Esse trabalho mostrou que a combinação de dois métodos medindo o fluxo de vapor d'água em diferentes escalas espaciais foi possível, na verdade somente sob algumas precauções. Todavia foram mostradas algumas incertezas associadas com ambos os métodos. Surpreendentemente não foram encontradas diferenças significativas na transpiração florestal quando se comparou o crescimento dos “beechs” locais sob várias condições, tais como, idade, clima e solo.

ZHANG et al., (1997) estimaram o fluxo de seiva para a totalidade das árvores pré-escolhidas, comparando-o com estimativas de transpiração advindas de medidas porométricas em um estudo com árvores “poplar” (TT 32 *Populus trichocarpa* x *P. tacamahaca*) área localizada na fazenda da Universidade de Reading em Reading Reino Unido, sendo local uma planície do rio Tâmsa, com solo arenoso, lençol freático variando de 1.2 a 1.3 metros abaixo da superfície do solo. Os “poplar” foram plantados em 1988 em duplas linhas de plantio, com um espaçamento de 1 metro entre as árvores e 2 metros entre as linhas de plantio. Nesse estudo foram comparadas as taxas de fluxos de seiva medidas usando o método de balanço de energia com aquelas obtidas pela equação de Penman-Monteith com as condutâncias estomáticas medidas pelo porômetro. Estimou-se a condutância estomática pelas medidas de fluxos de seiva na equação invertida de Penman-Monteith e para o modelo de dependência da condutância estomática nas condições ambientais usando análises não lineares. Para o modelo de transpiração de árvores “poplar” selecionadas usou-se a equação de Penman-Monteith, com condutâncias

estomáticas previstas comparando-as com as taxas de transpiração e com as medidas de fluxos de seiva por um longo período.

As árvores selecionadas para as medidas foram divididas em camadas que foram denominada baixa, média e superior de acordo com as alturas dos segmentos de caule e troncos. As datas de medidas foram 09/05/1994, 04/06/1994, 24/06/1994, 14/07/1994, 13/08/1994 e 06/09/1994.

Para as medidas de fluxos de seiva foram utilizados cinco aparelhos que são: SGB10, SGB13, SGB16, Dynamax Inc., Houston. Esses equipamentos mediram de maio a setembro as transpirações continuadas de cinco segmentos de caule, dois com crescimentos a partir da camada inferior, dois a partir da camada média e 1 da camada superior das coberturas em 2 “*poplar*”. Medidas a cada 15 segundos foram realizadas, em período de 15 minutos. Para estimar o calor armazenado no segmento do caule, as mudanças na temperatura do caule sobre nos intervalos de 15 minutos foram mensurados nos primeiros e nos últimos minutos de cada intervalo. O cálculo das taxas de fluxos de seiva foi baseado em (BAKER e VAN BAVEL (1987) e STEINBERG et al., (1989)). O fluxo de seiva medido em cada aparelho citado acima em cada segmento de caule escolhido foi expresso por unidade de área foliar, por interpolação linear da área foliar em cada segmento de caule, estimado por meio da contagem do número de folhas em intervalos de 3 semanas. A transpiração que não foi medida por aparelhos foi determinada pela multiplicação da média das taxas de transpiração por unidade foliar de área em cada camada, avaliando o fluxo de seiva por área foliar dos segmentos de caule estimada pela multiplicação do número de folhas e a média da área por folha.

As condutâncias estomáticas para o vapor d’água das folhas do “*poplar*” foram medidas nos mesmos segmentos de caule em que se mediram os fluxos de seiva. A condutância estomática da camada superior das folhas foi indetectável devido à alta resistência estomática. As medidas realizaram-se de hora em hora, no lado subaxial das folhas, o período de medidas se estendeu das 5:00h ou 6:00h até as 16:00h ou 17:00h GMT.

Os resultados encontrados para a condutância estomática nas camadas dos segmentos de caule mencionados são os seguintes: para o dia 01/06/1994 a camada inferior apresentou uma condutância estomática da ordem de 5.85 mms^{-1} , na camada intermediária a condutância registrada foi de 5.89 mms^{-1} . No dia 15/06/1994 os valores encontrados

foram de 7.68, 7.40 e 7.03 mms^{-1} para a camada inferior, intermediária e superior respectivamente. Para o dia 29/06/1994 o valor encontrado para a camada inferior foi de 7.29 mms^{-1} , 5.73 mms^{-1} para a camada intermediária e 5.40 mms^{-1} para a camada inferior. Já para o dia 14/07/1994 os valores registrados foram: 6.88, 7.04 e 6.32 mms^{-1} para a camada inferior, intermediária e superior respectivamente. No dia 05/08/1994 encontrou-se: 5.97 mms^{-1} para as camadas inferiores do segmento de caule, 4.78 mms^{-1} para a camada intermediária e 5.04 mms^{-1} para a camada superior. Finalmente para o dia 20/08/1994 as médias de condutâncias estomáticas encontradas foram: 6.77 mms^{-1} (camada inferior), 6.66 mms^{-1} (camada intermediária) e 6.14 mms^{-1} (camada superior). Nesse trabalho a condutância estomática foi afetada pela radiação solar, déficit de vapor de pressão saturada, demanda evaporativa e a umidade do solo. Embora essas variáveis interajam firmemente, a condutância estomática nas primeiras horas da manhã foi restrita devido à baixa irradiação. A condutância aumenta com a elevação da radiação solar e o déficit de vapor de pressão. Os efeitos da umidade do solo na condutância estomática foram evidentes.

As taxas de transpiração foram estimadas ao se utilizar a equação de Penman-Monteith com as medidas de condutância estomática ($R^2 = 0.886$) nos seis dias selecionados. A variável ambiental dominante que influencia a transpiração é o déficit de vapor de pressão chamado “termo aerodinâmico” na equação de Penman-Monteith responsável por mais de 70% da transpiração total diária, os 30% restante é de responsabilidade do “componente de radiação”.

Os valores encontrados da fração do componente da radiação foram: 0.23 gh^{-1} para o dia 01/06/1994, 0.29 gh^{-1} para o dia 15/06/1994, 0.19 gh^{-1} para o dia 29/06/1994, 0.29 gh^{-1} para o dia 14/07/1994, 0.25 gh^{-1} para o dia 05/08/1994 e 0.19 gh^{-1} para o dia 20/08/1994.

Os valores estimados da fração do componente aerodinâmico foram: 0.77 gh^{-1} para o dia 01/06/1994, 0.71 gh^{-1} para o dia 15/06/1994, 0.81 gh^{-1} para o dia 29/06/1994, 0.71 gh^{-1} para o dia 14/07/1994, 0.75 gh^{-1} para o dia 05/08/1994 e 0.81 gh^{-1} para o dia 20/08/1994.

Esse estudo demonstrou que foi encontrada uma combinação entre as medidas de fluxos de seiva e as estimadas pela equação de Penman-Monteith essa combinação é reconhecidamente uma excelente ferramenta de pesquisa para o estudo da transpiração em árvores selecionadas bem como a relação planta-água. As medidas de fluxos de seiva

mostraram uma boa concordância com as estimativas da transpiração por meio da equação de Penman-Monteith.

O controle da transpiração por meio dos estômatos foi estudado por GRANTZ & MEIZER (1989) que relataram que a condutância estomática em apenas uma folha e a transpiração de uma completa cobertura da cana-de-açúcar foi medida simultaneamente usando técnicas independentes. O controle ambiental e estomático do dossel foi avaliado em três estágios de desenvolvimento correspondentes a índices de área foliar (IAF) de 2.2 - 3.6 e 5.6. Folhas e camadas limítrofes da cobertura impediram o transporte do vapor de água transpirada de fora da cobertura, sendo isso a causa da umidade ao redor das folhas, a fim de descobrir valores pertencentes particularmente ao equilíbrio local em relação a um valor determinado pela umidade do volume da massa de ar sobre a cobertura. Essa tendência para separar a transpiração proveniente diretamente do controle estomatal, assim que prevista a transpiração das medidas da condutância estomática e a diferença de pressão de vapor folha-ar foi constantemente super estimada como o ponto de referência que engloba medidas de vapor de pressão que foram realizadas mais distante da folha e dentro do volume de ar. A divisão de controle entre a radiação líquida e a abertura foi expressa como sem dimensionamento, amortecendo o coeficiente de ordenamento de zero a um. Quando a abertura dos estômatos foi próxima ao máximo, seu coeficiente foi de aproximadamente 0.9, indicando pequena redução na abertura estomatal desejando ter pequeno efeito na transpiração de cobertura. A máxima taxa de transpiração foi de qualquer maneira limitada pelo grande ajustamento na máxima condutância estomática durante o desenvolvimento da cobertura. O produto da máxima condutância estomática e o índice de área foliar (IAF), uma possível condutância total da cobertura na ausência de efeitos nas camadas limítrofes, ficou constante mesmo com IAF aumentando. Similarmente a condutância máxima da cobertura derivada das medidas micrometeorológicas independentes também ficaram constantes acima desse período. Cálculos indicaram que a combinação foliar e a condutância das camadas limítrofes da cobertura diminuíram com o acréscimo de IAF semelhantemente em relação à condutância da camada limítrofe, a condutância estomática máxima ficou próxima a constante de aproximadamente 0.5. Essas observações revelaram que a abertura ajustada manteve juntos a transpiração e o grau de

abertura dos estômatos de controle da constante de transpiração como o desenvolvimento da cobertura procedida.

A idéia que a perda de água através da transpiração é regulada largamente pela abertura dos estômatos é sustentada por medidas realizadas em laboratório e no campo, medidas feitas através do comportamento estomatal no uso das câmaras bem ventiladas das folhas. Em aparente contraste, investigações da transpiração em nível ecologicamente mais relevante de todas as plantas, cobertura intacta ou regiões inteiras indicaram que variáveis ambientais particularmente as radiações líquidas exerceram mais influência do que o controle da perda de água da vegetação pelos estômatos. Diferentes modelos baseados no estado atmosférico, no qual não se toma conta de características estomatais, têm sido usado com sucesso para prever a evaporação vinda da vegetação comprovadamente sem água, isso têm sido apontado como algo sem muito nexo. Esse aparente conflito, não é o único das evidências experimentais, mas de interpretação (JARVIS e McNAUGHTON, 1986). A resolução do falso conflito em uma avaliação das conseqüências da reunião e interpretação de dados em diferentes quantidades.

Pesquisas têm sugerido que a transpiração sob condições de campo pode ser estimada como o produto da condutância estomática determinada com um porômetro e a diferença de pressão de vapor folha-ar. A transpiração nesse estudo foi determinada no interior da plantação (entre os indivíduos) e na parte superior do canavial, na cobertura.

A pressão de vapor diminui por meio da superfície foliar, folha e das camadas limítrofes da cobertura e dentro da massa de ar global bem sobre a cobertura. Na densidade da cobertura pobremente ventilada, o uso de alguns outros valores de pressão que são impostos diretamente na superfície foliar onde causará uma superestimativa tanto da transpiração como no grau em que o estômato controla a transpiração. Essa extensão no qual o controle dos estômatos depende amplamente da transpiração da cobertura com relação à magnitude dos estômatos e da condutância na camada limítrofe determina o balanço entre a imposição da pressão de vapor da região e na superfície foliar e o equilíbrio local da pressão de vapor na região próxima a folha por causa da transpiração (GRANTZ & MEINZER, 1989).

HSIAO (1973) verificou uma diminuição da transpiração devido ao estresse hídrico. A taxa de transpiração de folhas de plantas mantidas em condições naturais é determinada,

principalmente, por duas variáveis físicas: radiação e déficit de pressão de vapor saturado e por uma variável fisiológica: condutância estomática. Entretanto, o fechamento dos estômatos é, geralmente, o mecanismo dominante na diminuição da taxa de transpiração em plantas mesófitas, durante o desenvolvimento do estresse hídrico, sendo que os estômatos não respondem a mudanças no potencial de água da folha até que um valor crítico de potencial seja alcançado.

RAWSON et al. (1977) trabalhando com sorgo granífero submetido à deficiência hídrica, verificaram que a taxa de transpiração das folhas aumentaram linearmente com aumento da diferença da pressão de vapor entre a folha e o ar. JOHNSON et al. (1974) postularam que a taxa de transpiração de plantas de trigo e cevada crescendo no campo, foi igual a zero quando o potencial de água da folha atingiu -28 bar.

HANSEN (1974) estudou a influência dos estresses hídricos e a demanda de transpiração sobre o teor relativo de água, resistência ao fluxo hídrico no solo e na planta e transpiração em *Lolium multiflorum*. Concluiu-se que a resistência do solo é muito pequena quando comparada com a resistência da planta, sendo que esta última varia com a transpiração e é dependente das taxas de fluxo e decrescente com o aumento do potencial da água da folha. O estudo em questão mostrou, também, uma relação não linear entre o potencial no sistema e a taxa de transpiração. A resistência estomática aumentou rapidamente em potenciais da folha menores do que -11 bar, tendo sido observada uma correlação linear positiva entre condutância estomática e taxa relativa de transpiração (relação entre taxa real e taxa máxima de transpiração).

SANCHEZ-DIAZ e MOONEY (1979) estudando três espécies de arbustos nativos do Vale da Morte na Califórnia, concluíram que a relação entre a taxa de transpiração e o potencial da água do xilema foi linear, quando a temperatura da câmara de crescimento era 35°C. Essas plantas são incapazes de evitar a depressão do potencial da água da planta quando a transpiração aumenta. Uma outra espécie mostrou pequena regulação estomática da transpiração e um sistema de transporte hídrico altamente eficiente. Essas plantas sustentam altas taxas de transpiração sem decréscimo significativo do potencial da água da planta.

NABLE et al. (1999) demonstrou que a transpiração para cana-de-açúcar é extremamente sensível à falta de umidade do solo, consideravelmente mais sensível quando comparado à cultura do sorgo.

TEIXEIRA FILHO (1995) utilizou uma modelagem da transpiração vegetal baseada no modelo de Penman-Monteith e no modelo de (JARVIS, 1976) modificado. O modelo de (JARVIS, 1976), modificado por foi aplicado para simular a condutância da cobertura vegetal condicionada às variações climáticas e às disponibilidades de água no solo. O método termoeletrico é atualmente um dos métodos mais utilizados para medir a transpiração, em razão de sua facilidade de instalação e baixo custo envolvido. Essa técnica de medida de fluxo foi pesquisada para estudos de circulação sanguínea humana (MARSHALL, 1958). Diversos autores utilizaram o método termoeletrico para a determinação do fluxo de seiva nos vegetais, relacionando-o às condições climáticas (CLOSS, 1958; GIFFORD, 1968; COHEN et al., 1981; HUMPHRIES e GIFFORD, 1984; GRANIER, 1985; COHEN e FUCHS, 1989; TEIXEIRA FILHO, 1995). Essa técnica pode ser dividida em três métodos: onda de energia, balanço de energia e fluxometria radial. O método do balanço de energia procura estimar o fluxo de seiva através do balanço de calor perdido e transportado no caule dos vegetais, a partir de um aquecimento artificial constante ou variável. Esse método de medida da transpiração é mais indicado para espécies de pequenos diâmetros de troncos e caules.

A integração dos fenômenos das trocas hídricas em nível foliar e em nível de cobertura vegetal pode ser realizada com a ajuda de um índice que permite estimar a superfície fotossinteticamente ativa. Esse índice pode ser expresso geralmente pelo índice de folhas, normalmente denominado IAF (Índice de Área Foliar).

De acordo com NOGUEIRA e SILVA JR. (2001), trabalhos desta natureza, direcionados para culturas tropicais, ampliaram-se a partir da década de 80. MACHADO *et al.* (1999) analisaram, sob condições de laboratório, as trocas gasosas em laranjeiras “Valência” enxertada sobre duas espécies de porta-enxerto e submetidas à variação de umidade de água no substrato de crescimento, por meio de medidas diárias de: taxa de fotossíntese, condutância estomática, taxa de transpiração, fluxo de fotos sinteticamente ativos (medidas executadas com um analisador portátil de fotossíntese, modelo 6200 Li Cor), teor de umidade no substrato, conteúdo relativo de água nas folhas e potencial de

água na folha, sendo que os resultados indicaram que, sob estresse mais severo, a fotossíntese diminuiu relativamente mais que a transpiração.

NOGUEIRA *et al.* (2000a) estudaram o curso diário e sazonal das trocas gasosas, a temperatura foliar e o potencial hídrico da acerola, no campo, em um pomar comercial localizado no município de Paudalho, PE, sendo que para as duas matrizes selecionadas (UFRPE 7 e UFRPE 8) foram realizadas medidas de conteúdo de água no solo, transpiração, resistência difusiva e temperatura foliar (realizadas com um porômetro, modelo Li-1600) e radiação fotossinteticamente ativa. Os autores concluíram que o estresse hídrico atua na regulação das relações hídricas das duas matrizes, restringindo a transpiração, aumentando a resistência difusiva e reduzindo o potencial hídrico das folhas e, a matriz UFRPE 8 mostrou-se mais adaptada a períodos de estiagem do que a matriz UFRPE 7.

NOGUEIRA *et al.* (2000b) avaliaram a influência do estresse hídrico sobre a transpiração, resistência difusiva, temperatura foliar e tensão de água no xilema em plantas jovens de pitanga, de dois genótipos: IPA 2.2 e IPA 4.3. Um porômetro de equilíbrio dinâmico modelo Li 1600 foi utilizado para as medir resistência difusiva, temperatura foliar e transpiração. A pesquisa concluiu que existe variabilidade genética entre as os genótipos IPA 2.2 e IPA 4.3 com relação ao comportamento estomático e a tensão de água no xilema; que esses genótipos são tolerantes a períodos de estresse hídrico sendo que o genótipo IPA 4.3 se recupera mais rapidamente do estresse hídrico quando comparado ao IPA 2.2.

NOGUEIRA e SILVA JR. (2001) estudaram a diferença entre dois genótipos de gravioleira (Morada e Comum), em fase de frutificação, em um pomar comercial localizado no município de Paudalho, PE. No horário de maior demanda evaporativa (entre 12 e 14h) foram medidos utilizando um porômetro de equilíbrio dinâmico modelo Li 1600: transpiração, resistência foliar à difusão de vapor e temperatura foliar. Concluiu-se que há uma diferença da sazonalidade no comportamento fisiológico com diferenças genotípicas relacionadas à adaptação ambiental. Além disso, os genótipos de gravioleira estudados apresentaram comportamentos distintos em todos os parâmetros ecofisiológicos avaliados.

CAVALCANTE *et al.* (2001) estudaram o efeito da inoculação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares) sobre o crescimento, a resistência difusiva, a transpiração e a temperatura foliar em mudas de maracujazeiro amarelo, submetidas a estresse hídrico. Para

as medidas de resistência difusiva e de transpiração foi utilizado um porômetro de equilíbrio dinâmico modelo Li 1600. As mudas associadas aos FMA e submetidas ao estresse apresentaram menores taxas de transpiração que as não submetidas ao estresse. Mudas inoculadas com *G. etunicatum* apresentaram menor resistência difusiva em relação às demais mudas inoculadas e maior transpiração em relação a *G. albida*.

KEATING et al. (1999) descreve o desenvolvimento e a validade do modelo APSIM-Sugarcane no qual simulações que envolvem o crescimento da cana-de-açúcar relacionando-a ao clima, a água e ao nitrogênio são realizadas. A idéia usada em APSIM-Sugarcane se originou da aproximação da primeira modelagem desenvolvida por (MONTEITH 1986) e sumariamente por (RITCHIE 1991). O modelo usou medidas diárias, e é designado para simulações uniformes da cana em campo e se refere a uma área particular da bacia. Aproximações usadas na modelagem de processos de balanço da cultura, a necessidade em incluir descrições de variações observadas na performance da cultura sobre diversos produtos ambientais evitando aproximações reducionistas de alguma grande complexidade com números de difíceis parâmetros de medidas.

O modelo é direcionado por fatores do solo como a profundidade, a capacidade de retenção de água, a condição do nitrogênio, por fatores de gerenciamento como data de plantio, da fertilização, irrigação e fatores ambientais como: chuvas, radiação solar e temperatura solar, bem como fatores genéticos.

Esse trabalho refere-se a um número de estudos que teve como produto os parâmetros e relacionamentos necessários para construir as funções do modelo. Para o desenvolvimento do modelo foi necessário dados da cultura da cana utilizada como: o crescimento da cultura acima de uma escala latitudinal, sobre uma diversa escala de dados do plantio, para uma escala de cultivares e classes de culturas. Esse modelo não é totalmente independente dos dados observados. Essa aproximação confirma o fato que a simulação do modelo representa uma série de hipóteses sobre o comportamento da função relativo a cultura de cana-de-açúcar.

O modelo simula interações entre culturas, solo e clima e foi desenvolvido para relatar o desenvolvimento produtivo da cana-de-açúcar.

A aproximação fisiológica ocupada no modelo têm sido usada de forma bem sucedida no passado para prever a produção da colheita em outras espécies tropicais, como o milho e o sorgo.

A produção da biomassa é obtida graças a interceptação da radiação através da eficiência de seu uso denominado de RUE. A eficiência do uso da radiação (RUE) é reduzido a toda hora que extremos da temperatura, excesso ou falta de água no solo e déficit de nitrogênio na planta que limita a fotossíntese acontecem. A cobertura foliar da cultura a qual intercepta a radiação, expande essa área como uma função juntamente com o tempo e a temperatura e pode ser também limitado pelos extremos termais, falta ou excesso de água no solo e falta de nitrogênio na planta.

4 - MATERIAIS E MÉTODO

A fim de se estudar o processo da transpiração vegetal em três variedades de cana-de-açúcar, montou-se um experimento na cidade de Campinas, SP, onde medidas de campo em nível foliar foram efetuadas.

4.1 - Localização do Experimento

O estudo foi desenvolvido no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), situado no município de Campinas, estado de São Paulo, latitude 22°53'20"S e longitude 47°04'40"W. A cidade de Campinas encontra-se a 680 m de altitude, com área total de 798 Km², distante 100 Km da capital do estado, São Paulo. Campinas é a principal cidade de uma região metropolitana que possui mais de 20 municípios onde o número de habitantes supera a faixa dos dois milhões”.



FIGURA 1 – Localização do município de Campinas no Estado de São Paulo
(Fonte: <http://maps.expidia.com>)

O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é o tropical de altitude caracterizado por invernos secos e verões úmidos (LUCARELLI, 1997). A temperatura média nos meses de outubro a março varia de 21 a 24°C, e de abril a setembro oscila de 17 a 21°C. A umidade relativa do ar para os meses de outubro a março aproxima-se de 77% e nos meses de abril a setembro diminui para 65% (CAMPINAS, 2000).

4.2 - Caracterização da Área Experimental

O estudo foi realizado em três parcelas cultivadas com cana-de-açúcar no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (FIGURAS 2 e 3). Na primeira parcela (FIGURA 2) cultivou-se a variedade SP 832847 em uma área de aproximadamente 7000 m², o plantio foi realizado em 07/07/2001, com espaçamento entre linhas de 1.00 m, sendo o primeiro corte realizado em junho de 2002. A segunda parcela foi subdividida em duas (FIGURA 3), comportando as variedades SP 801842 e SP 791011. A área total da parcela é de aproximadamente 250 m², sendo o plantio realizado em 13/10/1999, com espaçamento entre linhas também de 1.00 m. Os cortes nessa parcela foram realizados em maio de 2001 e julho de 2002.

Na parcela da variedade SP 832847 foram instalados quatro evapotranspirômetros (EVPT 1, EVPT 2, EVPT 3 e EVPT 4) – FIGURAS 5, 6, 7, 8 e 9. Os evapotranspirômetros em questão são caixas de água com uma capacidade volumétrica de 5 m³ com diâmetro de 2.15 m e uma profundidade de 1.84 m. Um mecanismo de bóia alimenta as caixas, a fim de manter o nível freático constante a uma profundidade de 1.60 m. Para as outras duas variedades foram instalados um evapotranspirômetro em cada variedade - SP 801842 (EVPT 5) e SP 791011 (EVPT 6) – (FIGURA 10).



FIGURA 2 – Vista parcial da parcela cultivada com a variedade SP 832847

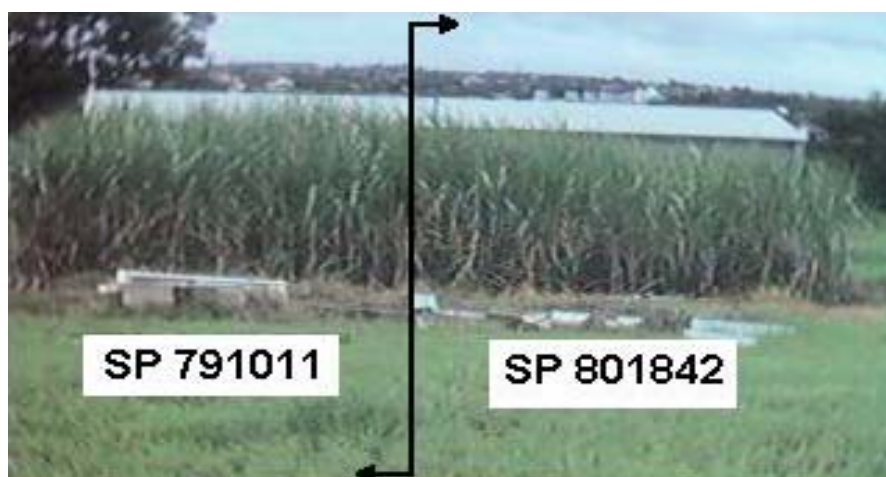


FIGURA 3 – Visão geral da parcela subdividida com as respectivas variedades

A cultura da cana-de-açúcar, em todas as etapas do seu estabelecimento e desenvolvimento, envolve o uso de máquinas agrícolas, as quais são empregadas desde o preparo até a colheita. Evidentemente, esse tráfego de equipamentos pesados sobre o solo pode levar à formação de camadas adensadas no perfil, com conseqüentes efeitos negativos na penetração da água e no desenvolvimento do sistema radicular. Portanto se faz necessário à eliminação dessas zonas compactadas durante o preparo do solo. O solo do

campo experimental em questão é o Latossolo Vermelho Distroférrico textura argilosa, (OLIVEIRA et al., 1999).

4.3 - Medidas de Campo

4.3.1 - Parâmetros Climáticos

Os parâmetros climáticos obtidos para a realização dessa pesquisa são provenientes de uma estação meteorológica automática CAMPBELL, instalada no posto agrometeorológico localizado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), distando 150 m da parcela com a variedade SP 832847 e 20 m da parcela subdividida com as variedades SP 801842 e SP 791011. Essas informações são fundamentais para a compreensão de aspectos relativos à transpiração nas parcelas.

4.4 - Medidas de Transpiração Vegetal

As medidas de transpiração foram realizadas em nível foliar envolvendo as variedades SP 832847, SP 801842 e SP 791011, descrevendo os mecanismos de transferência de água nesse nível e avaliando o fluxo de vapor de água em relação aos parâmetros ambientais (radiação solar global, temperatura do ar, umidade relativa do ar) e de disponibilidade hídrica. Também se estudou medida direta de resistência/condutância estomáticas e correlatas de radiação fotossinteticamente ativa, umidade relativa, temperatura foliar dentre outros.

As medidas foram realizadas por meio da utilização de um equipamento portátil Li-Cor 1600 (FIGURAS 4 e 9). Esse equipamento determina a relação entre o controle dos estômatos para a transpiração com parâmetros climáticos, sendo indispensável para a compreensão dos mecanismos de controle da perda de vapor de água para a atmosfera por transpiração. A coleta de dados concentrou-se em duas semanas em cada um dos meses de setembro, outubro e novembro nos evapotranspirômetros. Essas medidas foram realizadas de 10 de setembro a 19 de setembro, 14 de outubro a 25 de outubro e de 19 de novembro a

29 de novembro do ano de 2002, totalizando nesses intervalos, 24 dias de medidas. Estabeleceram-se os horários de medidas como sendo, das 08:00 a 18:00 h GMT, englobando 11 períodos de medidas a cada dia. Em cada evapotranspirômetro se escolheu cinco folhas que eram medidas sequencialmente. Todos dados de cada seqüência de medidas posteriormente possibilitaram a elaboração dos gráficos apresentados nesse estudo. As medidas foram realizadas nos evapotranspirômetros para garantir a condição de não restrição de água para a cultura.



FIGURA 4 – Porômetro de equilíbrio dinâmico modelo Li 1600 Li-Cor



FIGURA 5 – Caixa de água pertencente ao sistema de evapotranspirômetro



FIGURA 6 – Visualização da mesma caixa por um ângulo diferente



FIGURA 7 – Imagem de uma das variedades cultivada no evapotranspirômetro



FIGURA 8 – Estágio de desenvolvimento da variedade SP 832847 no período de Medidas.



FIGURA 9 - Estágio de desenvolvimento da parcela subdividida entre as variedades SP 801842 e SP 791011



FIGURA 10 – Visão do sistema reservatório – caixa de água em evapotranspirômetro pertencente à parcela subdividida entre as cultivares SP 801842 e SP 791011

5. - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise comparativa entre as variedades

O comportamento vegetativo de plantas cultivadas e o seu desempenho em relação à produtividade são influenciados por variáveis ecofisiológicas, dentre as quais destaca-se a transpiração vegetal, a qual se relaciona diretamente com a disponibilidade de água para a planta.

No período de análise desse estudo (setembro, outubro e novembro do ano de 2002), verificou-se que a maior média diária de transpiração foliar foi de $4.38 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ para a SP 791011. A maior taxa de transpiração foliar média diária na variedade SP 801842 foi de $4.19 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e na SP 832847 foi $4.16 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$. A variedade SP 791011 apresentou em média uma transpiração foliar superior de 4.5% em relação a SP 801842 e 5.3% para a SP 832847. Enquanto para SP 801842 observou-se uma transpiração foliar 0.7% em média superior em relação a SP 832847.

Um comportamento suave e homogêneo das curvas de transpiração foliar ao longo do dia foi observado para vários dias de medida. No dia 24/10/2002, essa constatação pode ser verificada nas FIGURAS 11, 15 e 19 respectivamente para as variedades SP 832847, SP 801842 e SP 791011. Os valores de transpiração foliar para a variedade SP 832847 aumentam até atingir um “pico” próximo das 14:00 h, já na faixa horária subsequente os valores apresentam queda prosseguindo assim até o final do dia. Na variedade SP 801842, o “pico” é atingido mais precocemente, próximo as 12:00 h quando comparada com a variedade imediatamente anterior, a partir daí ocorre uma estabilização, com variações pequenas até proximamente as 16:00 h, a partir desse período os valores sofrem quedas suaves, mas constantes até atingir zero. Para a variedade SP 791011 a homogeneidade é ainda mais visível com muitas poucas variações no período analisado. O “pico” é atingido antes das 12:00 h e se mantém de maneira quase que inteiramente constante até o período das 16:00 h, que é quando começa a aceleração de queda dos valores anotados.

O valor máximo de transpiração foliar nesse dia para a variedade SP 832847 foi de $7.45 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (14:30 h) no evapotranspirômetro quatro, para a variedade SP 801842 o valor encontrado foi de $7.24 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (13:40 h) e na SP 791011 de $7.23 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$

(14:50 h). Nesse dia específico a variedade que apresentou uma transpiração foliar média maior foi a SP 791011 com $4.72 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, seguida pela SP 801842 com $4.66 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e pela SP 832847 com $4.26 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

As FIGURAS 12, 16 e 20 relatam o comportamento das condutâncias estomáticas ao longo do dia de medidas, respectivamente para as variedades SP 832847, SP 801842 e SP 791011. Em relação à variedade SP 832847, existiu uma discrepância entre os valores dos diferentes evapotranspirômetros, sendo mais perceptível no intervalo de 10:00 h a 16:00 h. As maiores diferenças ocorreram nas proximidades das 14:00 h, mais especificamente no EVPT 2 as 14:10 h, atingindo um valor de 21.48 cms^{-1} . A curva da variedade SP 801842 é semelhante a da variedade SP 791011 ambas atingem os valores máximos próximo das 12:00 h, sendo observado o valor de 21.67 cms^{-1} (11:40 h) para a SP 801842 e 23.33 cms^{-1} (11:50 h) para a SP 791011. Depois de atingido o valor máximo da condutância observa-se uma diminuição gradual até o zero. Os valores da condutância estomática (FIGURAS 12, 16 e 20) encontrados foram de 9.13 cms^{-1} para a variedade SP 832847, 10.98 cms^{-1} para variedade SP 801842 e 12.04 cms^{-1} para a SP 791011. Observando as curvas de transpiração foliar das FIGURAS 11, 15 e 19 podem-se verificar a mesma tendência das curvas dos valores de condutância estomática (FIGURAS 12, 16 e 20). Essa mesma tendência foi observada para todas as medidas do período (FIGURAS no apêndice A).

A radiação fotossinteticamente ativa nas três variedades pode ser vista nas FIGURAS 13, 17 e 21. A energia recebida para as três variedades é próxima, sendo que na variedade SP 832847 ocorreu as maiores oscilações. Os valores máximos de energia foram observados entre as 8:00 e 14:00 horas, Os valores máximos de radiação para a variedade SP 832847 concentrou-se no intervalo de 1250 a $1700 \text{ } \mu\text{mols}^{-1} \text{ m}^{-2}$, atingindo um valor máximo de $1836.67 \text{ } \mu\text{mols}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (10:10 h) no EVPT 2. A SP 801842 e a SP 791011 apresentam menores oscilações no registro de dados quando comparadas com a SP 832847 (FIGURA 13). O valor máximo de radiação fotossinteticamente ativa na SP 801842 foi de $1976.67 \text{ } \mu\text{mols}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (11:40 h) e na SP 791011 de $1826.67 \text{ } \mu\text{mols}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (11:50 h). Nesse dia pôde-se observar que a radiação fotossinteticamente ativa condiciona o comportamento da condutância estomática e da transpiração foliar, pois a tendência de aumento e diminuição

nos valores da condutância estomática e da transpiração foliar é acompanhada pela radiação fotossinteticamente ativa.

As FIGURAS 14, 18 e 22 apresentam a atuação do déficit de pressão de vapor saturado (DPVS) ao longo do dia. As curvas nas três variedades mostram um comportamento muito semelhante, com uma leve tendência de alta no início da manhã, uma diminuição lenta e gradual até as 14:00 h e uma abrupta elevação a partir desse ponto até atingir valores máximos por volta das 18:00 h. A variedade SP 832847 apresenta um valor máximo de DPVS de 1.78 kPa (18:30 h). Na variedade SP 801842 alcançou 1.68 kPa (18:40 h). O maior valor registrado na variedade SP 791011 foi de 1.71 kPa (18:50). Os valores médios diários registrados foram: 0.53 kPa (SP 832847), 0.58 kPa (SP 801842) e 0.59 kPa (SP 791011).

Após análises feitas para esse dia de medidas, observou-se que existe uma relação estreita entre as variações da radiação fotossinteticamente ativa com a condutância estomática e destas com a variação da transpiração foliar, ou seja, ocorre uma interdependência entre esses fatores. Entretanto, o comportamento da condutância e da transpiração foliar não apresenta uma relação direta (causa e efeito) das condições de DPVS (déficit de pressão de vapor saturado) no dia estudado.

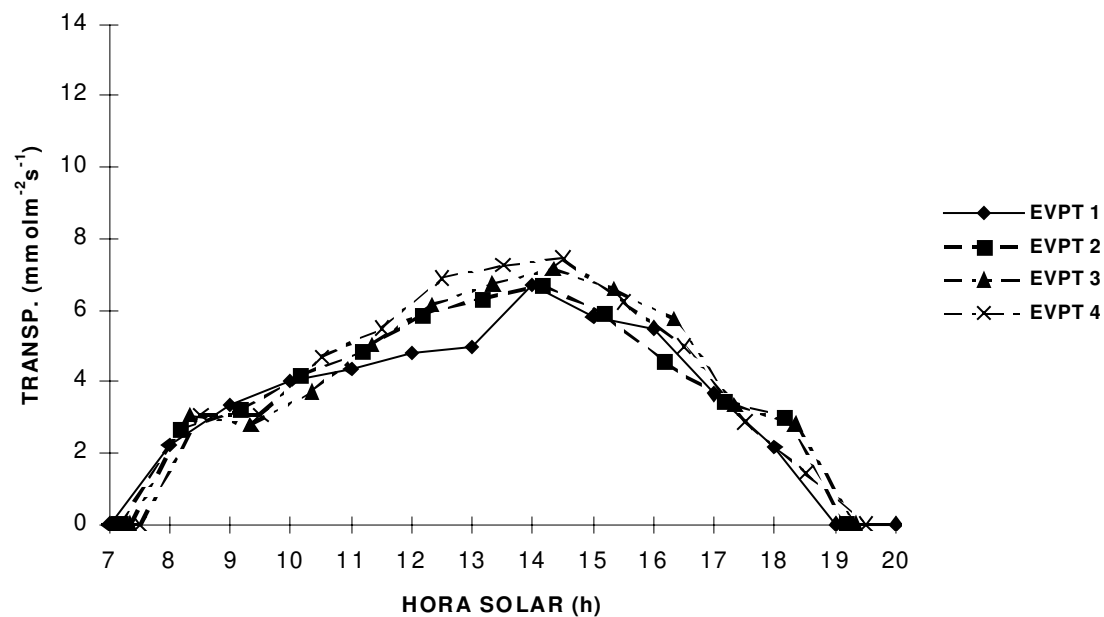


FIGURA 11 – Transpiração para o dia 24/10/2002 na variedade SP 832847

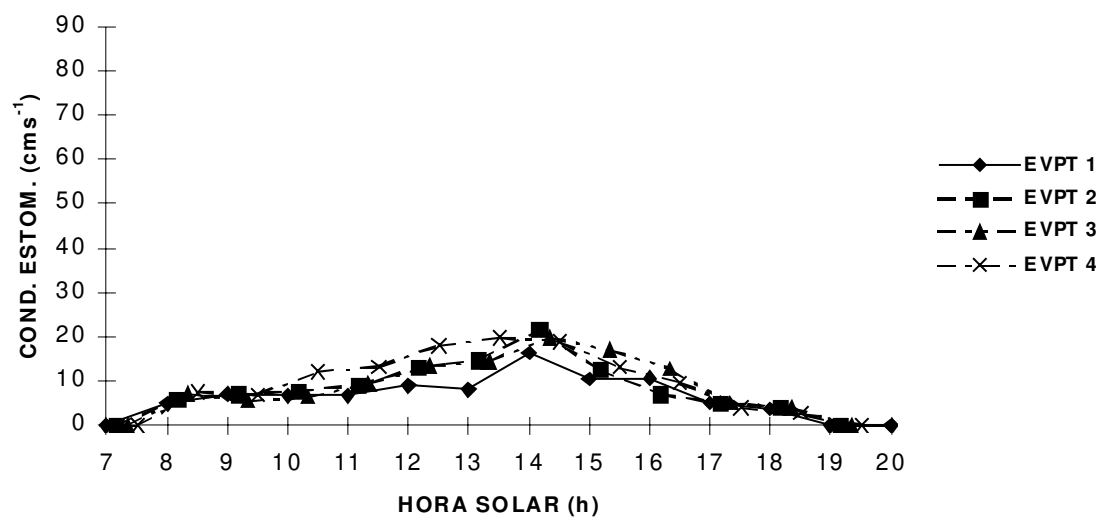


FIGURA 12 – Condutância estomática para o dia 24/10/2002 na variedade SP 832847

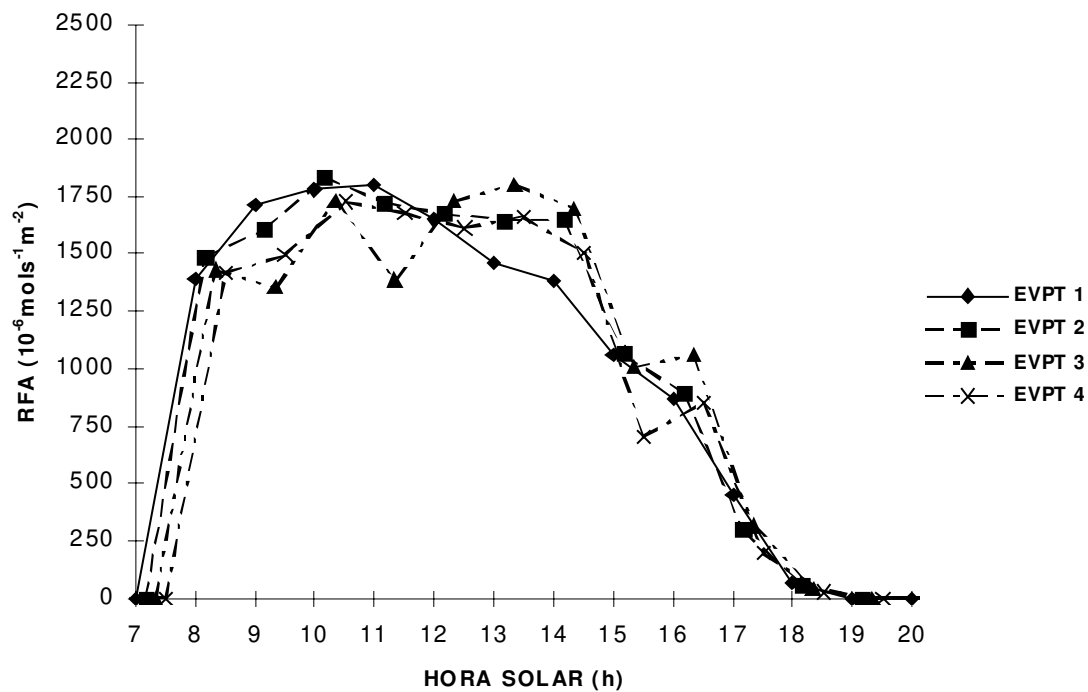


FIGURA 13 – Rad. fotoss. ativa para o dia 24/10/2002 na variedade SP 832847

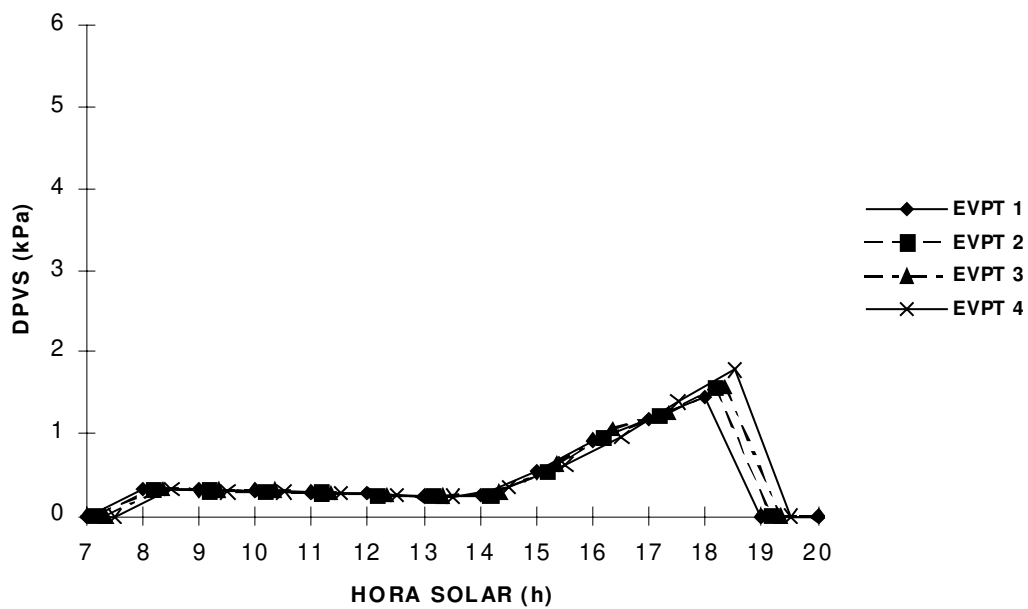


FIGURA 14 – Déf. de press. de vapor sat. para o dia 24/10/2002 na variedade SP 832847

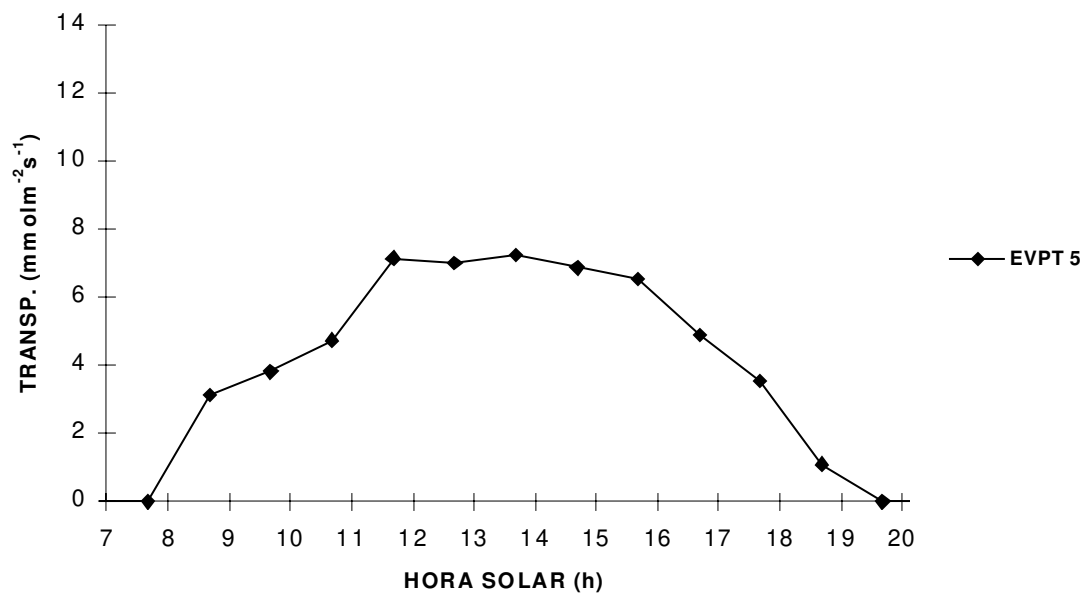


FIGURA 15 – Transpiração para o dia 24/10/2002 na variedade SP 801842

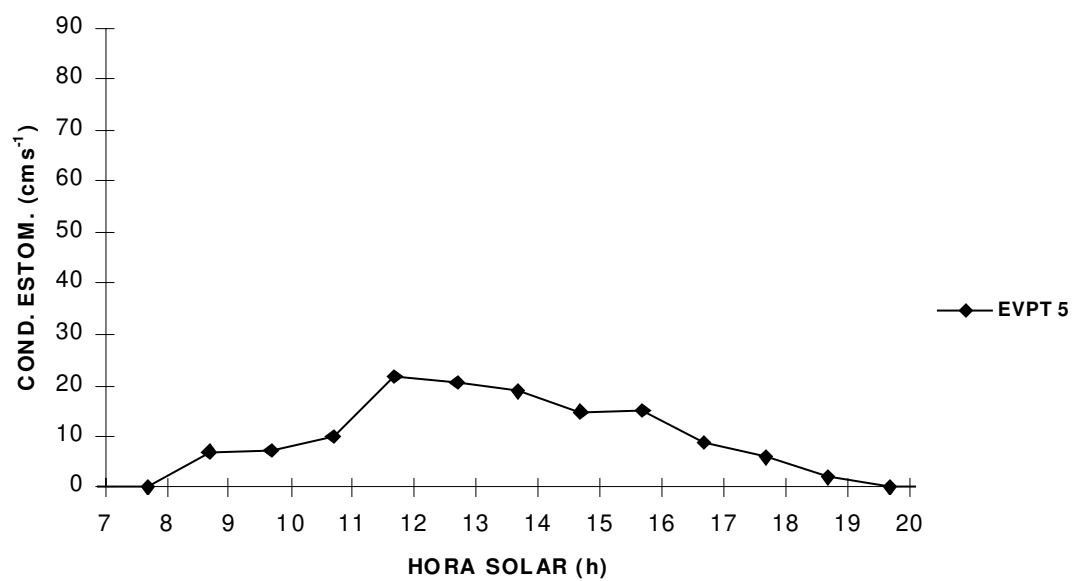


FIGURA 16 – Condutância estomática para o dia 24/10/2002 na variedade SP 801842

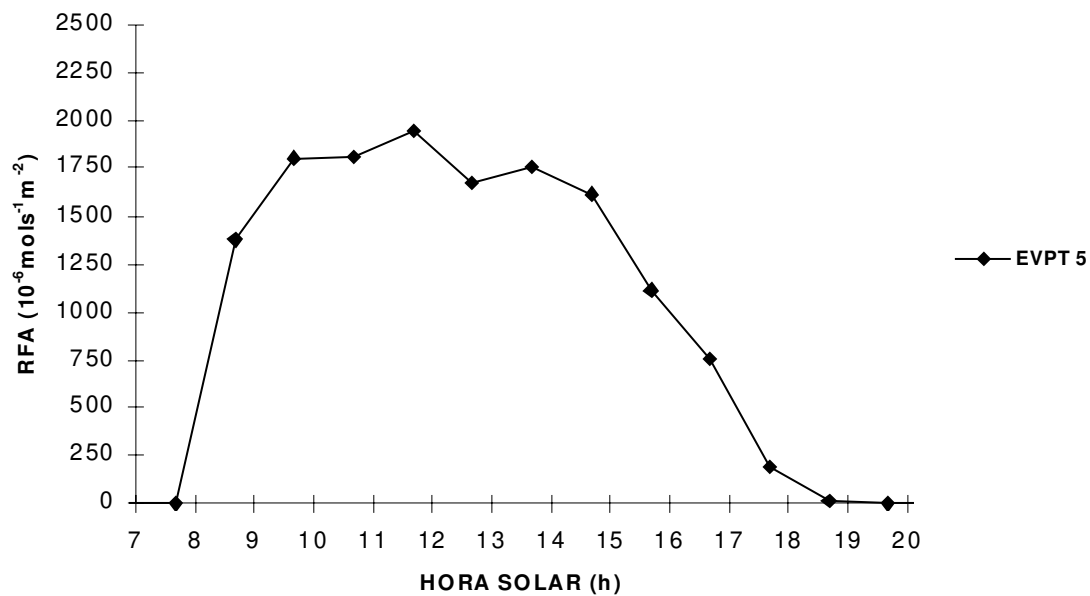


FIGURA 17 – Rad. fotoss. ativa para o dia 24/10/2002 na variedade SP 801842

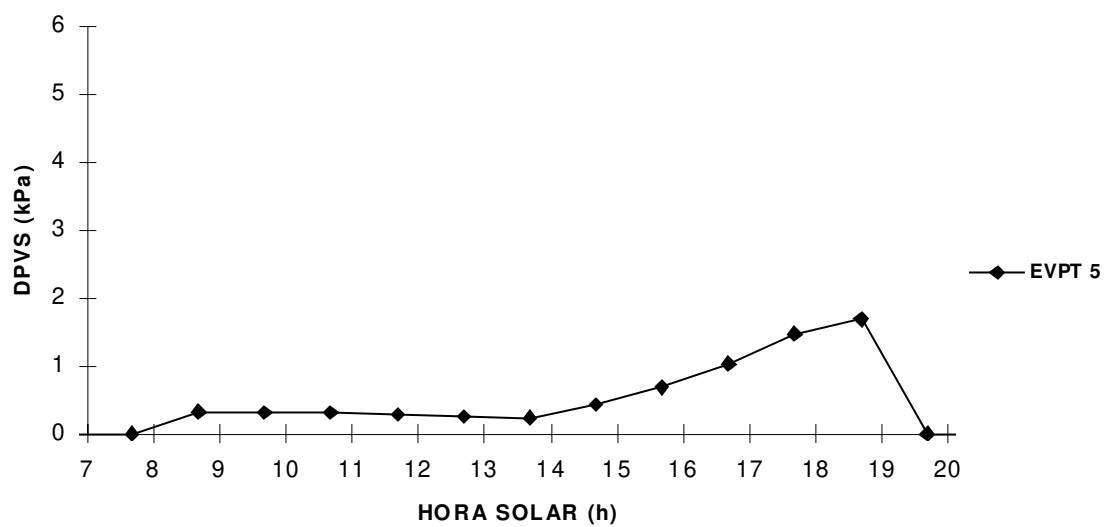


FIGURA 18 – Déf. de press. de vapor sat. para o dia 24/10/2002 na variedade SP 801842

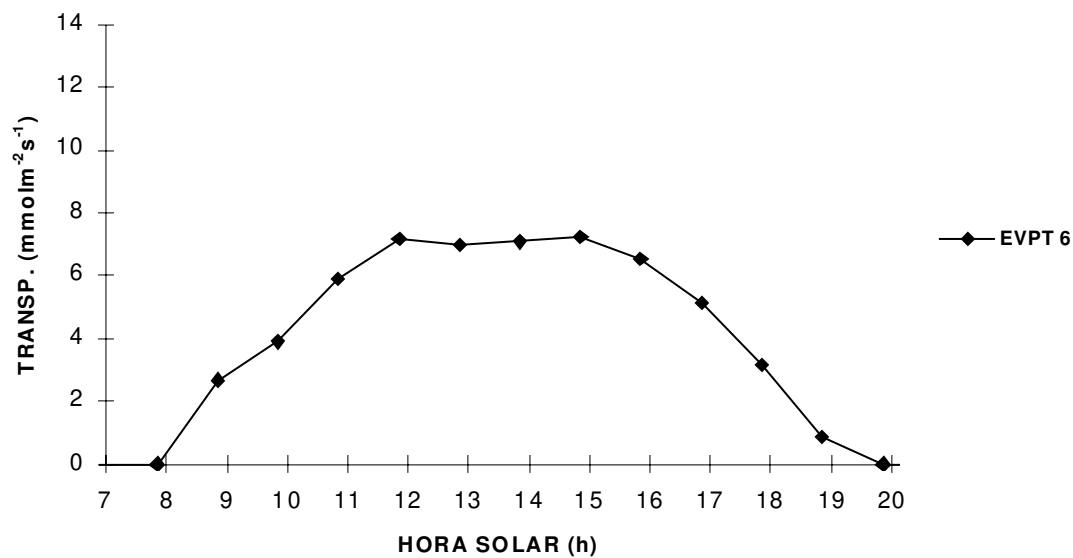


FIGURA 19 – Transpiração para o dia 24/10/2002 na variedade SP 791011

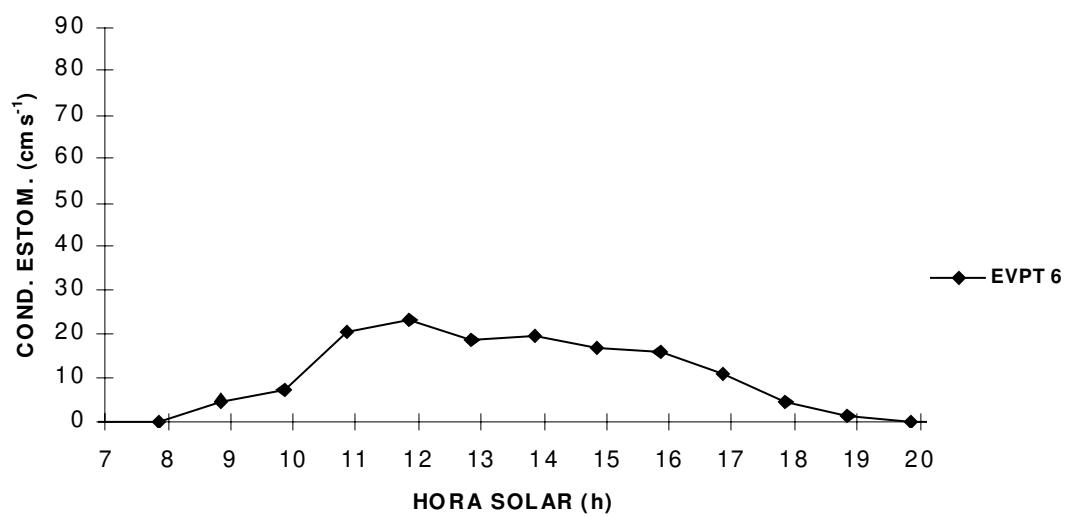


FIGURA 20 – Condutância estomática para o dia 24/10/2002 na variedade SP 791011

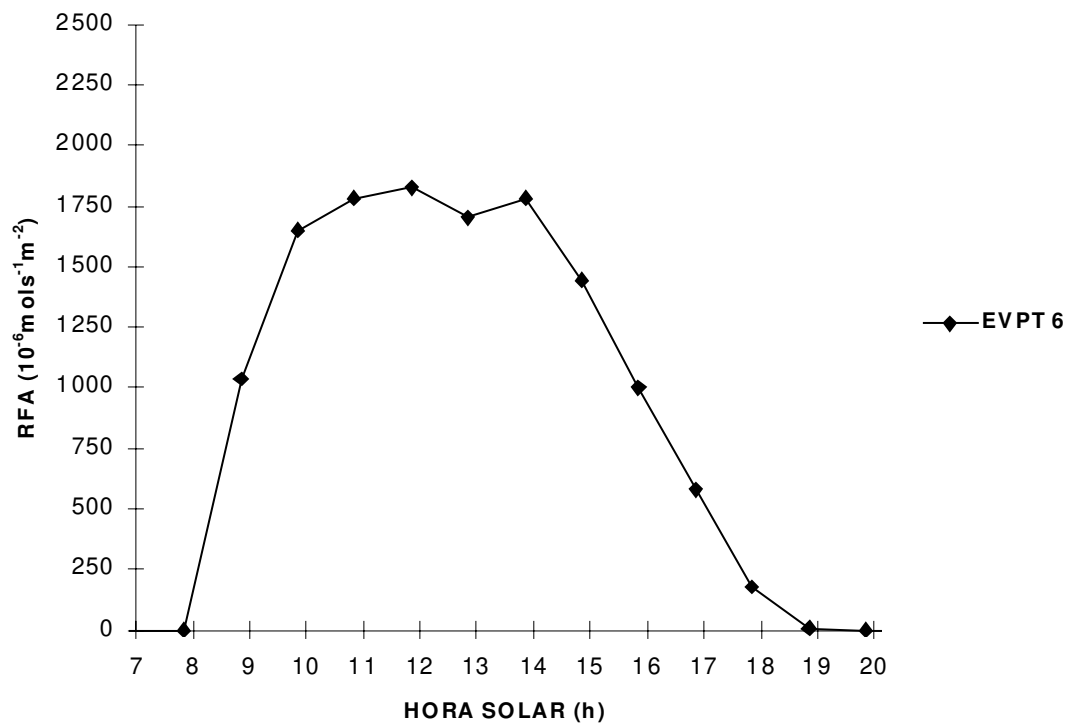


FIGURA 21 – Rad. fotoss. ativa. para o dia 24/10/2002 na variedade SP 791011

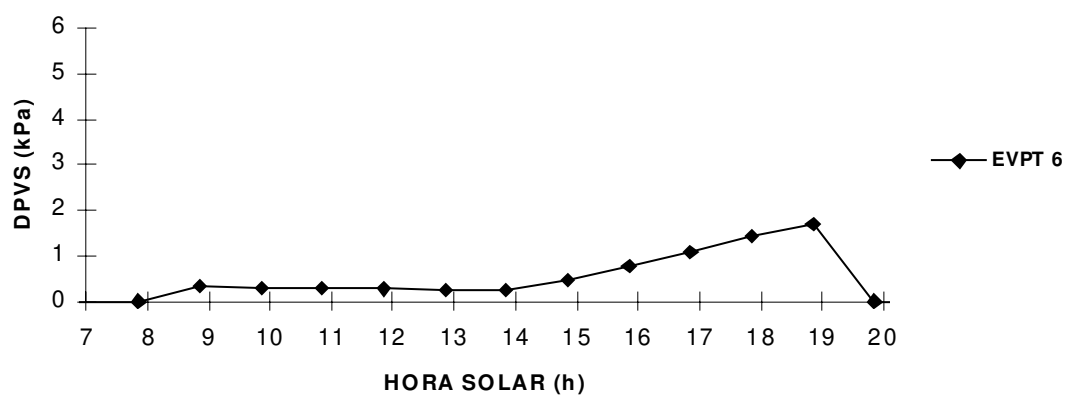


FIGURA 22 – Déf. de press. de vapor sat. para o dia 24/10/2002 na variedade SP 791011

Em 27/11/2002 o comportamento da transpiração foliar na variedade SP 832847 (FIGURA 23) ao longo do dia foi similar à variedade SP 801842 (FIGURA 27) e a variedade SP 791011 (FIGURA 31). Os valores registrados aumentaram continuamente das 8:00 h até a 15:00 h, quando atingiram os máximos valores de transpiração foliar, a partir desse instante os valores de transpiração foliar iniciaram tendência de queda até atingir zero, próximo as 19:00 h. A transpiração foliar máxima para a variedade SP 832847 foi $5.64 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (14:50 h) no EVPT 1, na variedade SP 801842 a máxima transpiração foliar foi $6.20 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (14:40 h) e na SP 791011, $6.44 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (14:50 h). Para esse dia, a variedade que apresentou uma transpiração foliar média maior foi a SP 791011 com $3.94 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ seguida pela variedade SP 801842 com $3.75 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e pela SP 832847 que transpirou em média $3.46 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

O comportamento da condutância estomática durante esse dia específico de análise para as três variedades (FIGURAS 24, 28 e 32), foi bastante semelhante assim como o ocorrido na transpiração foliar. Os períodos em que ocorreram os aumentos e diminuições de valores ao longo do dia coincidiu nas três variedades. Isso denota uma interdependência entre a condutância estomática e a transpiração foliar, essa relação próxima pode ser observada em todos os dias de medidas (FIGURAS no apêndice A). Os valores de condutância estomática encontrados foram: 14.30 cms^{-1} (13:10 h) para a variedade SP 832847, no EVPT 2, 15.33 cms^{-1} (14:00 h) para a variedade SP 801842 e 15.70 cms^{-1} para a variedade SP 791011. Os valores de condutância estomática foram maiores para as variedades SP 791011, seguida da variedade SP 801842 e da variedade SP 832847. Seguindo a mesma tendência verificada para as transpirações.

A medida de radiação fotossinteticamente ativa está diretamente ligada à interceptação ou não da radiação solar no porômetro utilizado nesse trabalho. Essa interceptação pode ser condicionada a presença de sombreamento no instante de medida. Esse sombreamento se deve a diferentes causas, podendo ser desde a presença maciça de nuvens ou por algum objeto/estrutura qualquer. Por meio da observação das FIGURAS 25, 29 e 33, nota-se mais uma vez, um comportamento de curva bastante similar nas três variedades, ficando claro que as energias recebidas para as três variedades são próximas, com valores máximos sendo registrados na faixa horária das 12:00 as 15:00 h.

Os valores máximos para a radiação fotossinteticamente ativa encontrados foram de $1750 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ (13:20 h) para a variedade SP 832847, $1798 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ para a variedade SP 801842 e $1766.4 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ para a variedade SP 791011. Também para esse dia observou-se o condicionamento existente entre a radiação fotossinteticamente ativa e os comportamentos da condutância estomática e da transpiração foliar.

As FIGURAS 26, 30 e 34 demonstram a atuação do déficit de pressão de vapor saturado (DPVS) ao longo do dia e mais uma vez o comportamento nas três variedades é bastante semelhante. Os valores apresentam uma tendência de alta a partir 14:00 h para as três variedades. A variedade SP 832847 apresenta um valor máximo de DPVS de 0.97 kPa (18:30 h) no momento de medida para o EVPT 4. O maior DPVS no momento de registro de medida para a variedade SP 801842 foi de 0.94 kPa (18:40 h). O maior valor anotado para o instante de medida na variedade SP 791011 foi de 1.09 kPa (18:50). Os valores médios observados foram: 0.27 kPa (SP 832847), 0.30 kPa (SP 801842) e 0.31 kPa (SP 791011). O comportamento da condutância estomática e da transpiração foliar não apresenta uma relação direta das condições de DPVS no dia de estudo.

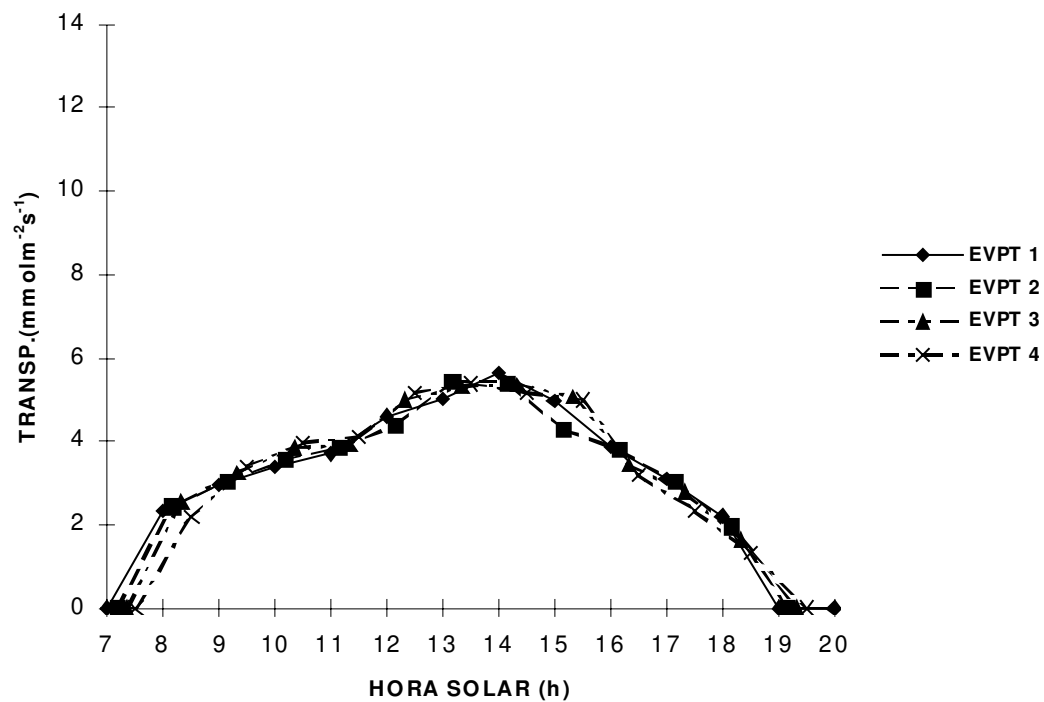


FIGURA 23 – Transpiração para o dia 27/11/2002 na variedade SP 832847

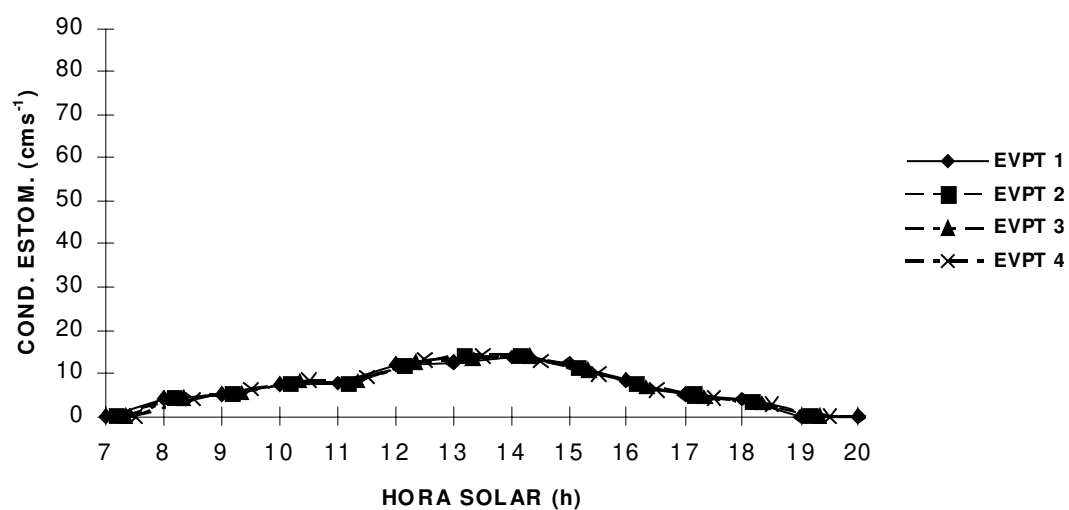


FIGURA 24 – Condutância estomática para o dia 27/11/2002 na variedade SP832847

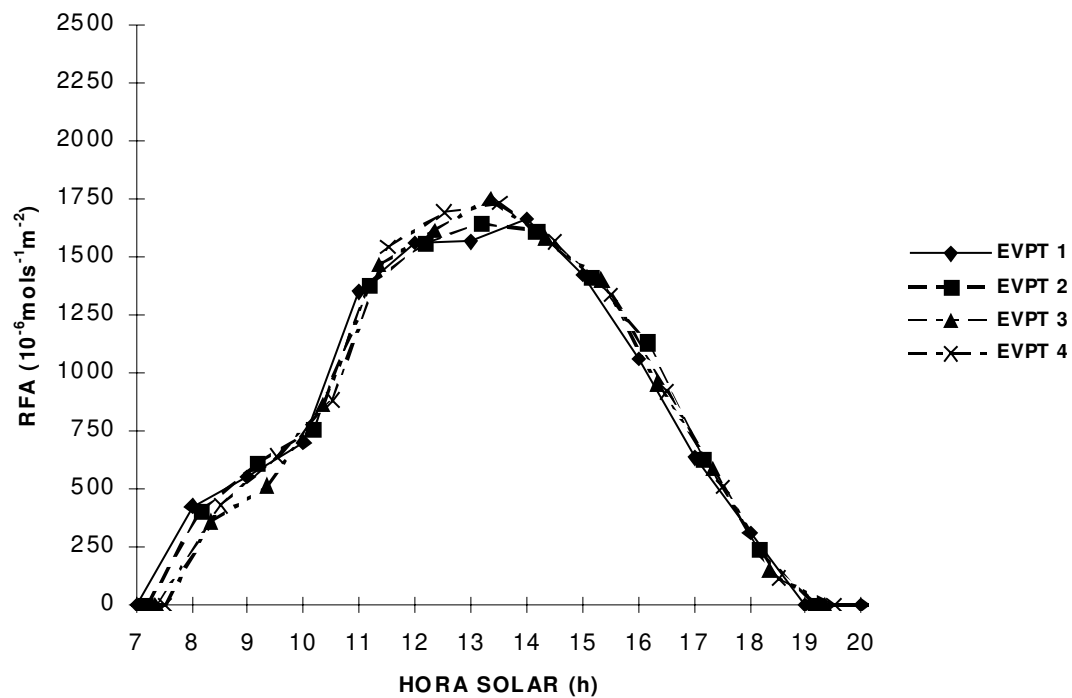


FIGURA 25 – Rad. fotoss. ativa para o dia 27/11/2002 na variedade SP 832847

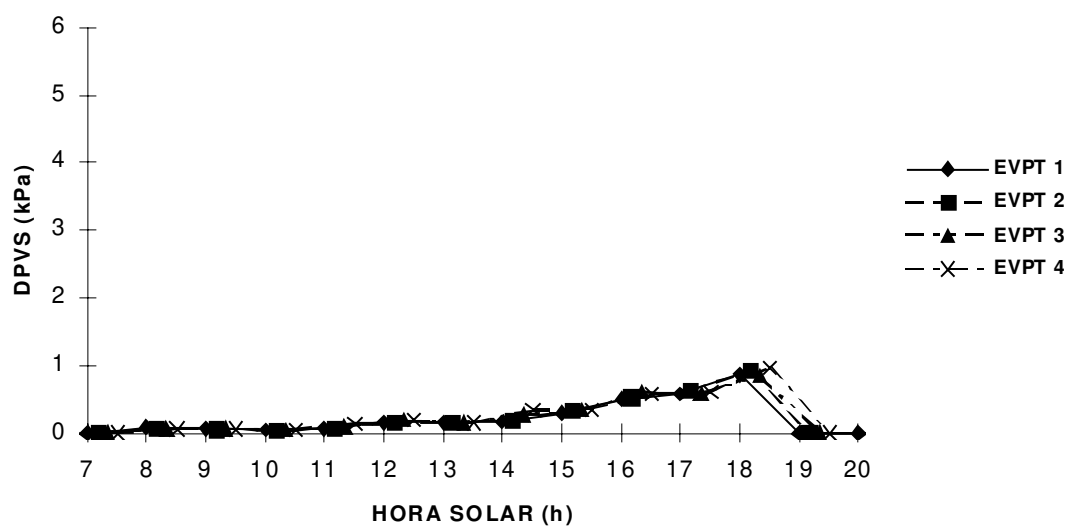


FIGURA 26 – Déf. de press. de vapor sat. para o dia 27/10/2002 na variedade SP 832847

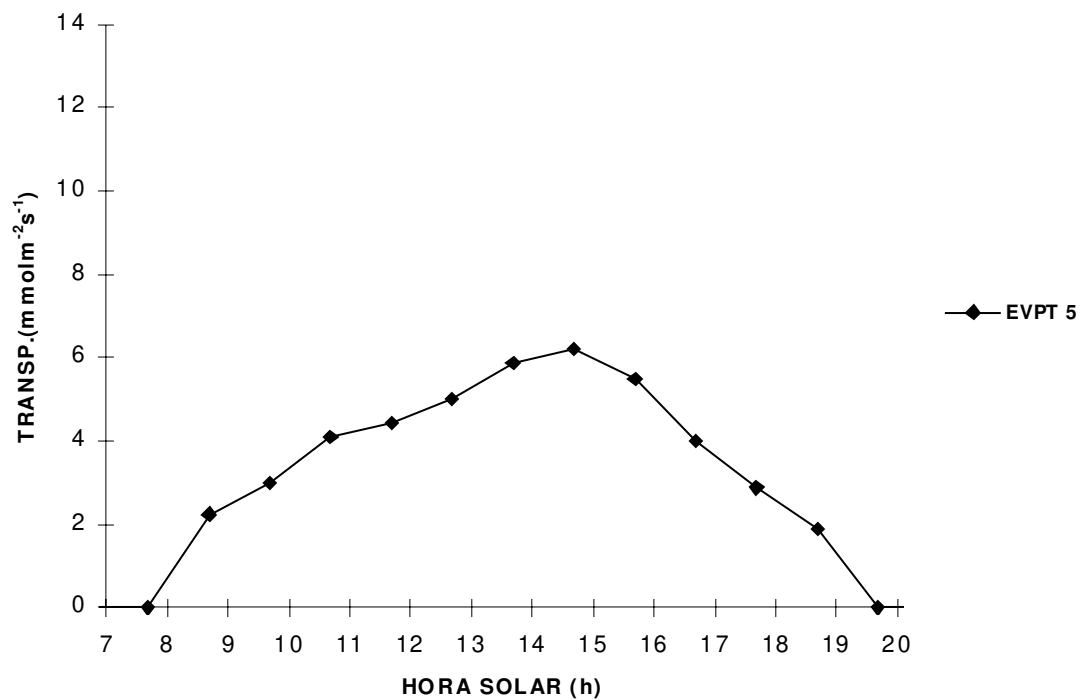


FIGURA 27 – Transpiração para o dia 27/11/2002 na variedade SP 801842

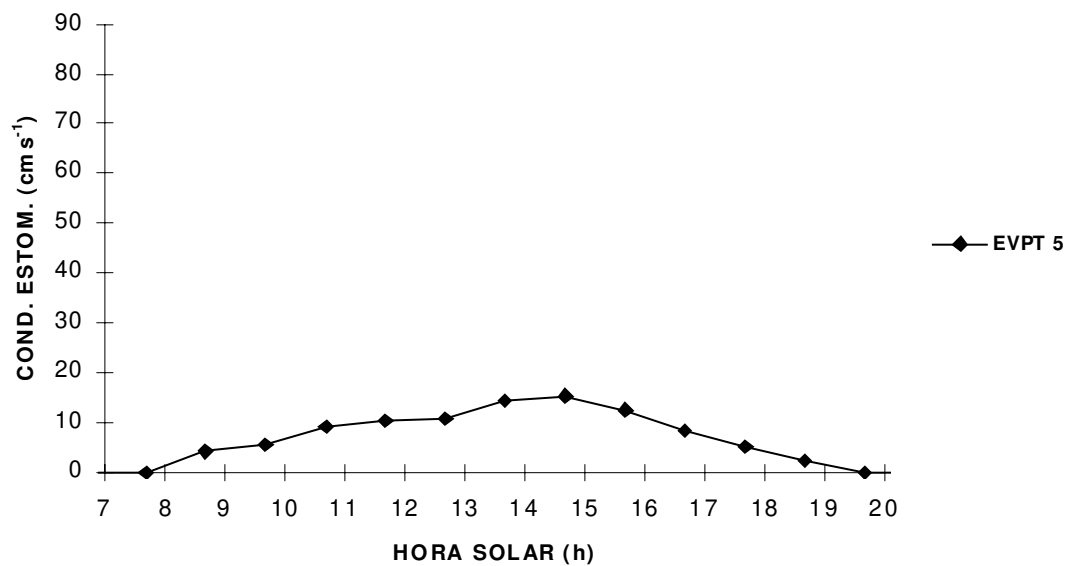


FIGURA 28 – Condutância estomática para o dia 27/11/2002 na variedade SP 801842

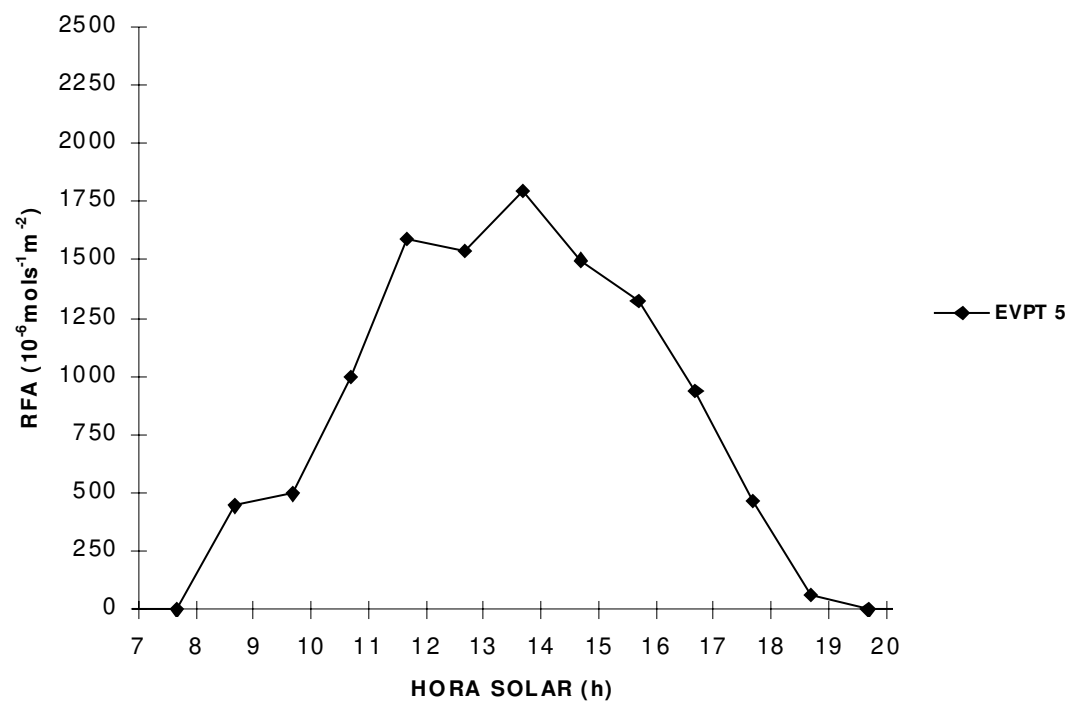


FIGURA 29 – Rad. fotoss. ativa para o dia 27/11/2002 na variedade SP 801842

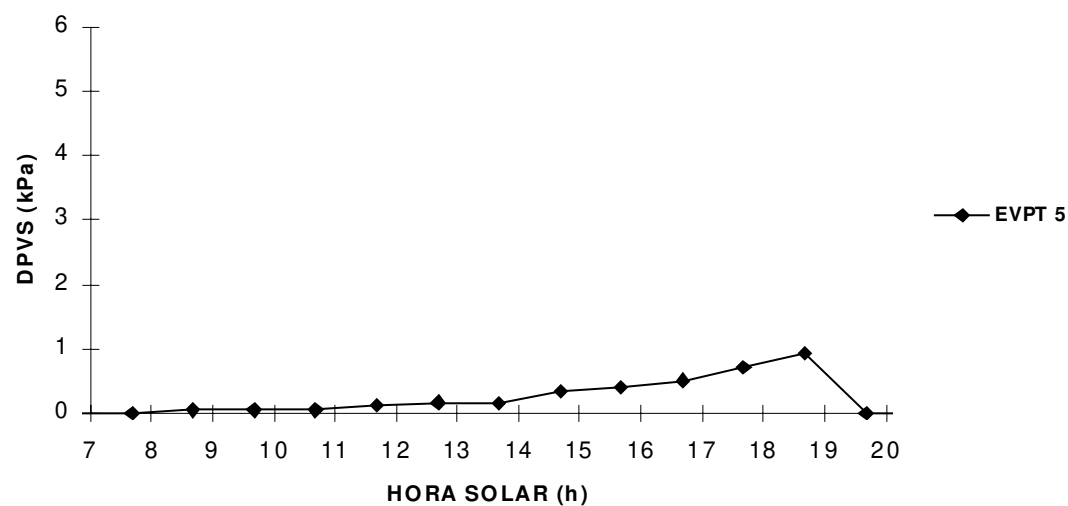


FIGURA 30 – Déf. de press. de vapor sat. para o dia 27/11/2002 na variedade SP 801842

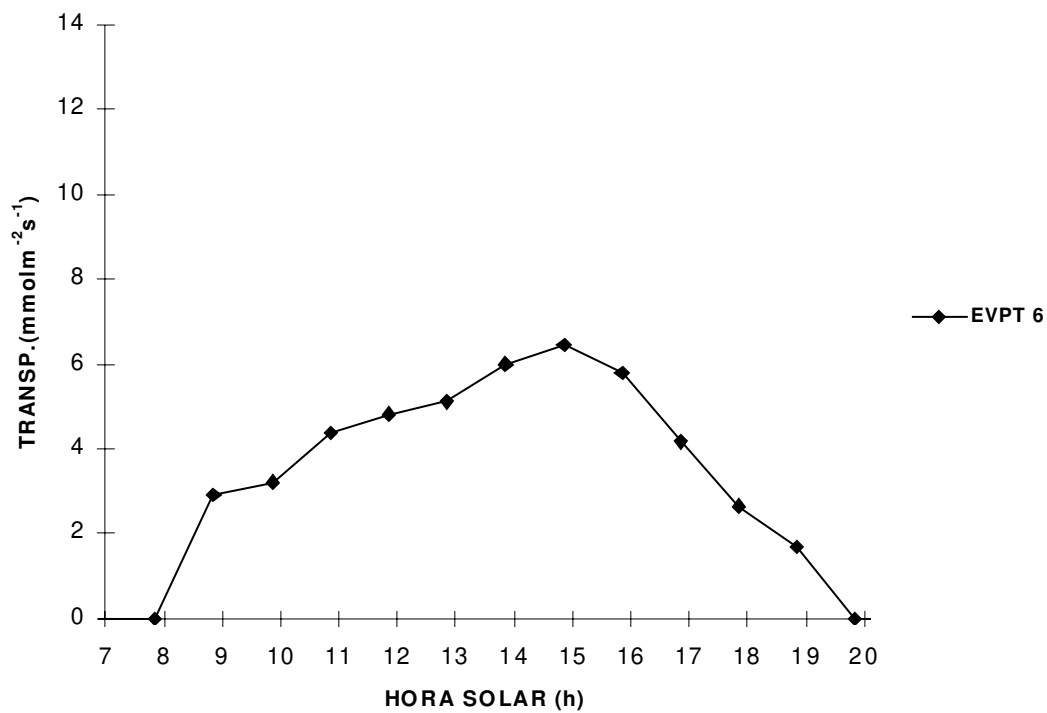


FIGURA 31 – Transpiração para o dia 27/11/2002 na variedade SP 791011

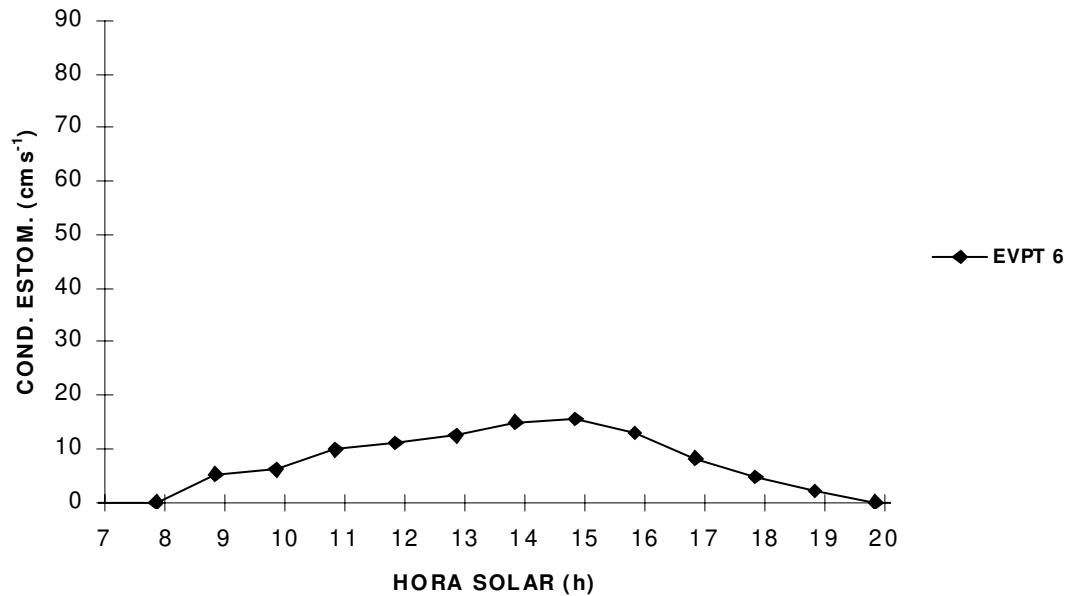


FIGURA 32 – Condutância estomática para o dia 27/11/2002 na variedade SP 791011

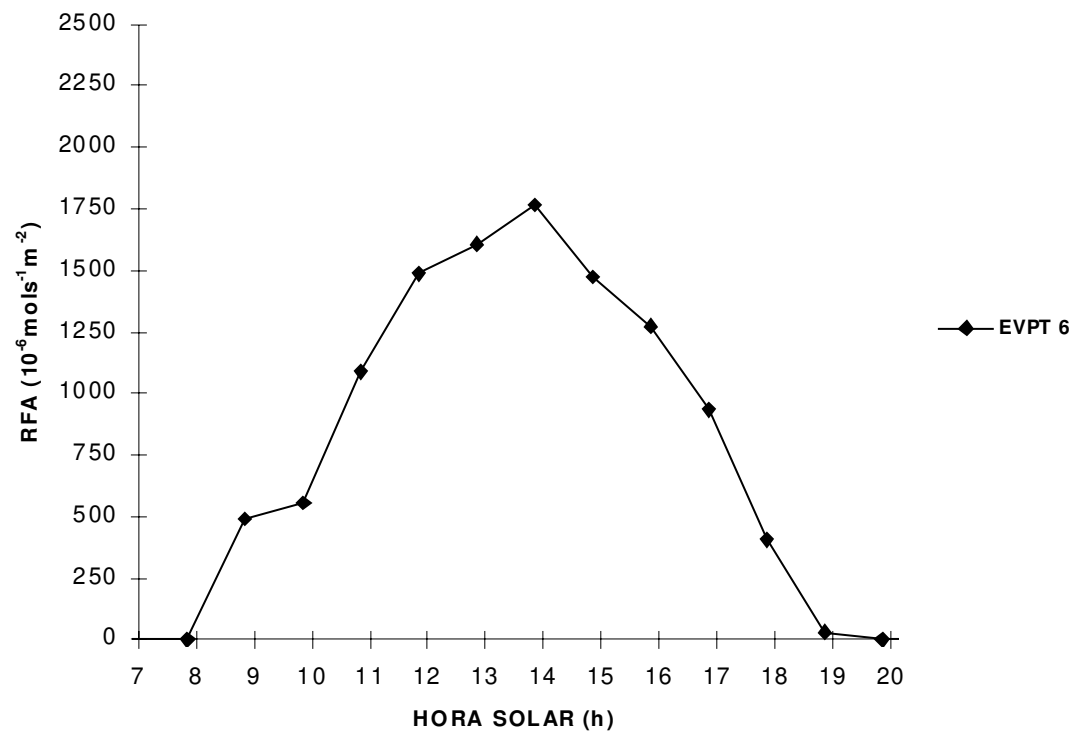


FIGURA 33 – Rad. fotoss. ativa para o dia 27/11/2002 na variedade SP 791011

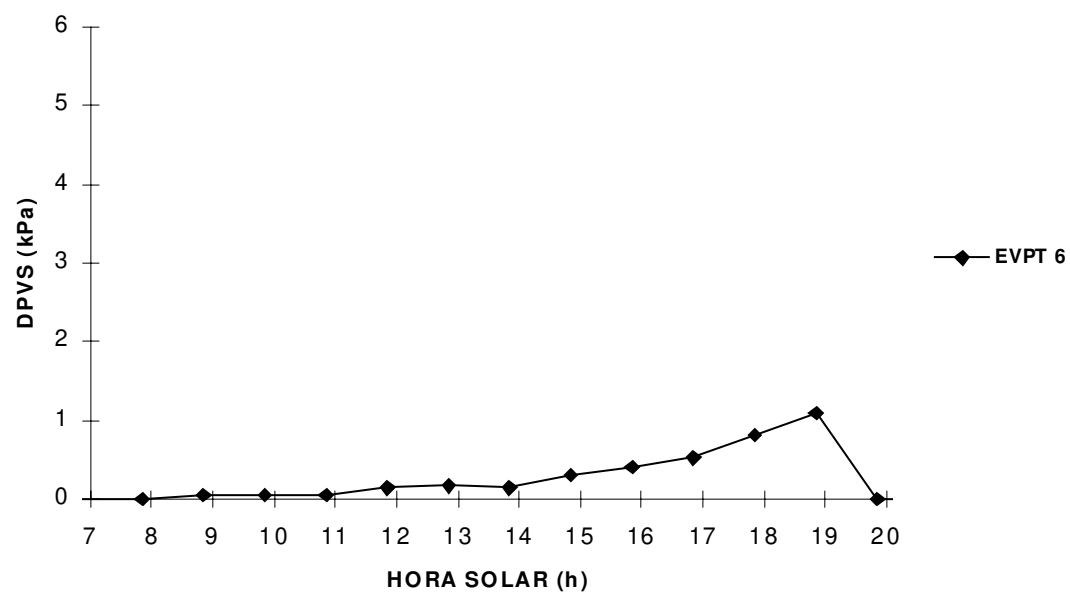


FIGURA 34 – Déf. de press. de vapor sat. para o dia 27/11/2002 na variedade SP 791011

Os maiores valores de transpiração foliar para as variedades de estudo nesse trabalho quando se compararam os dois dias escolhidos foram encontrados no dia 24/10/2002.

TABELA 1: Máximos valores de transpiração para dois dias específicos, em três variedades.

DIA	SP 791011	SP 801842	SP 832847
24/10/2002	7.23 mmolm⁻²s⁻¹	7.24 mmolm⁻²s⁻¹	7.45 mmolm⁻²s⁻¹
27/11/2002	6.44 mmolm ⁻² s ⁻¹	6.20 mmolm ⁻² s ⁻¹	5.64 mmolm ⁻² s ⁻¹

Os valores médios diários de transpiração foliar também são maiores para o dia 24/10/2002 na comparação efetiva desses dois dias, são eles:

TABELA 2: Valores médios de transpiração para dois dias específicos, em três variedades.

DIA	SP 791011	SP 801842	SP 832847
24/10/2002	4.72 mmolm⁻²s⁻¹	4.66 mmolm⁻²s⁻¹	4.26 mmolm⁻²s⁻¹
27/11/2002	3.94 mmolm ⁻² s ⁻¹	3.75 mmolm ⁻² s ⁻¹	3.46 mmolm ⁻² s ⁻¹

Da mesma maneira os valores máximos de condutância estomática para todas as variedades em questão, comparando-se os dois dias foram observados no dia 24/10/2002. Veja tabela abaixo.

TABELA 3: Máximos valores de condutância estomática em dias específicos, em três variedades.

DIA	SP 791011	SP 801842	SP 832847
24/10/2002	23.33 cms⁻¹	21.67 cms⁻¹	21.48 cms⁻¹
27/11/2002	15,70 cms ⁻¹	15,33 cms ⁻¹	14,30 cms ⁻¹

Os valores médios de condutância estomática encontrados foram:

TABELA 4: Valores médios de condutância estomática em dias específicos, em três variedades.

DIA	SP 791011	SP 801842	SP 832847
24/10/2002	12.04 cms⁻¹	10.98 cms⁻¹	9.13 cms⁻¹
27/11/2002	8.65 cms ⁻¹	8.14 cms ⁻¹	7.64 cms ⁻¹

Os valores máximos de radiação fotossinteticamente ativa para os dias comparados foram:

TABELA 5: Máximos valores de radiação fotossinteticamente ativa em dias específicos, em três variedades.

DIA	SP 791011	SP 801842	SP 832847
24/10/2002	1826.67 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$	1976.67 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$	1836.67 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$
27/11/2002	1766,4 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$	1798.00 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$	1750.00 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$

Os valores médios diários de radiação fotossinteticamente ativa para os dias em questão são:

TABELA 6: Valores médios de radiação fotossinteticamente ativa em dias específicos, em três variedades.

DIA	SP 791011	SP 801842	SP 832847
24/10/2002	1082.40 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$	1171.18 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$	1139.27 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$
27/11/2002	926.23 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$	929.15 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$	941.59 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$

As transpirações foliares médias em todas as variedades para o dia 24/10/2002 foram maiores quando comparada com o dia 27/11/2002, isso se verificou também para as condutâncias estomáticas e para a radiação fotossinteticamente ativa.

A variedade SP 791011 transpirou 19.8% mais no dia 24/10/2002 em relação ao dia 27/11/2002, a SP 801842 transpirou 24.3% mais no dia 24/10/2002 quando confrontada com a transpiração do dia 27/11/2002 e a SP 832847 registrou uma transpiração no dia 24/10/2002 23.1% maior que a transpiração foliar registrada no dia 27/11/2002.

A condutância estomática na SP 791011 foi 39.2% maior no dia 24/10/2002 em comparação ao dia 27/11/2002. Na SP 801842 a condutância para o dia 24/10/2002 foi maior em 34.9% em relação ao dia 27/11/2002, na SP 832847 a taxa encontrada no dia 24/10/2002 foi 19.5% maior em relação ao valor encontrado no dia 27/11/2002.

A radiação fotossinteticamente ativa foi 16.9% maior no dia 24/10/2002 em relação ao dia 27/11/2002, para a SP 791011. O valor registrado no dia 24/10/2002 foi 26.0% maior em contraposição ao valor anotado no dia 27/11/2002 para SP 801842. Na SP 832847 o valor medido no dia 24/10/2002 foi 21% maior que o medido no dia 27/11/2002.

Por intermédio desses dados verifica-se a existência de uma relação estreita entre a radiação fotossinteticamente ativa com a condutância estomática e a transpiração foliar denotando uma interdependência entre os fatores.

A variedade SP 791011 transpirou 1.3% mais que a variedade SP 801842 e 10.8% mais que a variedade SP 832847, no dia 24/10/2002. Para esse mesmo dia a variedade SP 801842 apresentou uma transpiração 9.4% maior que a variedade SP 832847.

Para o dia 27/11/2002, SP 791011 transpirou 5.1% mais que a SP 801842 e esta 8.4% mais que SP 832847. Já a SP 791011 mostrou uma transpiração 13.9% superior em comparação a SP 832847.

Os valores médios diários referentes ao período de medidas (setembro a novembro), de $4.38 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ para SP 791011, $4.19 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ para SP 801842 e $4.16 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ para SP 832847 são superiores aos relatados por GRANTZ & MEINZER (1990) para cana-de-açúcar da variedade 465-7052 ($1,2 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$), e aos obtidos por MACHADO *et al.* (1999) para laranja Valência ($2,6 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ para porta enxerto de cravo e $1,9 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ para porta enxerto de trifoliata). Também superaram os valores encontrados por NOGUEIRA *et al.* (2000 a) para duas matrizes de acerola (UFRPE7: $1,77 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, UFRPE8: $2,5 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$), e por NOGUEIRA *et al.* (2000 b) para dois genótipos de pitanga (IPA 2,2: $2,2 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, IPA 4,3: $3,0 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$). Os valores ainda são inferiores aos encontrados por CAVALCANTE *et al.* (2001), para mudas de maracujazeiro inoculadas com três tipos de fungos micorrízicos arbusculares (*Gigaspora albida*: $5,8 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, *Gigaspora margarita*: $4,8 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, *Glomus etunicatum*: $6,1 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, valores medidos sem restrição hídrica), e por NOGUEIRA & SILVA JUNIOR (2001) para dois genótipos de gravioleiras (Morada e Comum) em dois períodos de medidas (Setembro: Morada - $8,0 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, Comum - $6,0 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$; Dezembro: Morada - $7,9 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$). Já para o genótipo Comum no mês de dezembro, o valor médio da transpiração foliar foi de $3,3 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

5.2. Análise comparativa no período integral de medidas

A comparação efetiva entre as três variedades envolvidas nesse estudo só poderia ser realizada se o comportamento da transpiração foliar dos indivíduos em cada um dos

quatro evapotranspirômetros na variedade SP 832847 apresentasse uma conduta semelhante no período compreendido de medidas. Ao longo desse estudo notou-se que o procedimento de transpiração foliar no EVPT 1, não convergia para os resultados dos outros evapotranspirômetros localizados na parcela. Uma comparação dos estudos da transpiração foliar nesses evapotranspirômetros pode ser observada na FIGURA 35.

Os valores de transpiração foliar média diária para o EVPT 1 são em sua maioria divergentes quando comparados com os valores dos outros evapotranspirômetros na variedade (FIGURA 35). Esperavam-se comportamentos homogêneos em todas as caixas, mas eles foram verificados apenas em relação aos EVPT 2, 3 e 4, uma das causas para esse acontecimento pode ser o estágio fisiológico incipiente em relação aos indivíduos das outras caixas de medidas, o agente causador dessa incipiência poderia ser a insuficiência de nutrientes para o solo nessa caixa. Portanto há que se esperar homogeneidade nas respostas apenas se ocorrer essa homogeneidade fisiológica na variedade. Por esse motivo optou-se pela retirada dos valores referentes a esse evapotranspirômetro para efeito de comparação com as outras variedades.

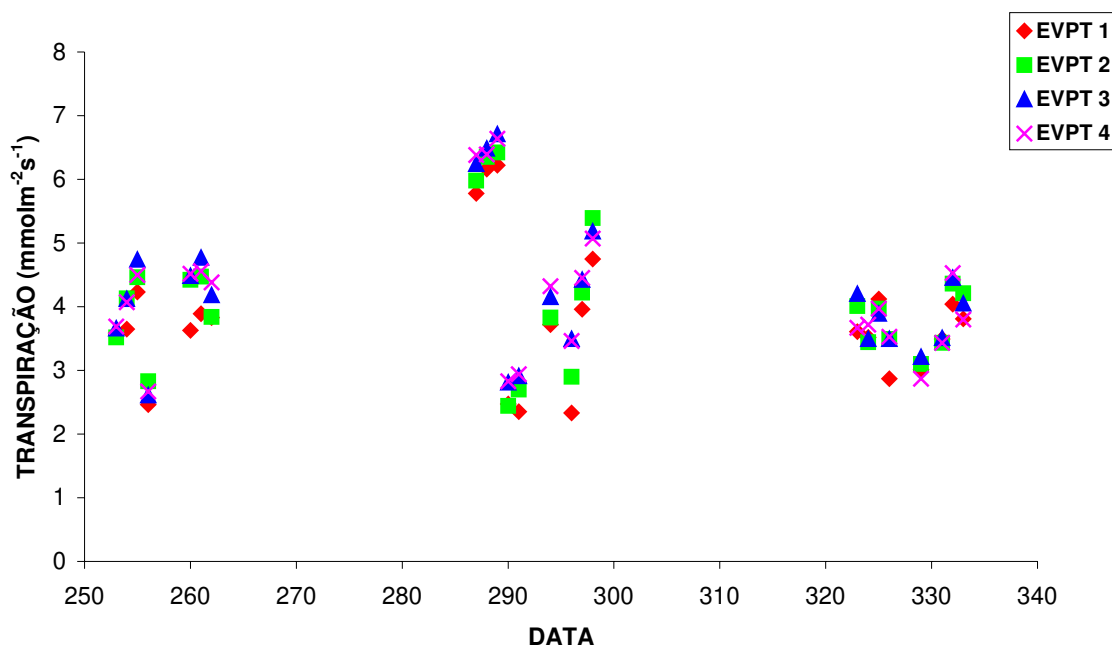


FIGURA 35 - Comportamento da transpiração média ao longo do período de medidas (set a nov/2002) na variedade SP 832847.

Na comparação entre as variedades SP 832847 (após a retirada do EVPT 1 das análises desse estudo), SP 801842 e SP 791011, nota-se um perfil de comportamento muito semelhante, o que demonstra uma dinâmica de transpiração foliar muito próxima entre os cultivares.(FIGURA 36).

Por meio da observação da figura citada é possível dizer que os maiores valores se concentraram no mês de outubro entre os dias 280 a 300 do calendário Juliano. Isso ocorre, pois é nesse período que os valores de radiação fotossinteticamente ativa foram superiores a outros períodos de análises. Esse fato pode ser analisado nas FIGURAS 37, 38 e 39. Entre os dias 280 a 300, se registrou as maiores máximas de temperaturas do ambiente sendo mais um fator a se considerar na análise do comportamento da transpiração foliar para esses dias de medidas.

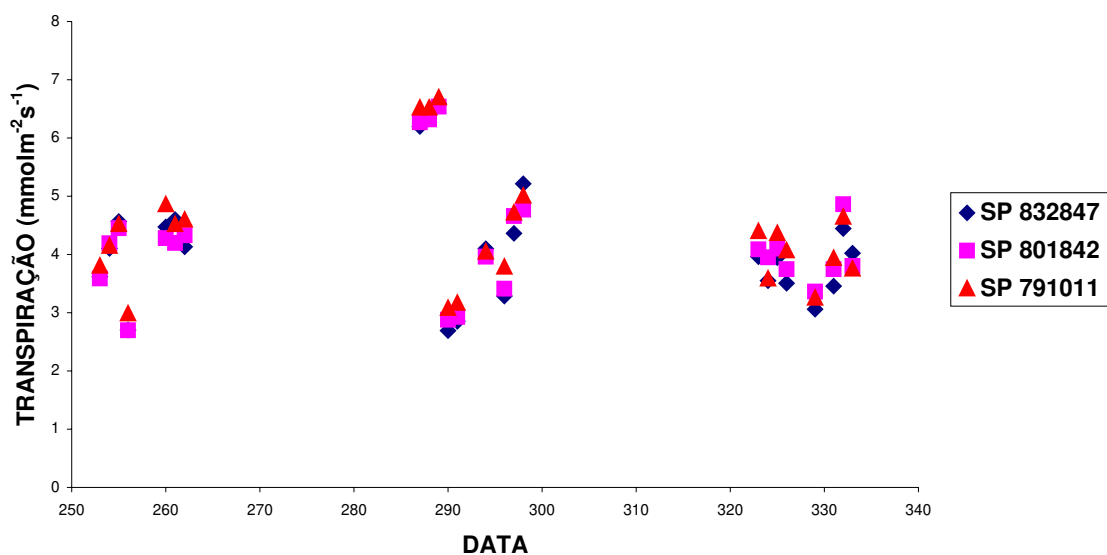


FIGURA 36 - Comportamento da transpiração média diária ao longo do período de medidas nas três variedades desse estudo.

As transpirações nas variedades SP 832847, SP 801842 e SP 791011 atingem seus maiores valores médios diários em três dias de medidas do mês de outubro. A radiação fotossinteticamente ativa atingiu os seus valores mais altos no mês de novembro. A

explicação plausível para esse fato observado no trabalho de campo pode ser creditada as maiores máximas de temperaturas aferidas no mês de outubro. Mais uma vez por intermédio desses resultados pode-se dizer que as três variedades desse estudo apresentam uma dinâmica dos fluxos de transpiração similares para o período de análise.

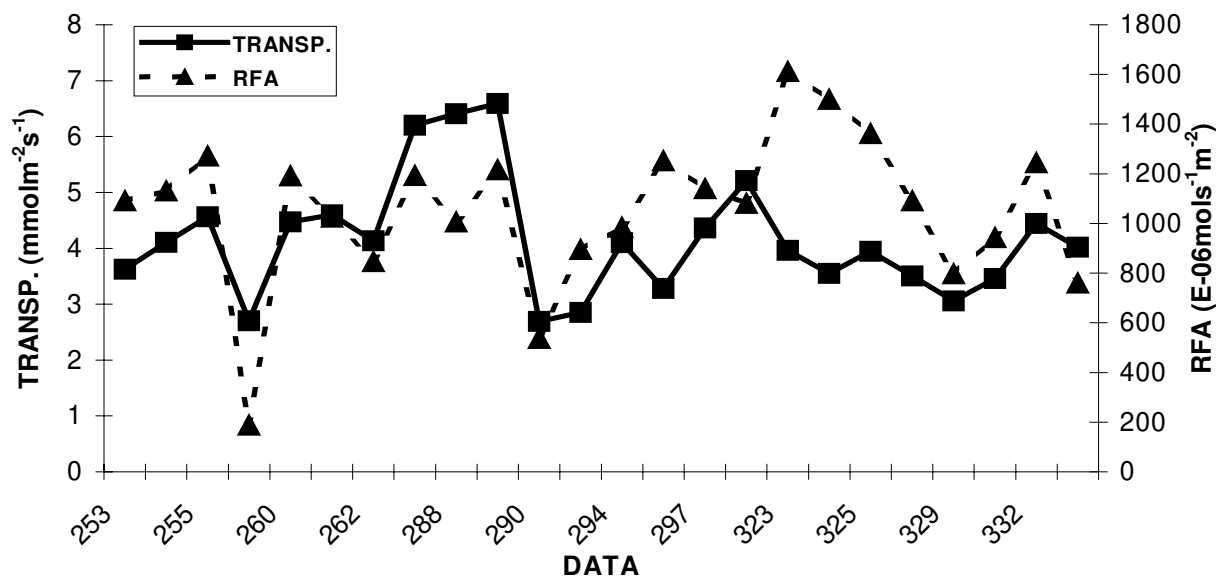


FIGURA 37 - Relação da transpiração média diária com a rad. fotoss. ativa média diária ao longo do período de medidas (set a nov/2002) na variedade SP 832847.

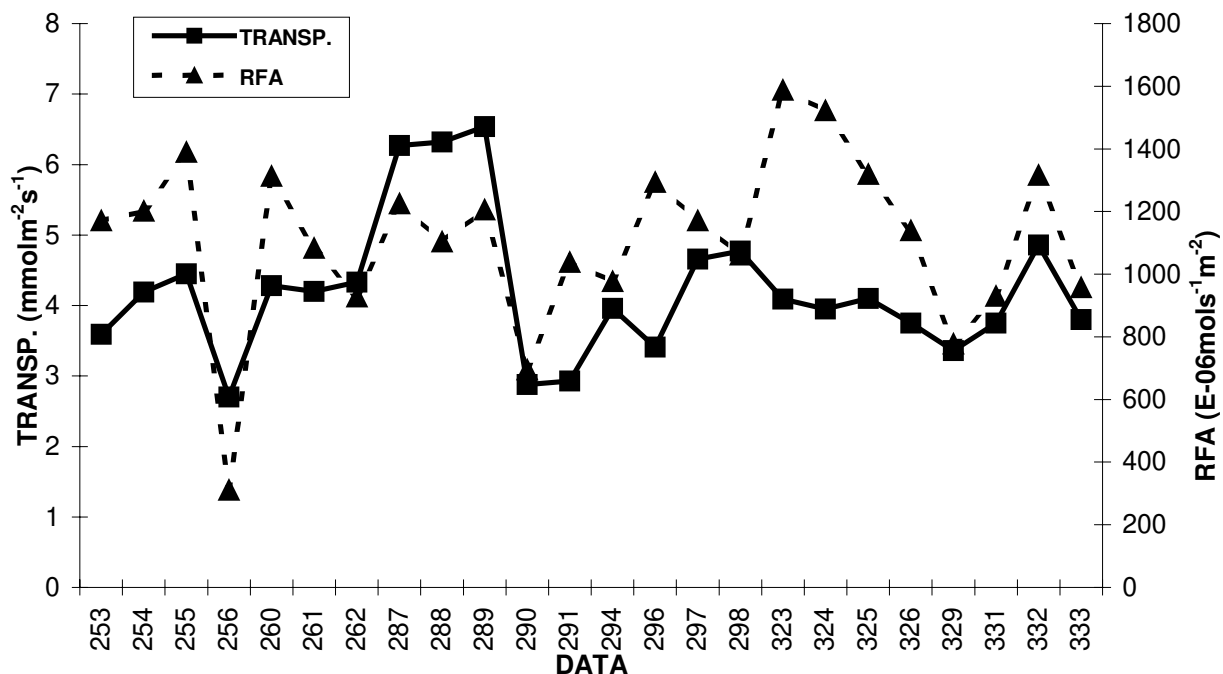


FIGURA 38 - Relação da transpiração média diária com a rad. fotoss. ativa média diária ao longo do período de medidas (set a nov/2002) na variedade SP 801842.

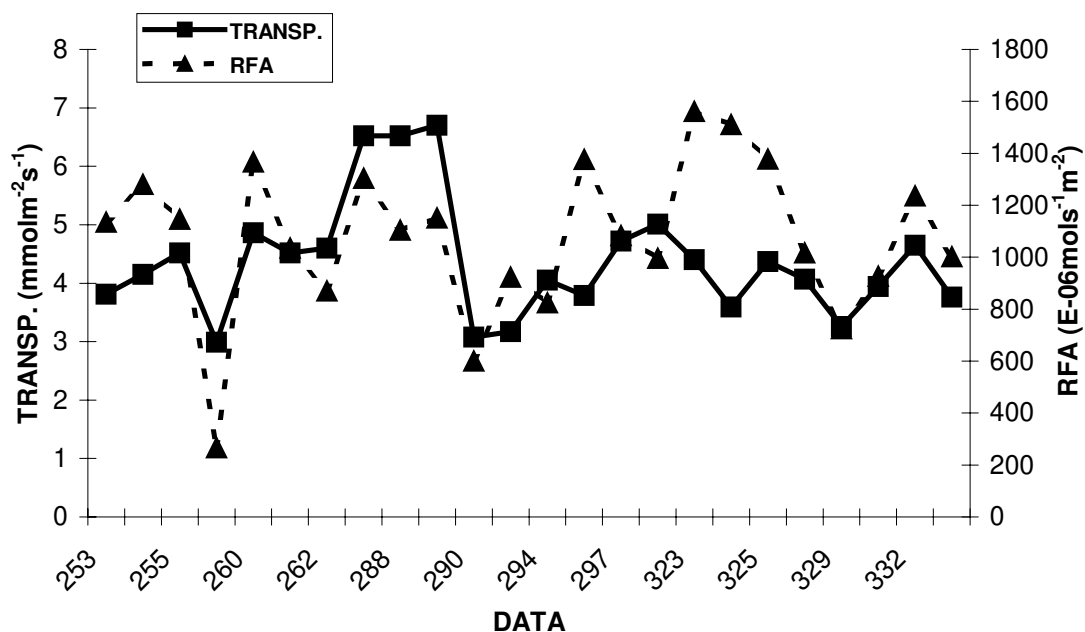


FIGURA 39 - Relação da transpiração média diária com a rad. fotoss. ativa média diária ao longo do período de medidas (set a nov/2002) na variedade SP 791011.

F

As FIGURAS 37, 38 e 39 também demonstram a dinâmica dos fluxos de transpiração foliar por todo o período de medidas nas três variedades que fizeram parte desse estudo. Por intermédio dessa análise é possível observar a estreita relação existente entre o potencial de transpiração foliar das variedades com a radiação fotossinteticamente ativa e também mais especificamente, nos dias de medidas do mês de outubro, com as máximas temperaturas do ambiente aferidas.

Nas FIGURAS 40, 41 e 42 observam-se os desempenhos das condutâncias estomáticas para o período analisado. Os dias de maiores valores médios de condutâncias são aqueles que apresentaram as maiores transpirações médias.

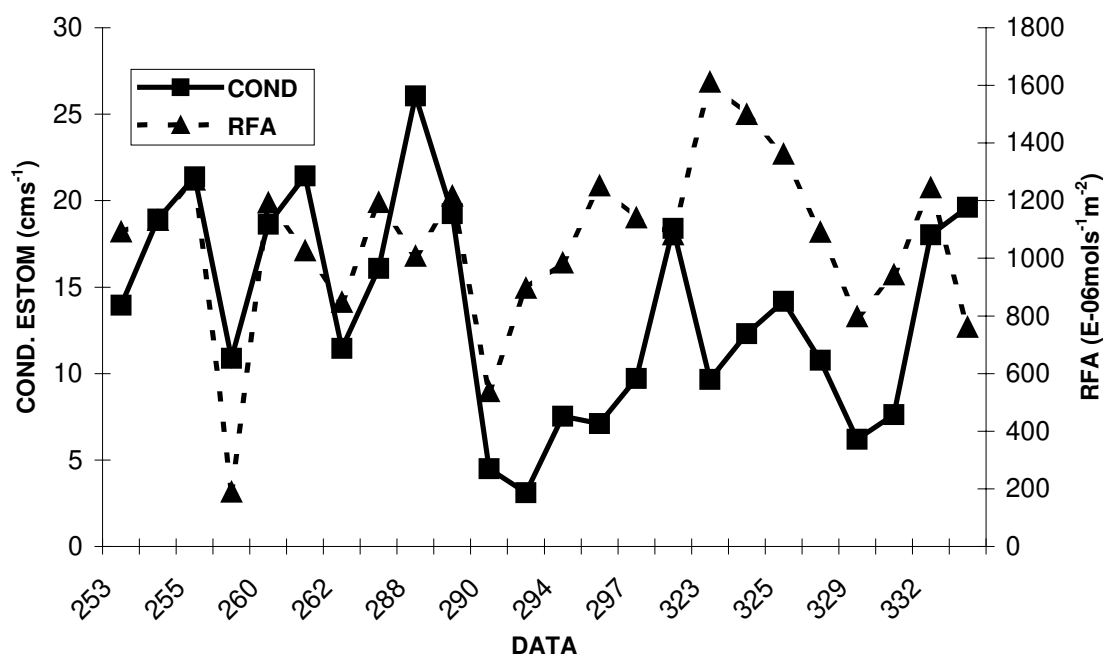
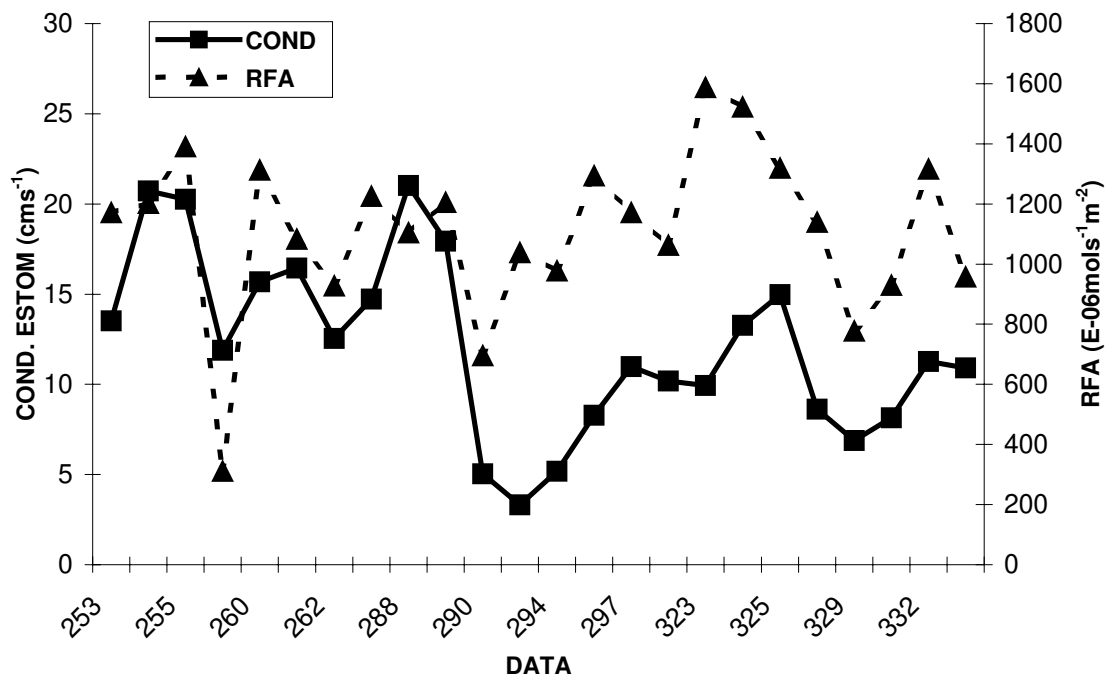
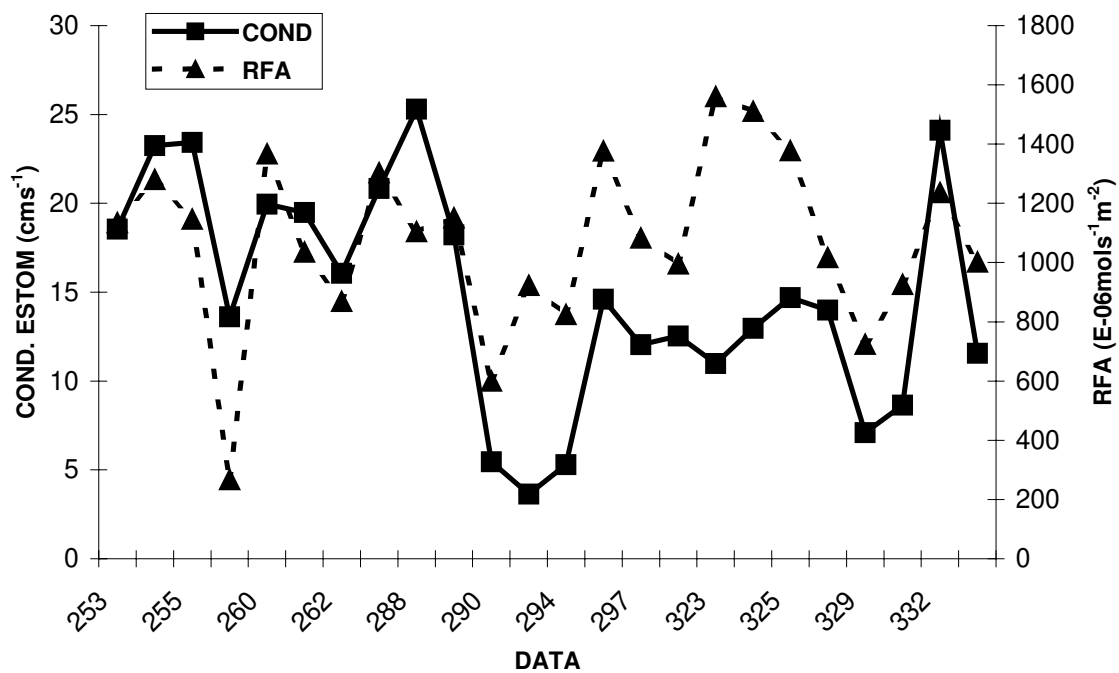


FIGURA 40 - Condutância estomática média diária em função da rad. fotoss. ativa média diária (set a nov/2002) para o período de medidas na variedade SP 832847.



F

FIGURA 41 - Condutância estomática média diária em função da rad. fotoss. ativa média diária para o período de medidas (set a nov/2002) na variedade SP 801842.



F

FIGURA 42 - Condutância estomática média diária em função da rad. fotoss. ativa média diária para o período de medidas (set a nov/2002) na variedade SP 791011.

5.3. Relação da transpiração foliar e das condições climáticas: radiação global e DPVS.

Na FIGURA 43, que mostra a relação entre a transpiração foliar e a radiação global (valores horários), observa-se por meio da linha de tendência que os valores de transpiração foliar apresentam um crescimento acelerado até 200 W/m^2 de radiação global. A partir desse valor de radiação global, as tendências de crescimento nos valores de transpiração foliares são mais moderadas.

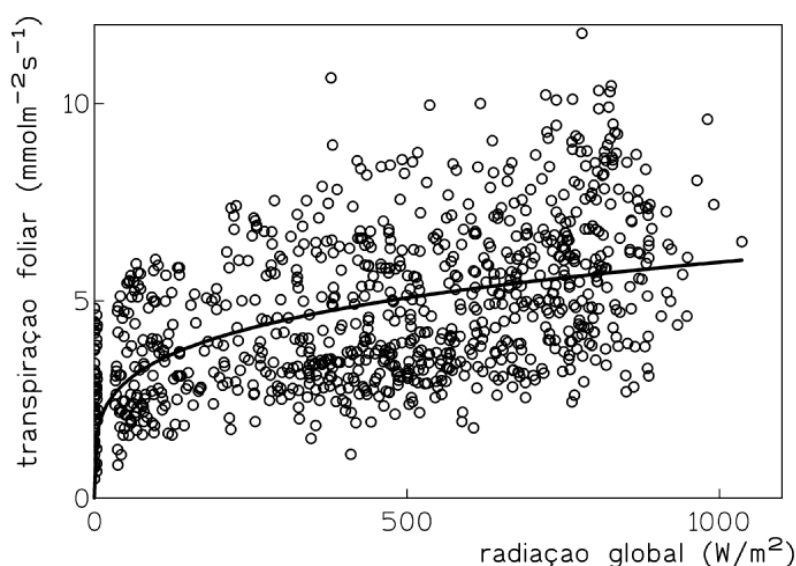


FIGURA 43 – Relação entre a transpiração foliar e a radiação global em valores horários para o período de análise (set a nov/2002).

Na FIGURA 44 nota-se o comportamento dos valores de transpiração foliar média diária com a radiação global média diária. É possível observar que a tendência de aumento da radiação global é acompanhada pela mesma tendência de aumento da transpiração foliar.

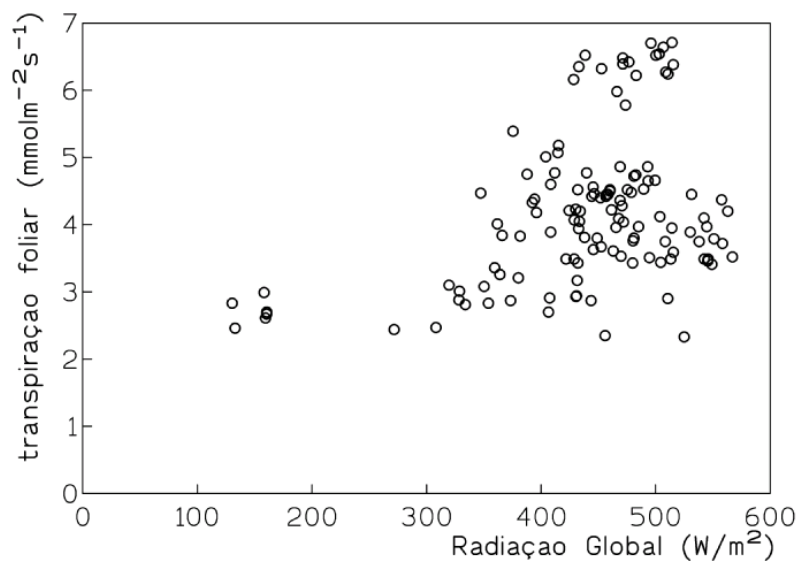


FIGURA 44 – Relação entre a transpiração foliar e a radiação global em valores diários para o período de análise. (set a nov/2002).

Na FIGURA 45 pode-se notar o comportamento horário da transpiração foliar em função do DPVS. Na parte da manhã com o início da incidência de radiação solar registram-se valores elevados de transpiração foliar mesmo com a ocorrência de DPVS baixo. No período da tarde a relação entre a transpiração foliar e o DPVS é direta, ou seja, valores elevados de DPVS implicam em valores elevados de transpiração foliar.

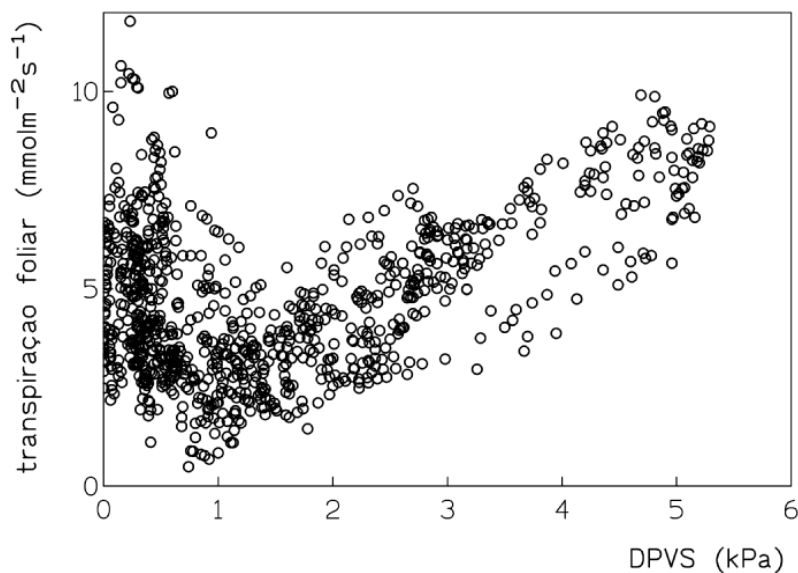


FIGURA 45 – Comportamento da transpiração foliar em função do DPVS em valores horários para o período de análise (set a nov/2002).

A FIGURA 46 mostra o comportamento da transpiração foliar média diária em relação ao DPVS médio diário. Observa-se que para valores baixos de DPVS, têm-se valores altos de transpiração foliar. Valores altos de DPVS correspondem a valores altos de transpiração foliar. Esperava-se uma relação direta entre a transpiração foliar e o DPVS, mas isso não ocorreu, visto que o DPVS representa o potencial de evaporação, portanto nesse estudo não foi possível uma análise conclusiva da relação direta entre a transpiração foliar e o DPVS, pois não se tem uma idéia clara do comportamento da transpiração foliar em função do DPVS.

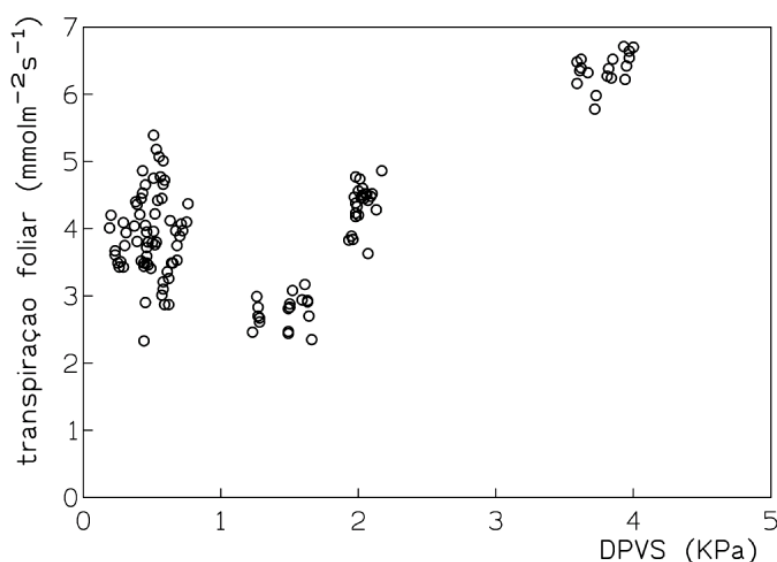


FIGURA 46 – Comportamento da Transpiração foliar em função do DPVS em valores diários para o período de análise (set a nov/2002).

Os dados experimentais mostraram a dinâmica da transpiração foliar em relação às condições climáticas, sem restrição hídrica, para a cana-de-açúcar. Por intermédio das análises experimentais notou-se a necessidade de realização sistemática de novos estudos. Esses estudos podem esclarecer dúvidas em relação à dinâmica do DPVS para a cultura de cana-de-açúcar.

6 - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

É grande a importância de se estudar a transpiração vegetal sob diversas condições ambientais para que se possam caracterizar os fluxos de água em ecossistemas gerenciados. A dinâmica dos fluxos de transpiração entre as variedades envolvidas nesse estudo sobre a prerrogativa de inexistência de restrição hídrica no solo, foi bastante semelhante, com valores médios diários de transpiração muito próximos entre si, sendo a variedade SP 791011 a que mais transpirou em valores médios diários, seguidos da variedade SP 801842 e por fim da SP 832847. A diferença percentual entre a cultivar com maior valor médio diário de transpiração e a de menor média diária foi de apenas 5.3%. A menor diferença percentual ainda, foi registrada entre as cultivares SP 801842 e SP 832847, 0.7%. As análises realizadas no período, não permitem concluir sobre qual variedade possui a maior velocidade de resposta à radiação fotossinteticamente ativa e ao DPVS (Déficit de Pressão de Vapor Saturado), isso talvez possa ser solucionado por meio da realização de estudos em um período maior de medidas.

Nas escalas temporais horárias não foram observadas dinâmicas de fluxos de transpiração diferentes entre as três variedades analisadas nesse estudo.

Esse trabalho evidenciou a necessidade de continuidade na mesma linha de pesquisa, seguindo a mesma metodologia, nas mesmas variedades, mas é necessário que o período de medidas no campo seja maior, talvez assim se possa concluir a respeito da escolha da variedade mais adequada para o cultivo em uma determinada região para que se obtenha uma maior produtividade em função das condições pedoclimáticas locais.

O conhecimento do comportamento das transpirações foliares em função da radiação global, do DPVS e de condições diferentes de disponibilidades de água, é importante pelo fato de possibilitar o desenvolvimento de modelos hidrológicos em uma parcela, podendo também ser utilizado para simulações em bacias hidrográficas. Uma das possibilidades seria a simulação da transpiração em duas condições distintas ao longo de um dia por meio desse tipo de modelo.

A transpiração em função do DPVS mostrou duas regiões distintas (FIGURAS 45 e 46), a primeira, com dados de DPVS até as 14:00 h: nesse período, mesmo com valores menores de DPVS os valores de transpiração foliar foram elevados. A segunda região com

dados após as 14:00 h, os valores detectados de DPVS apresentou uma relação direta com a transpiração foliar.

Estudos englobando os recursos hídricos são vitais devido à escassez temporal e espacial do mesmo, e o conhecimento da dinâmica dos fluxos de transpiração é indispensável para uma melhor compreensão das principais modificações do ciclo hidrológico.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANANDACOOMARASWAMY, A.; De COSTA, W.A.J.M.; SHYAMALIE. H.W.; CAMPBELL. G.S. Factors controlling transpiration of mature field-grown tea and its relationship with yield. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, p.375-386, 2000

BAKER, J.M.; Van BAVEL, C.H.M. Measurement of mass flow of water in the stems of herbaceous plants. **Plant Cell Environmental**. v.10 p.777-782, 1987.

BADHWAR, G. D.; McDONALD, R. B.; MEHTA, N. C. Satellite derived leaf area index and vegetation maps as input to global cycle models. A hierarchical approach. **Journal Remote Sensing**, v.7, p.265-281, 1986.

BEVEN, K. Changing ideas in hydrology - The case of physically-based models. **Journal of Hydrology**, v.105, p.157-172, 1989.

BLACKBURN, F. **Sugarcane**. Longman, New York. p414, 1984.

CALDER, I. R. A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, central Wales. **Journal of Hydrology**, v.33, p. 247-265, 1977.

CASTILHO, C. P. G. **Interceptação de chuvas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum ssp.*)**. 256p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

CERMAK, J.; RIGUZZI, F.; CEULEMANS, R. Scaling up from the individual tree to the stand level in Scots pine I. Needle distribution, overall crown and root geometry. **An.Sci. For.** v.55, p.63-88, 1998.

CHANG, J. **Climate and agriculture: na ecological survey**. Chicago: Aldine, 1968. 304p.

CLOSS, R. L. The heat pulse method for measuring rate of sap flow in a plant stem. **New Zealand Journal of Science**, v.1, n.2, p. 281-288, 1958.

COHEN, Y.; FUCHS, M.; GREEN, G.C. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in tree. **Plant, Cell and Environment**, v.4, p.391-397, 1981.

COHEN, Y.; FUCHS, M. Problems in calibration the heat pulse method for measuring sap flow in the stem of tree and herbaceous plants. **Agronomie**, v.9, p.321-325, 1989.

CURY, D. M. **Demanda de água na cultura de repolho (Brassica oleracea L. var. capitata)**. 79p. Tese de Doutorado da Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1985.

DAUZAT, J.; RAPIDEL, B.; BERGER, A. Simulation of leaf transpiration and sap flow in virtual plants: model description and application to a coffee plantation in Costa Rica. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.109, p.143-160, 2001.

DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. **Agronomic Journal**, v.45, p.385-390, 1962.

De WIT, C.T. Transpiration and crop yields. **Agricultural Research Report N° 64.6**. Institute for Biological and Chemical Research on Field Crops and Herbage, Wageningen.

GIFFORD, G. F. Apparent sap velocities in big sagebrush as related to nearby environment. **Journal of Range Management**, v.21, n.4, p.266-268, 1968.

GRANIER, A **Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres**. Ann. Sci. For. v.42, n.2, p.193-200, 1985.

HANSEN, G. K. Resistance to water transport in soil and young wheat plants. **Acta Agric. Scand.**, n.24, p.37-48, 1974.

HEIN, M. **Espacialização de duas microbacias hidrográficas do rio Piracicaba para modelagem hidrológica**. 291p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

HESKETH, J.; BAKER, D. Light and carbon assimilation by plants communities. **Crop Science**, v.7, p.285-293, 1967.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Ann. Rev. Plant Physiol**, n.24, p.519-570, 1973.

HUMBERT, R. P. **The growing of sugarcane**. Amsterdam: Elsevier, 779p.1968.

HUMPHRIES, W.; GIFFORD, G. F. **A preliminary quantification of the impacts of Aspen to conifer succession on water yield I. Heat pulse methodology for model calibration**, Water Resources Bulletin, v.20, n.2, p.173-179, 1984.

JARVIS, P. G. **The interpretation of the variation in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field**. Philosophical Transaction Royal Society of London - Physical Sciences and Engineering n.273: p.593-610, 1976.

JARVIS, P. G.; McNAUGHTON, K. G. **Stomatal control of transpiration: Scaling up from leaf to region**, Advance in Ecological Research, 15: p.1-49, 1986.

JOHNSON, R.R.; FREY, N.M.; MOSS, D. N. Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. **Crop. Sci.** v.14, p.728-731, 1974.

JONES, H.G. Plants and microclimate – a quantitative approach to environmental plant physiology. **Cambridge University Press**, Cambridge. 1992

KARVONEN, T.; KOIVUSALO, H.; JAUHIAINEN, M.; PALKO, J.; WEPPLING, K. A hydrological model for predicting runoff from different land use areas. **Journal of Hydrology**, v.217, p.253-265, 1999.

KAUFFMANN, M. R. Leaf conductance as a function of photosynthetic photon flux density and absolute humidity difference from leaf to air. **Plant Physiology**. v.69, p.1018-1022, 1982

KEATING, B. A; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, v.61, p.253-271, 1999.

KRAMER, P.J.; Changing concepts regarding plant water relations. **Plant Cell Environment**. v.11, p.565-568, 1988.

LAL, R. Soil erosion and land degradation: the global risks. **Advances in Soil Science**, n.7, p.129-172, 1990.

MACHADO, E. C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria seca na cultura de cana-de-açúcar** 115p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1981.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A R.; FAHL, J. I. et al. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 9, p.1323-1329, set. 1982.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A R.; CAMARGO, M. B. P. *et al.* Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.44, n. 1, p.229-238, 1985.

MACHADO, E. C. Fisiologia da produção de cana-de-açúcar. In: **Paranhos, S. B.** (Coord.), **Cana-de-Açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, 1987.

MARSHALL, D. C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **Plant Physiology**, v.6, n.33: p.385-396, 1958.

MEDEIROS, G. A **Influência do desenvolvimento do dossel vegetativo sobre o consumo de água e coeficiente de cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 135p. Dissertação de mestrado da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, 1996.

MEIRESONNE, L.; NADEZHDIN, N.; CERMAK, J.; Van SLYCKEN, J. Measured sap flow and simulated transpiration from a poplar stand in Flanders (Belgium). **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 96, p.165-179, 1999.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Ann. Sci. For.** v.42, p.193-200, 1985.

GRANIER, A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. **Tree Physiol.** v.3. p.309-320. 1987.

GRANIER, A.; BIRON, P.; LEMOINE, D. Water balance, transpiration and canopy conductance in two *beech* stands. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.100, p.291-308, 2000.

GRANTZ, D.; MEINZER, F. C. A Stomatal control of transpiration from a developing sugarcane canopy. **Plant, Cell and Environment**, n.12, p.635-642, 1989.

GRANTZ, D.; MEINZER, F.C. Stomatal response to humidity in a sugarcane field: Simultaneous porometric and micrometeorological measurements . **Plant. Cell Environmental**. v.13, p.27-37, 1990.

GRANTZ, D.; MEINZER, F. C. Regulation of transpiration in field –grown sugarcane: evaluation of the stomatal response to humidity with the Bowen ratio technique. *Agricultural and Forest Meteorology*. v.53, p.169-183, 1991.

MONTEITH, J.L.; Szeicz, G., Waggoner, P.E. The Measurement and control of stomatal resistance in the field. **J. Appl. Ecol.** v.2, p. 345-355, 1965.

MONTEITH, J.L. How do crops manipulate water supply and demand? **Phil. Trans. Royal Soc. London A** v.316, p.245-289, 1986. Apud KEATING, B. A; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, v.61, p.253-271, 1999.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R.B. Terrain-Based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data, **Water Resources Research**, v.27, n.6, p.1177-1191, 1991.

NABLE, R. O.; ROBERTSON, M. J.; BERTHELSEN, S. Response of shoot growth and transpiration to soil drying in sugarcane. **Plant and Soil**. v.207, p.59-65, 1999.

PALACIOS-VÉLEZ, O L.; CUEVAS-RENAUD, B. SHIFT: A distributed runoff model using irregular triangular facets, **Journal of Hydrology**, v.134, p.35-55, 1992.

PASSIOURA, J.B. Water transport in and to roots **Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.** v.39, p.245-265, 1988a.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. R. Soc.** v. 193, p. 120-145.

PINTO, N. S. L.; HOLTZ, A C. T.; MARTINS, J. A; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda., 1976.

PUTTY, M. R. Y.; PRASAD, R. Understanding runoff processes using a watershed model - a case study in the Western Ghats in South India. **Journal of Hydrology**, v.228, p.215-227, 2000.

RAWSON, H. M.; BEGG, J. E.; WOODWARD, R.G. The effect of atmospheric humidity on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves of several plant species. **Planta**, n.134, p.5-10, 1977.

RITCHIE, J. T. Specifications of the ideal model for predicting crop yields In: *Climatic Risk in Crop Production Models and Managements for the Semi-Arid Tropics and Subtropics*. **CAB international**, Wallingford, p.329-358, 1991. Apud KEATING, B. A; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, v.61, p.253-271, 1999.

ROBERTS, J.M.; ROSIER, P.T.W. Comparative estimates of transpiration of ash and beech forests at a chalk site in southern Britain. **Journal of Hydrology**. v.162, p.229-245, 1994.

SWANSON, R.H. Significant historical developments in thermal methods for measuring sap flow in trees. **Agricultural Forest Meteorology**. v.72, p.113-132.

SANCHEZ-DIAZ, M.F. MOONEY, H.A. Resistance to water transfer in desert *shrubs* native to Death Valley, California. **Physiology Plant**. v.46, p.139-146.1979

SANCHEZ-DIAZ, M. F.; KRAMER , P. J. Behavior of corn and sorghum under water stress and during recovery. **Plant Physiol.**, n.48, p.613-616, 1971.

SANTOS FILHO, B. G. **Parâmetros biofísicos e fisiológicos associados à economia da água em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) submetidas à estresse hídrico.** 158p Tese de Doutorado, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, 1984.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINFSEN, E.A.; Sap pressure in vascular plants. **Science**. v.148, p.339-346, 1965.

SINGH, V. P. Hydrologic systems - **Water modeling**, v.1. Prentice Hall, 320p, 1989.

SMITH, B.G.; BURGESS, P. J.; CARR, M.V.K., Effects of clone and irrigation on the stomatal conductance and photosynthetic rate of tea (*Camellia sinensis*). **Expl. Agric.** v.30, p.1-16, 1994.

STEINBERG, S.L.; Van BAVEL, C.H.M.; Mc FARLAND, M.J. A gauge to measure mass flow rate of sap in stems and trunks of woody plants. **Am. J. Hortic. Sci.** v.114, p.466-472.

STEPHENS, W.; CARR, M.K.V. A water stress index for tea (*Camellia sinensis*), **Expl. Agric.** v.25, p.545-558, 1989.

STEWART, J. B. Evaporation from the wet canopy of a pine forest. **Water Resources Research**, v.13, n.6, p.921-951, 1977.

STEWART, J. B. Measurement and prediction of evaporation from forested and agricultural catchment. **Agricultural Water Management**, v.8, p.1-28, 1984.

TEIXEIRA FILHO, J. **Analyse et modélisation du fonctionnement hydrique d'un écosystème forestier méditerranéen: Spatialisation a l'échelle du bassin versant.** Montpellier, 1995. 312p. (Tese de Doutorado) - Université de Montpellier II Science et Technique du Languedoc.

TRUDA, L. **A defesa da produção açucareira - um ensaio da organização da economia brasileira**. Rio de Janeiro: Tipografia do Jornal do Comércio, 1934.

TURNER, N.C. Correction of flow resistances of plants measured from covered and exposed leaves. **Plant Physiology**, v.68, p.1090-1092.

TUCCI, C. E. M.; **Hidrologia ciência e aplicação**. 2ed. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS, 2000.

UNICA. União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo. Capturado em 07/02/2002. Online . Disponível na internet
http://www.webcana.com.br/Noticias/Fevereiro/Exclusivas/e26_09.htm.

VAN DILLEWIJN, C. **Botánica de la caña de azúcar**. Instituto del libro, 1950, 460p

Van GENUCHTEN, M.T.; NIELSEN, D.R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **An. Geophysicae**. v.3, p.615-628, 1985.

VIEIRA, D. B. **Avaliação da interceptação hidrológica e o efeito da vinhaça em cana-de-açúcar**. 124p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia de Limeira, Universidade Estadual de Campinas, 1982.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WEGEHENKEL, M. Test of a modelling system for simulating water balances and plant growth using various different complex approaches, **Journal of Hydrology**, v.129, p.39-64, 2000.

WIGMOSTA, M.; VAIL, L.W.; LETTENMAIER, D.P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. **Water Resources Research**, v.30, n.6, p.1665-1679, 1994.

ZHANG, H.; SIMMONDS, L.P.; MORISON, J.I.L.; PAYNE, D. Estimation of transpiration by single trees: comparison of sap flow measurements with a combination equation. v.87, p.155-169, 1997.

ZIMMERMANN, M. H. **Xylem structure and the ascent of sap**. Springer-Verlag, 1983. 143p. (Springer series in Wood Science).

APÊNDICE
(TRANSPIRAÇÃO, CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA, RADIAÇÃO
FOTOSSINTÉTICAMENTE ATIVA E DÉFICIT DE PRESSÃO DE
VAPOR SATURADO EM FUNÇÃO DO TEMPO)

Figura A1 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 10/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

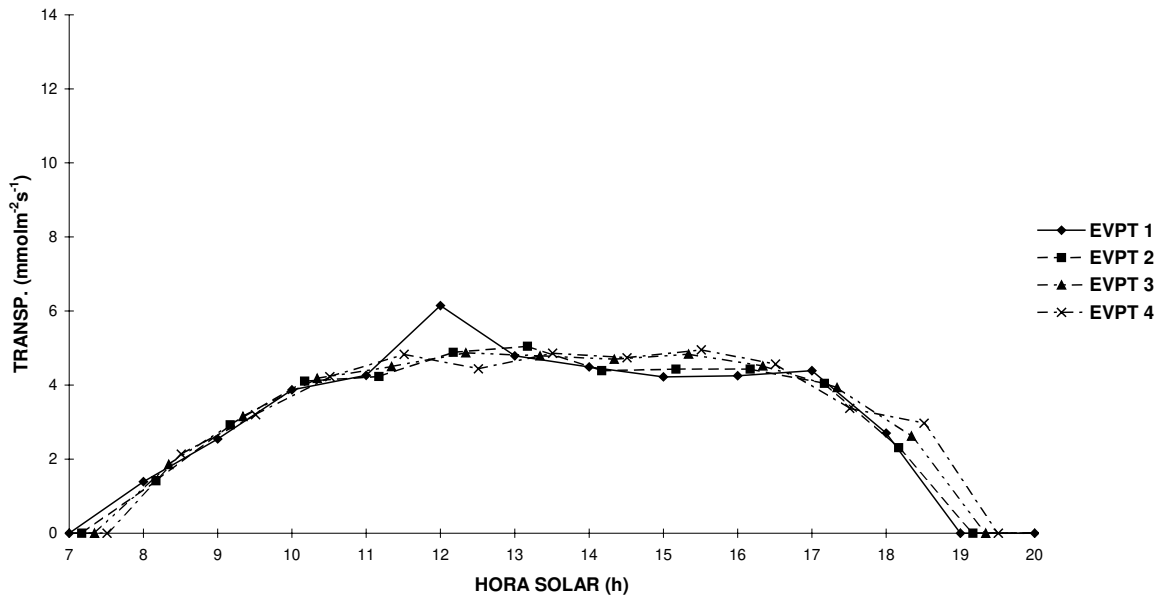


Figura A2 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 10/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

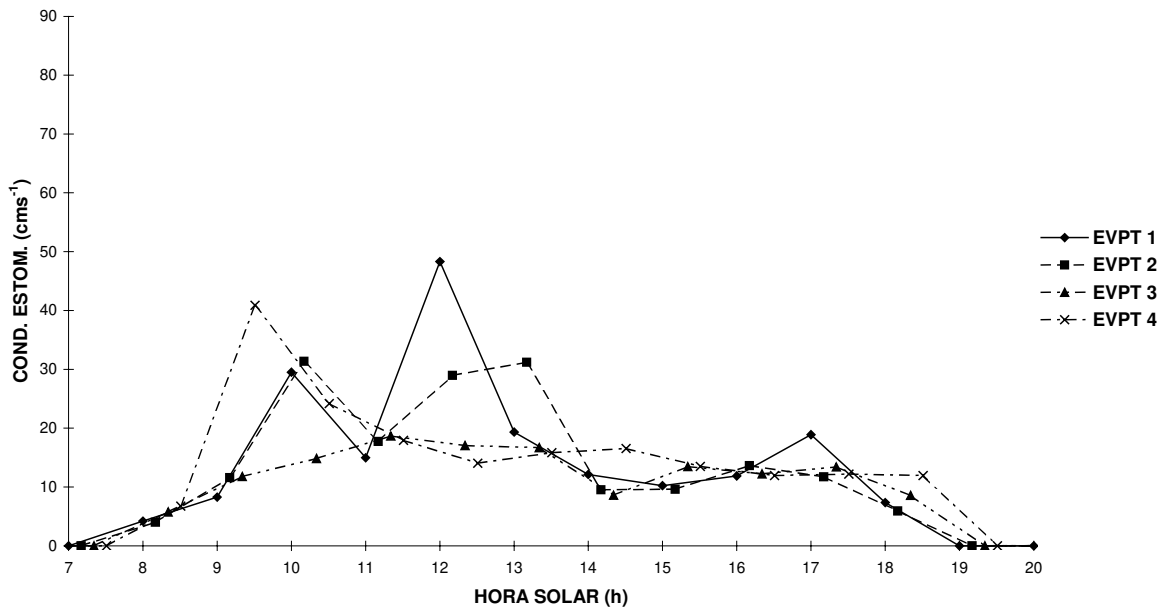


Figura A3 - RFA PARA O DIA 10/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

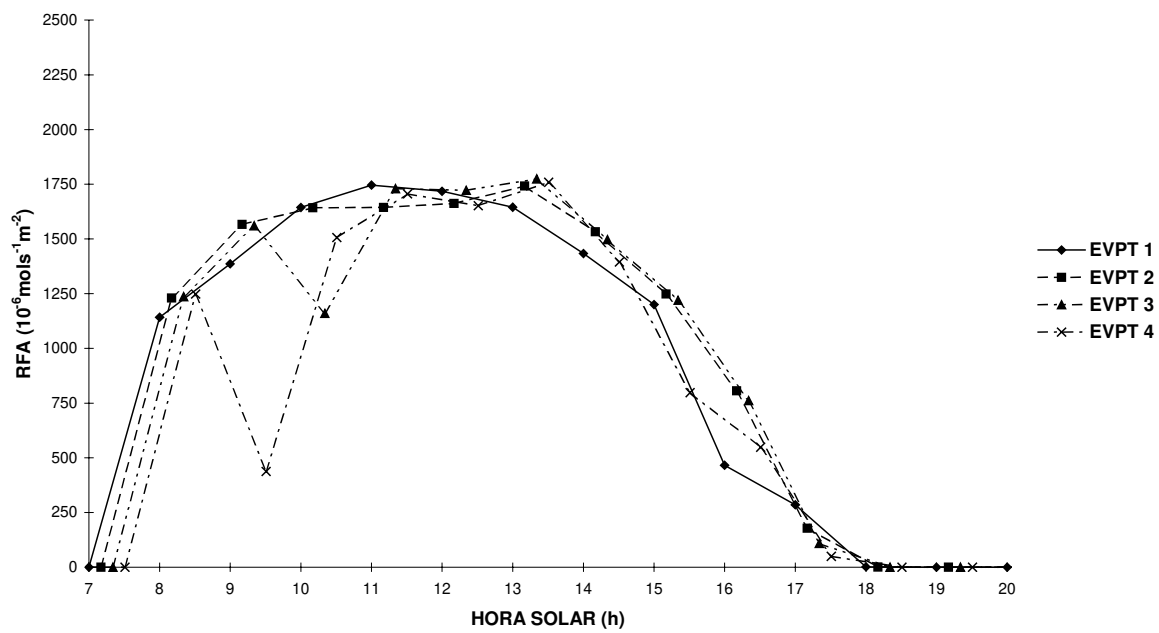


Figura A4 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 10/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

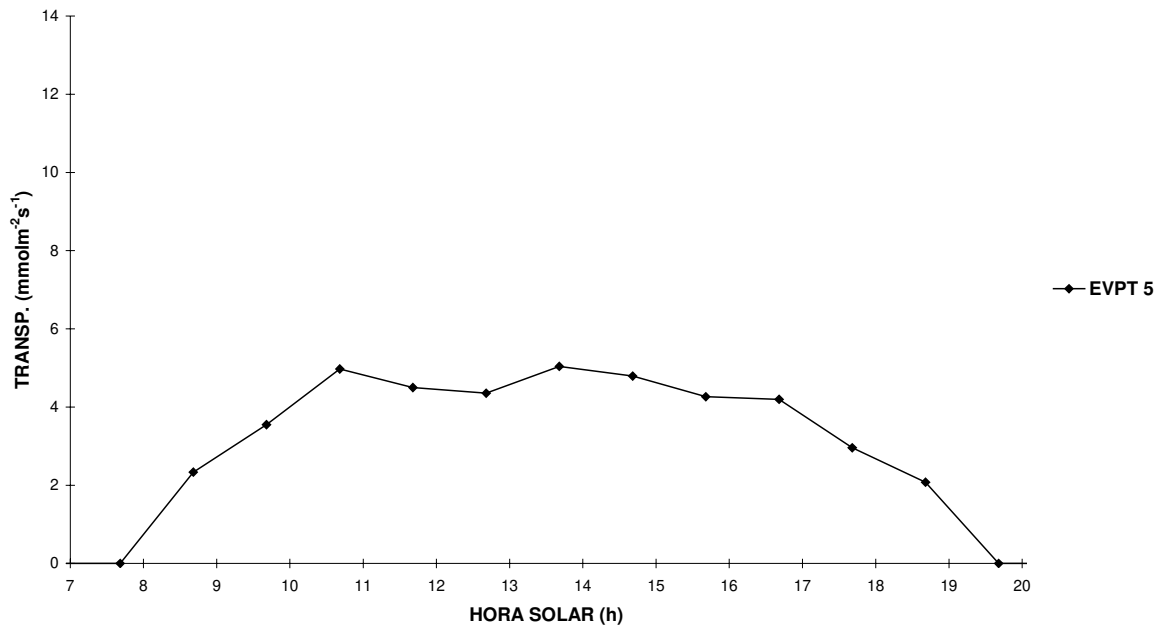


Figura A5 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 10/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

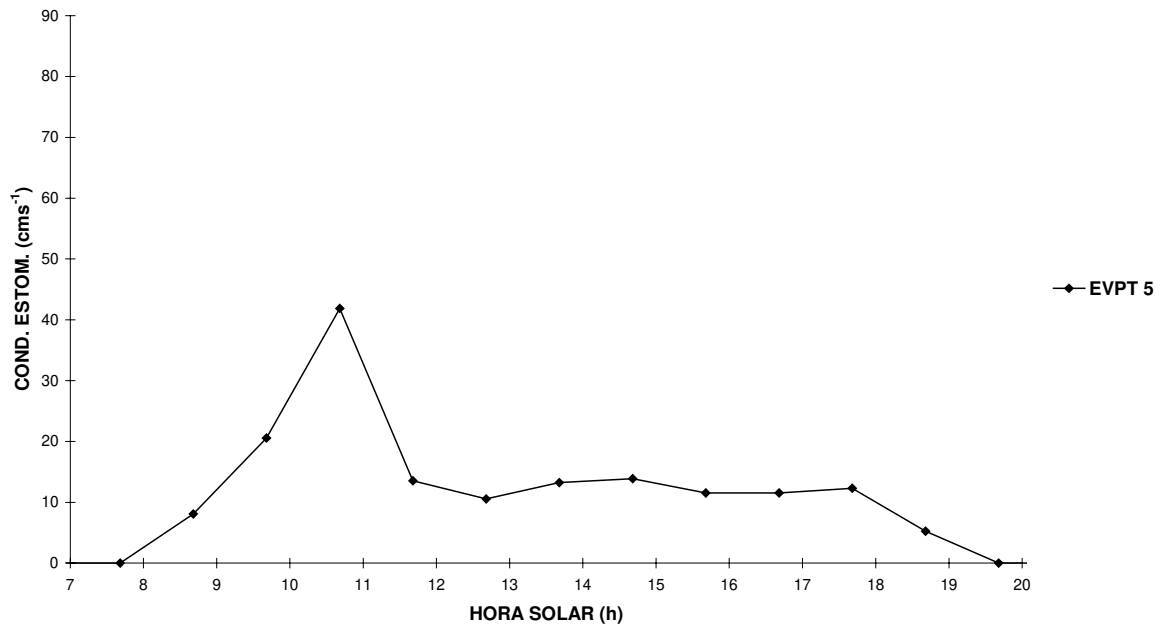


Figura A6 - RFA PARA O DIA 10/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

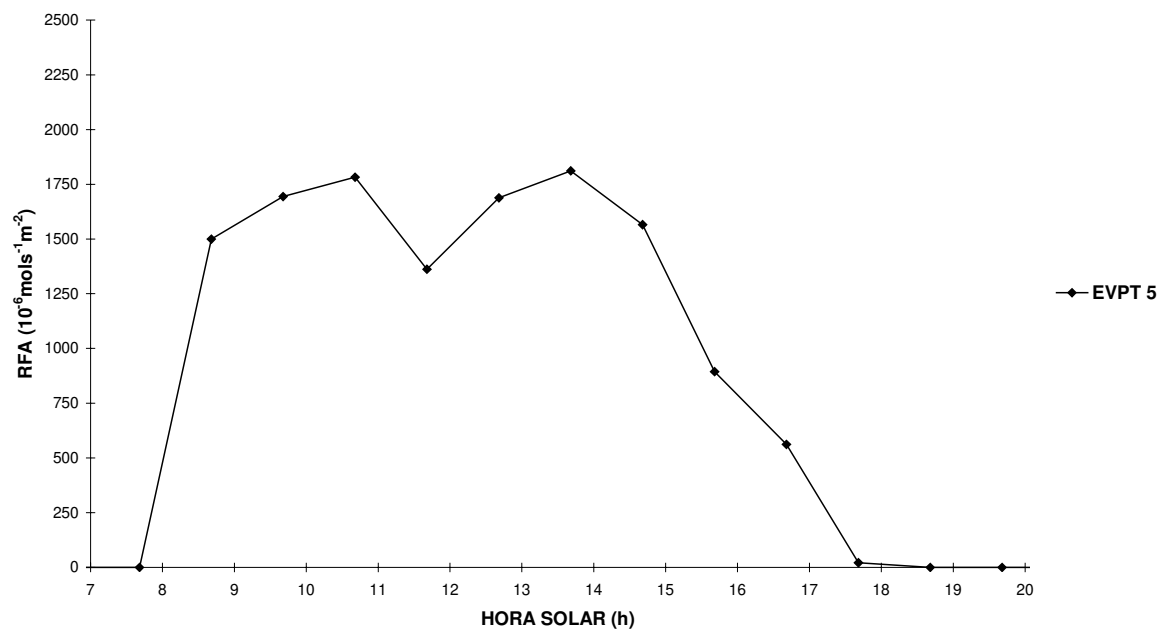


Figura A7 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 10/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

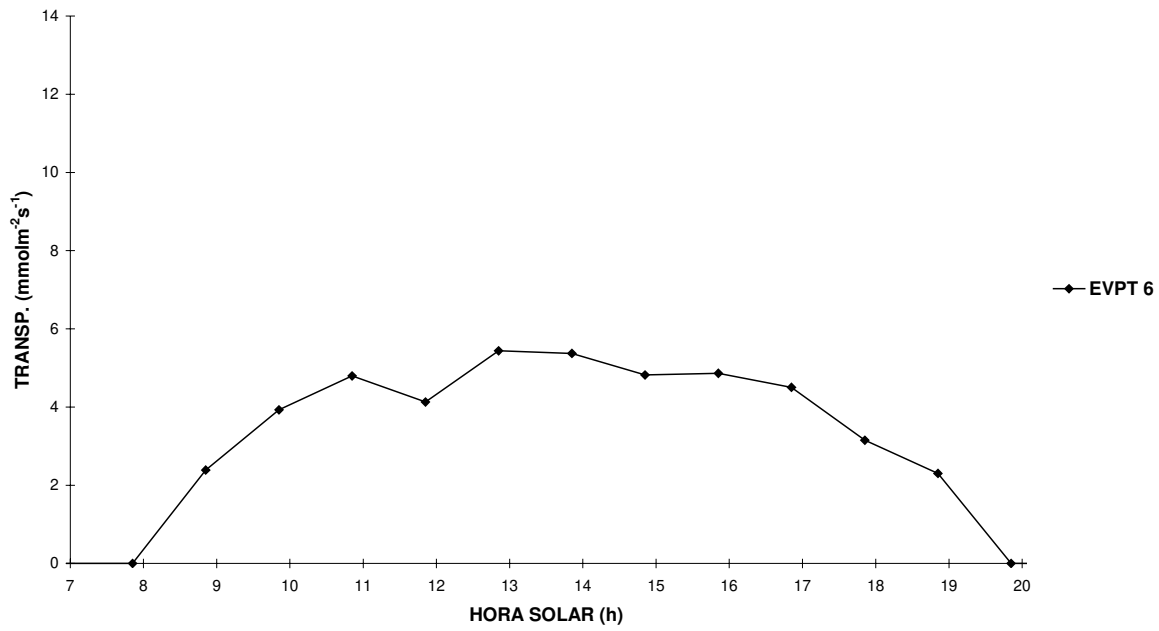


Figura A8 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 10/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

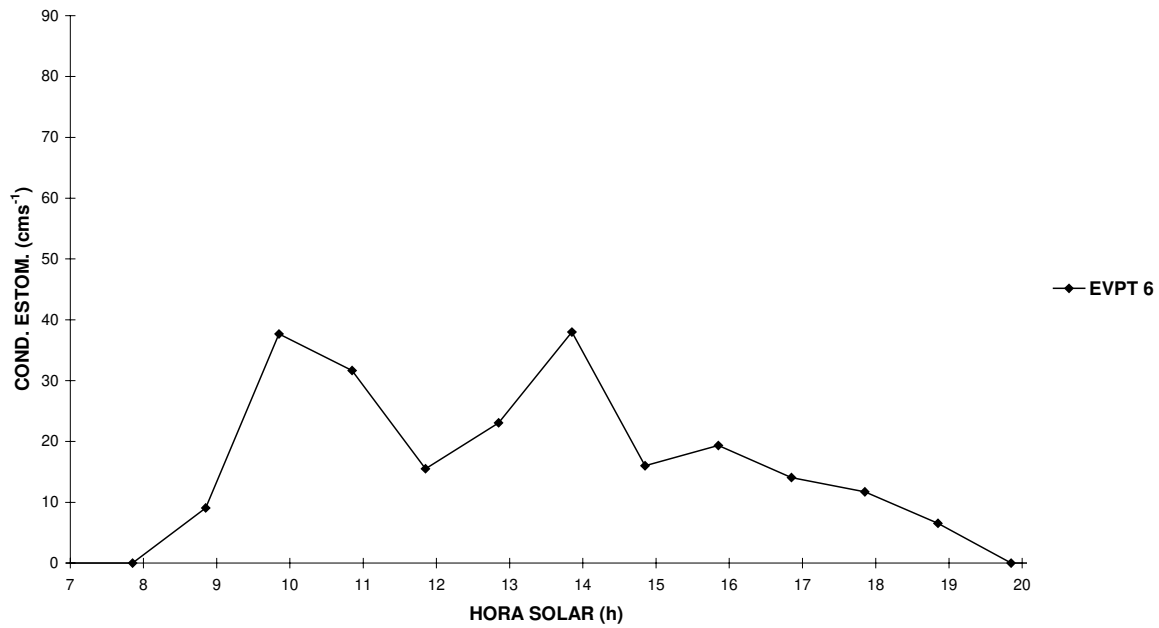


Figura A9 - RFA PARA O DIA 10/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

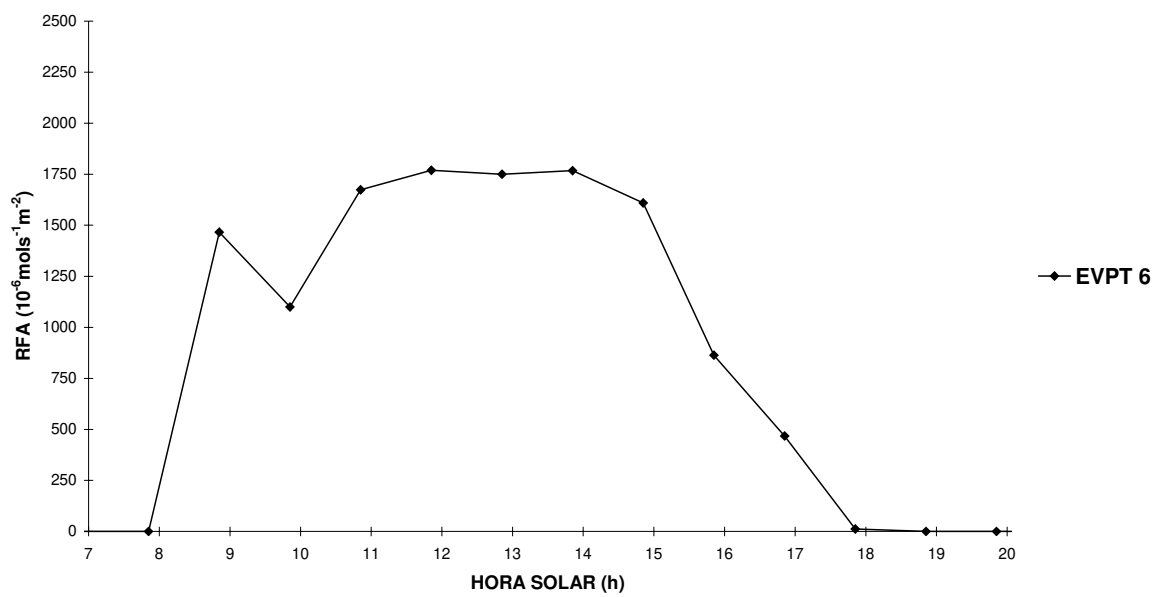


Figura A10 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 11/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

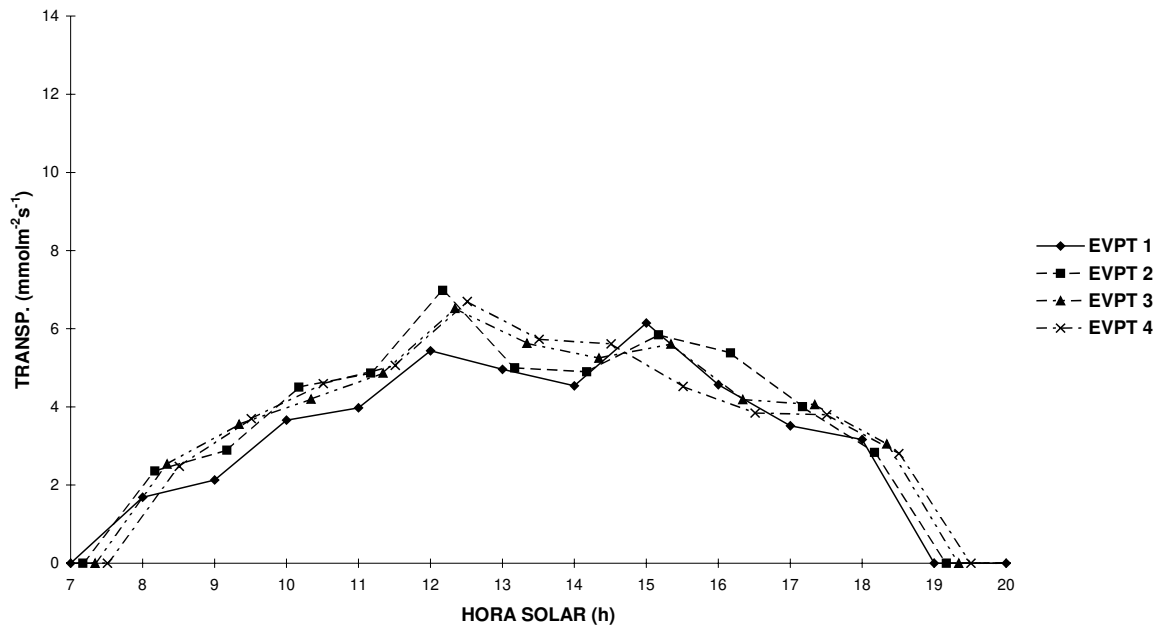


Figura A11 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 11/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

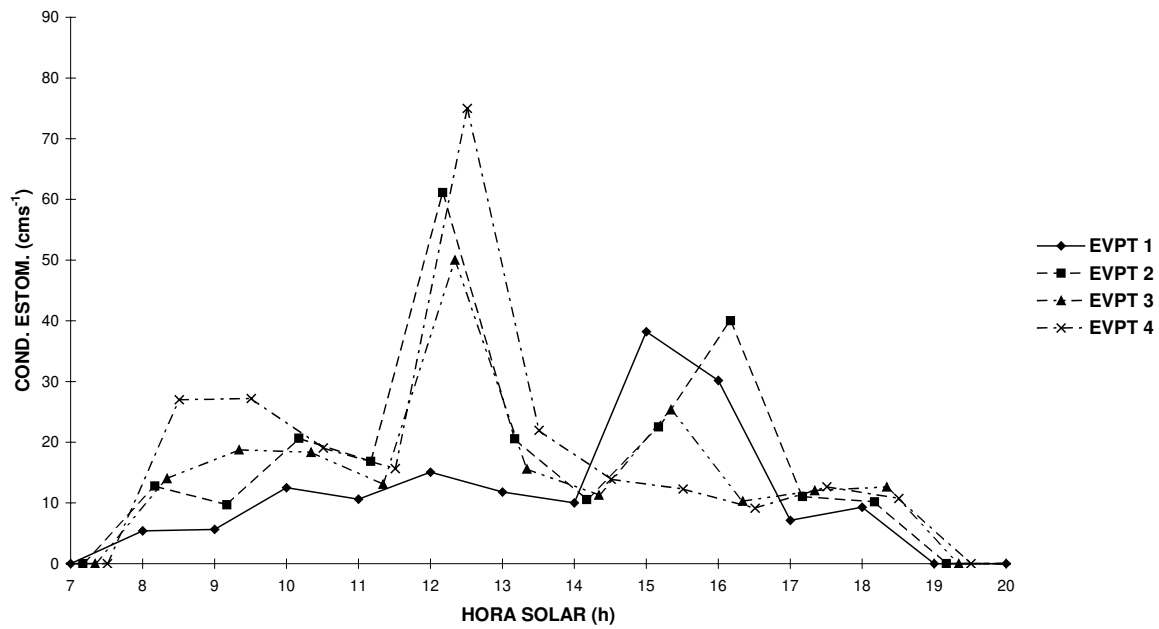


Figura A12 - RFA PARA O DIA 11/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

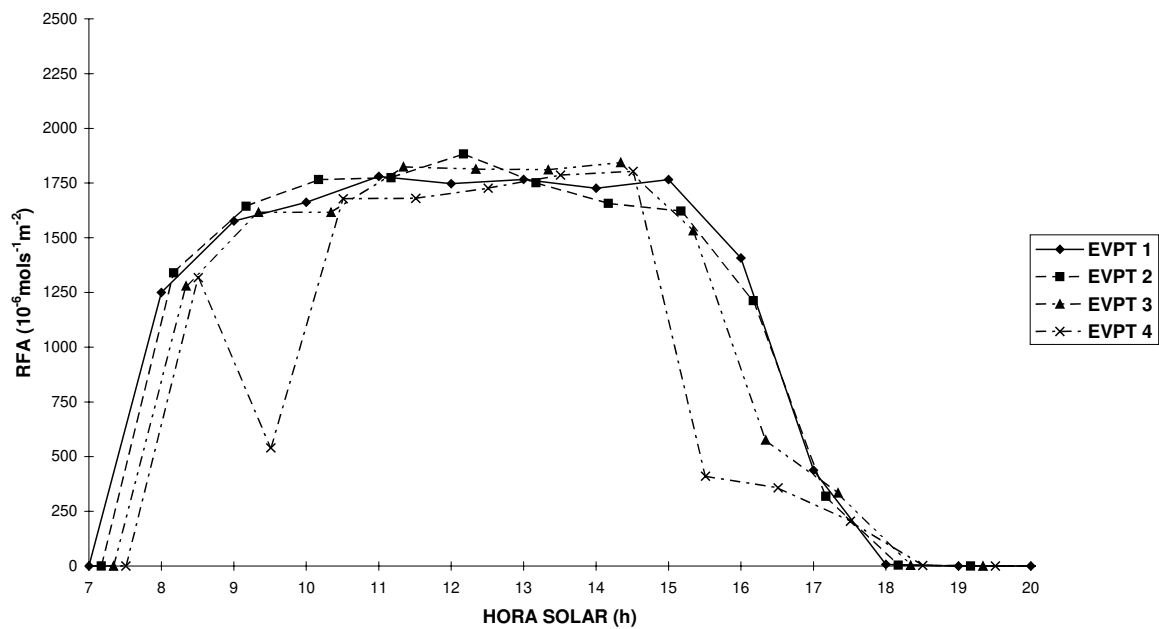


Figura A13 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 11/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

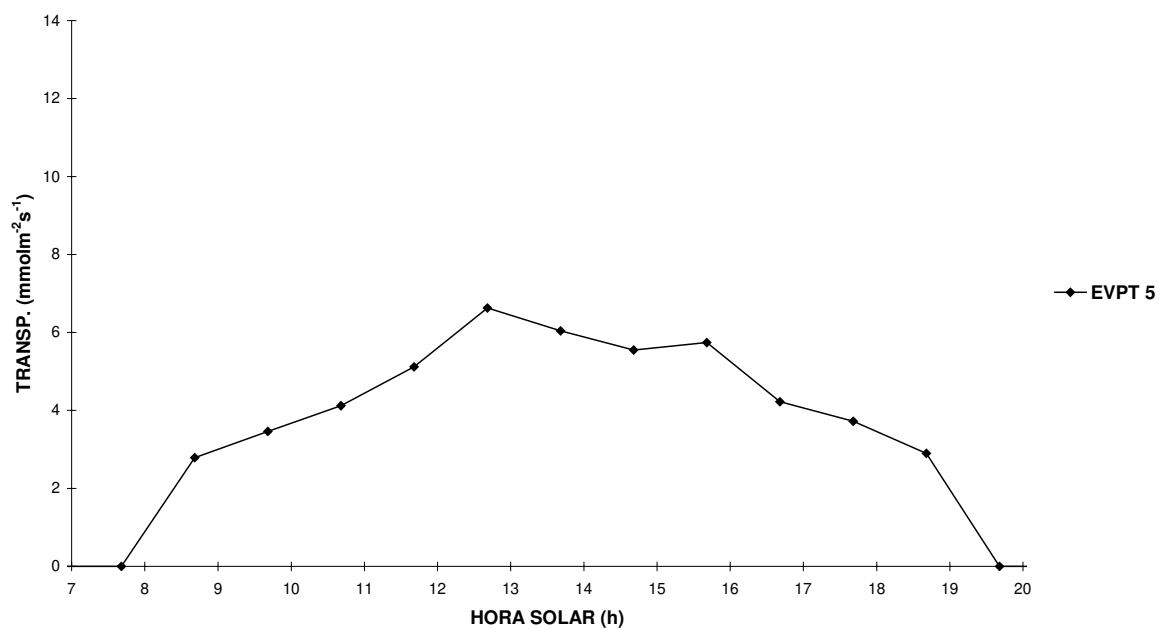


Figura A14 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 11/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

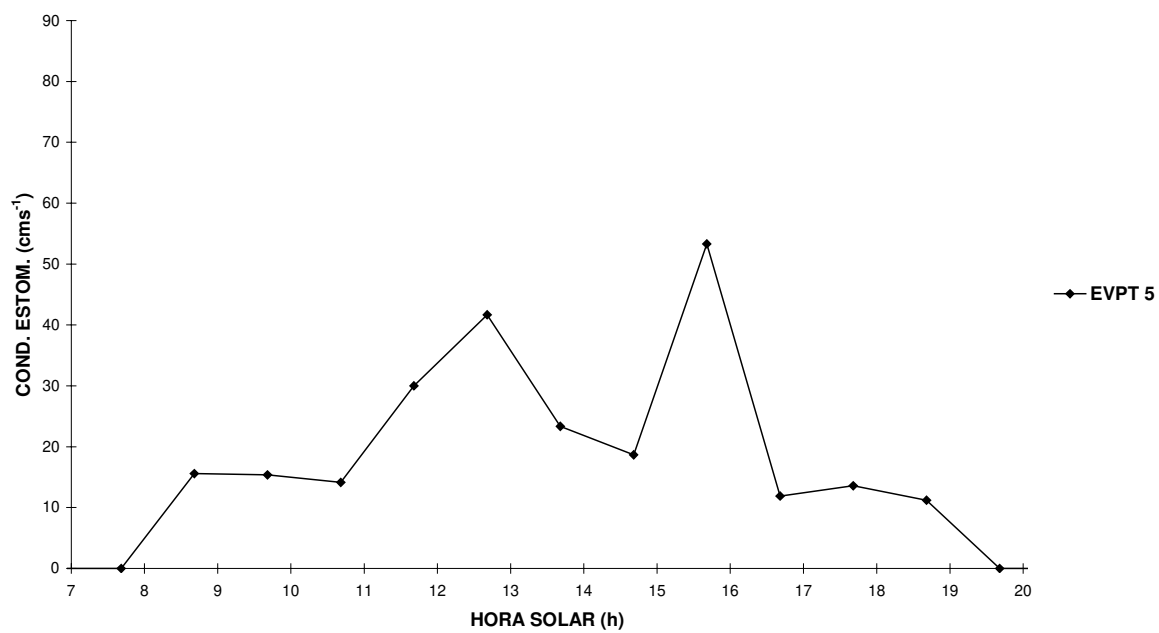


Figura A15 - RFA PARA O DIA 11/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

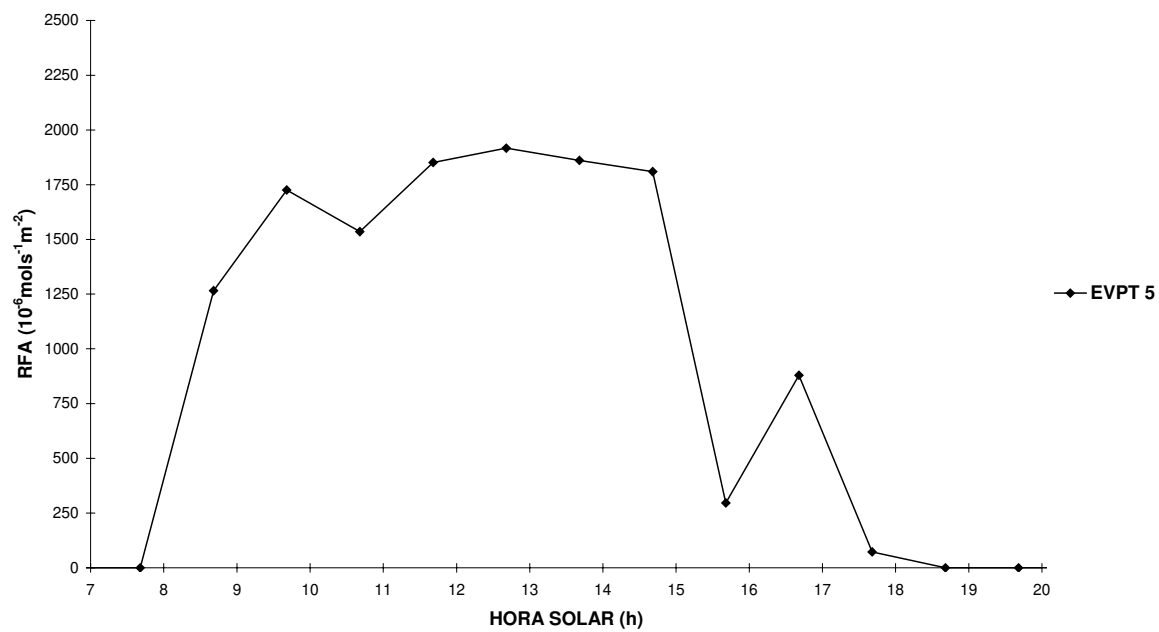


Figura A16 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 11/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

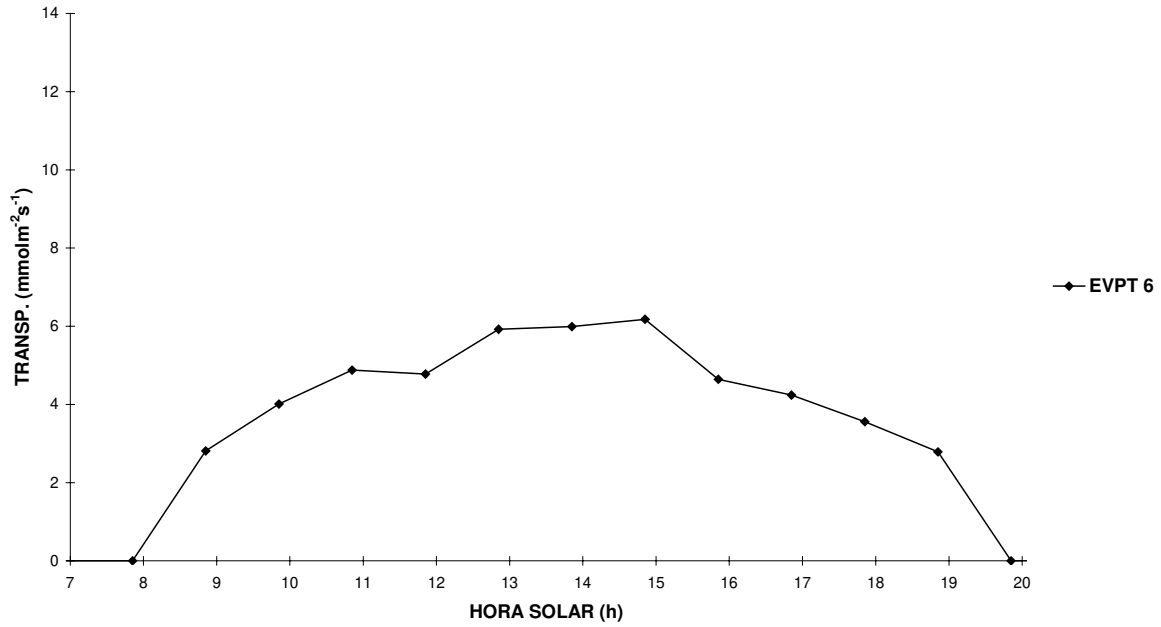


Figura A17 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 11/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

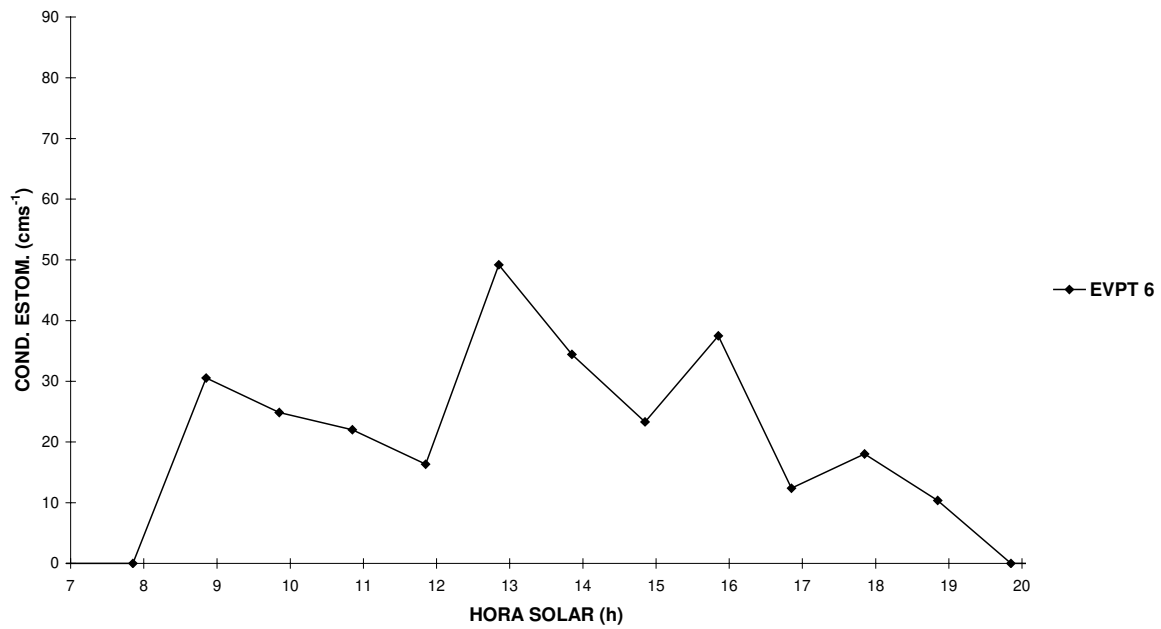


Figura A18 - RFA PARA O DIA 11/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

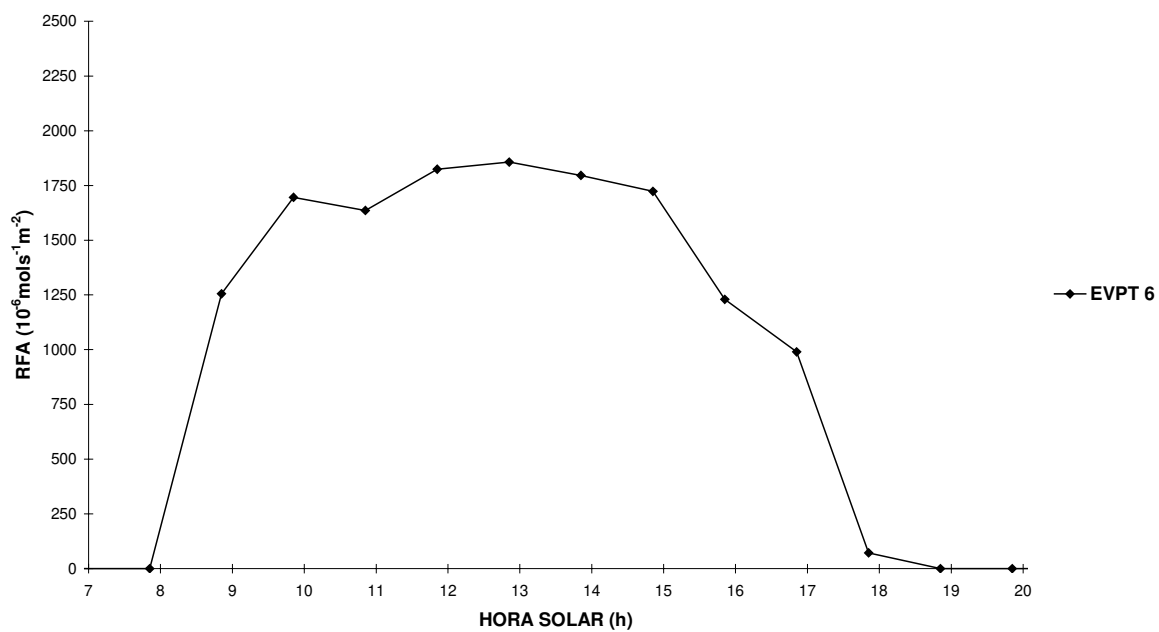


Figura A19 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

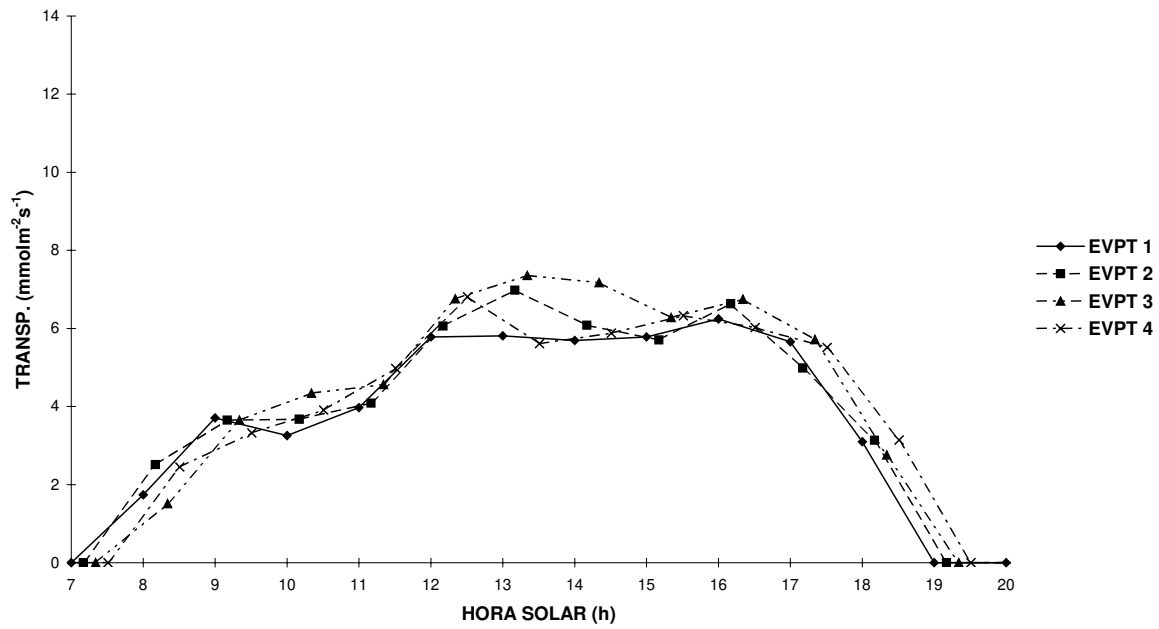


Figura A20 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

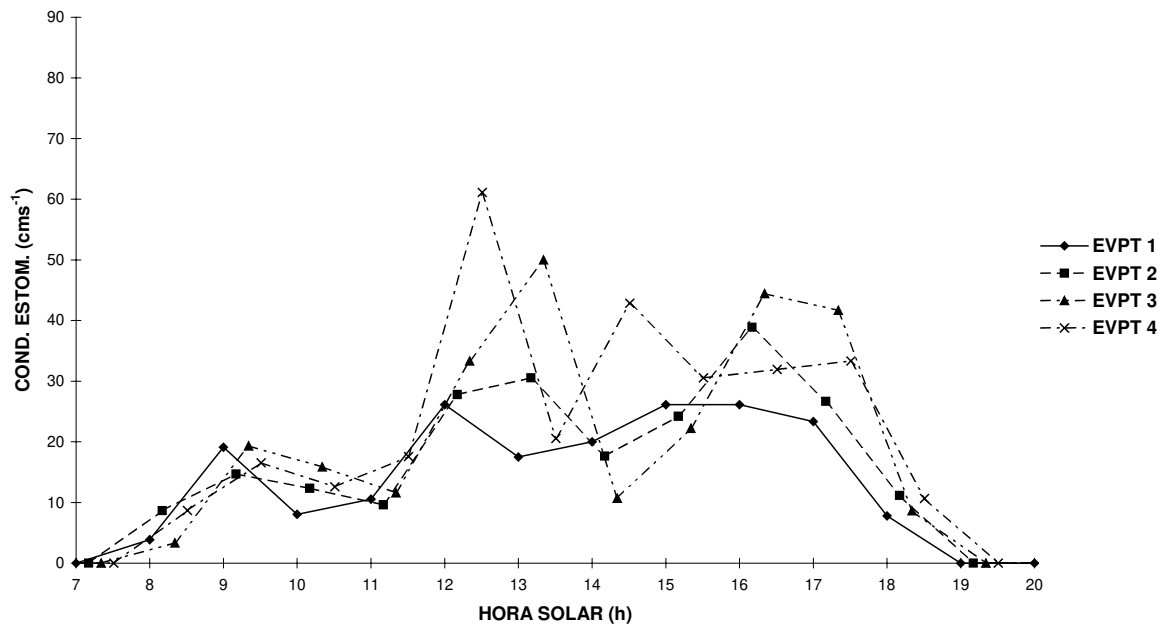


Figura A21 - RFA PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

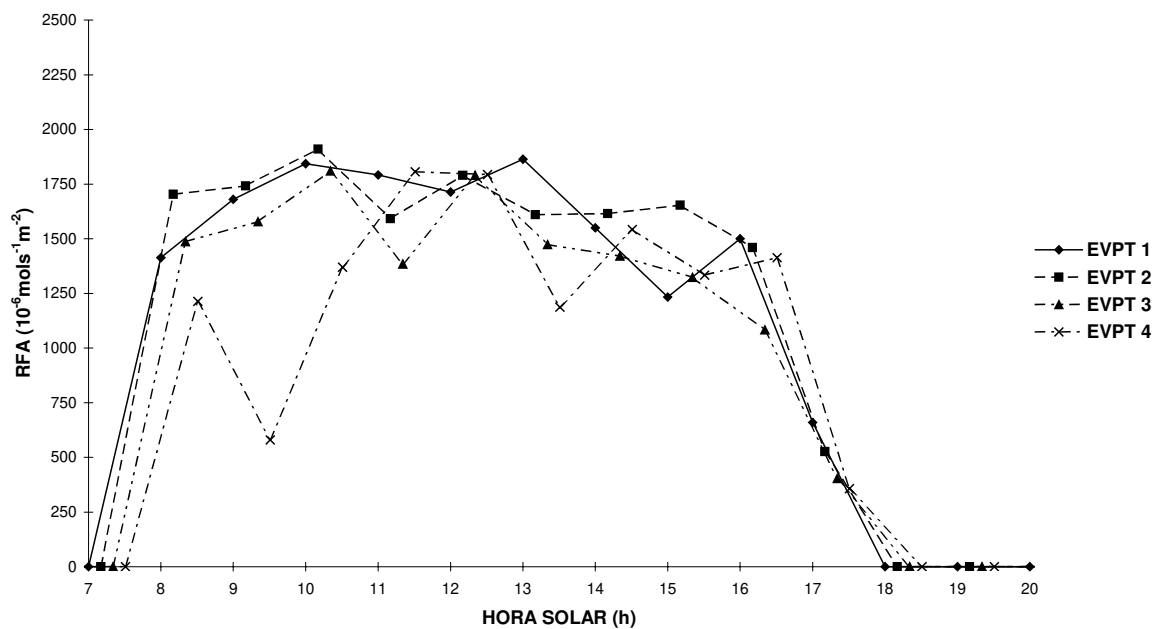


Figura A22 - DPVS PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

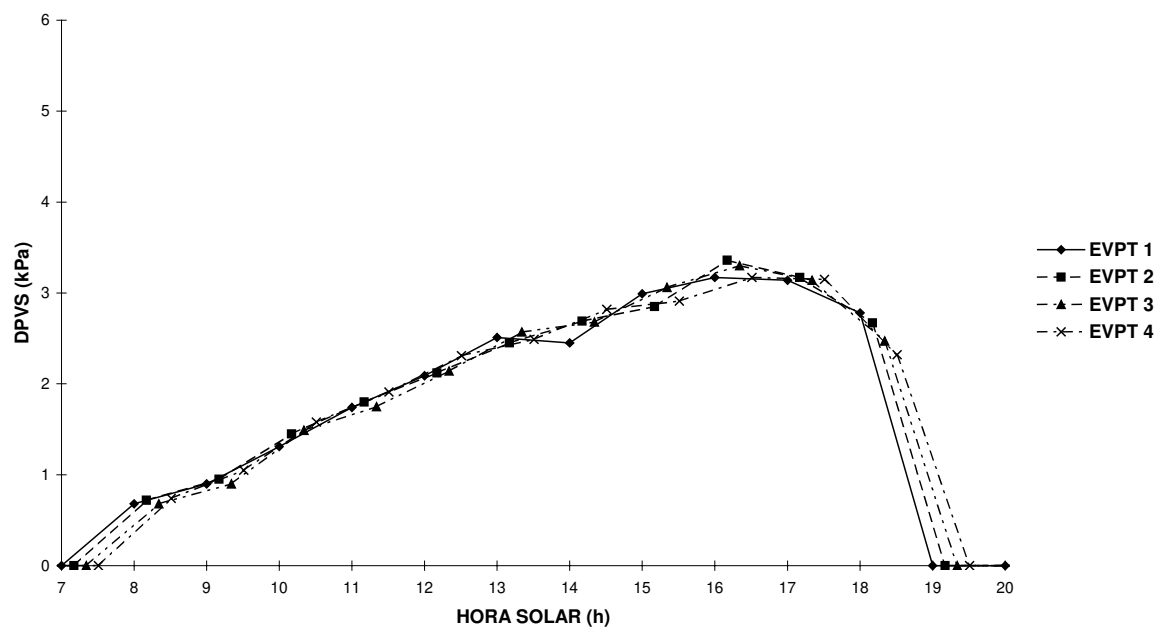


Figura A23 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

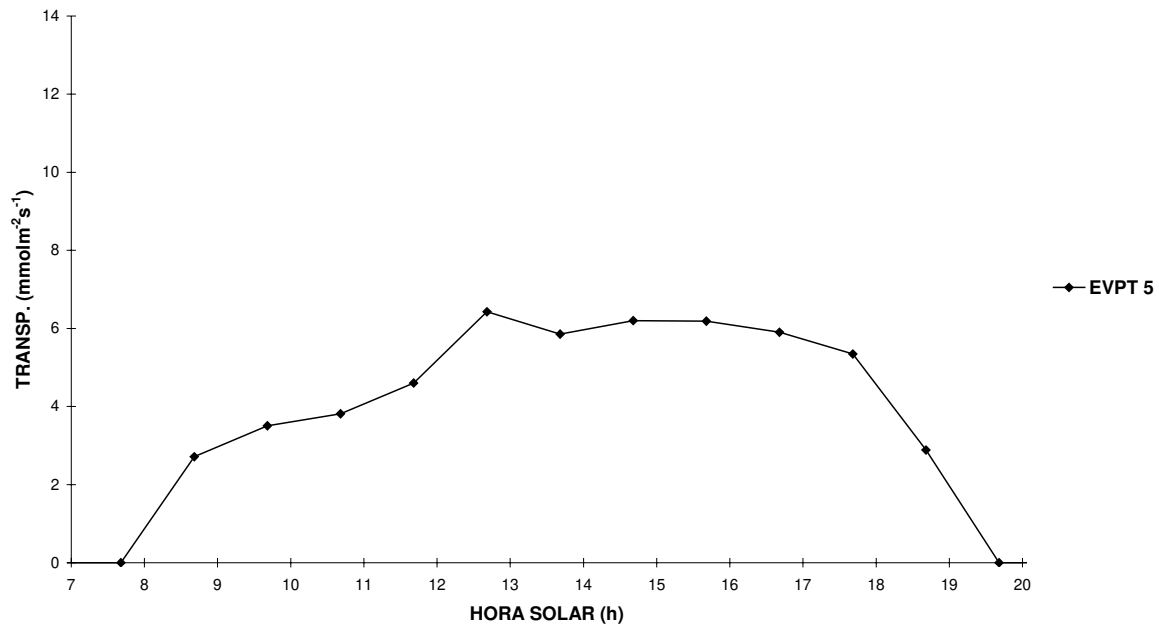


Figura A24 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

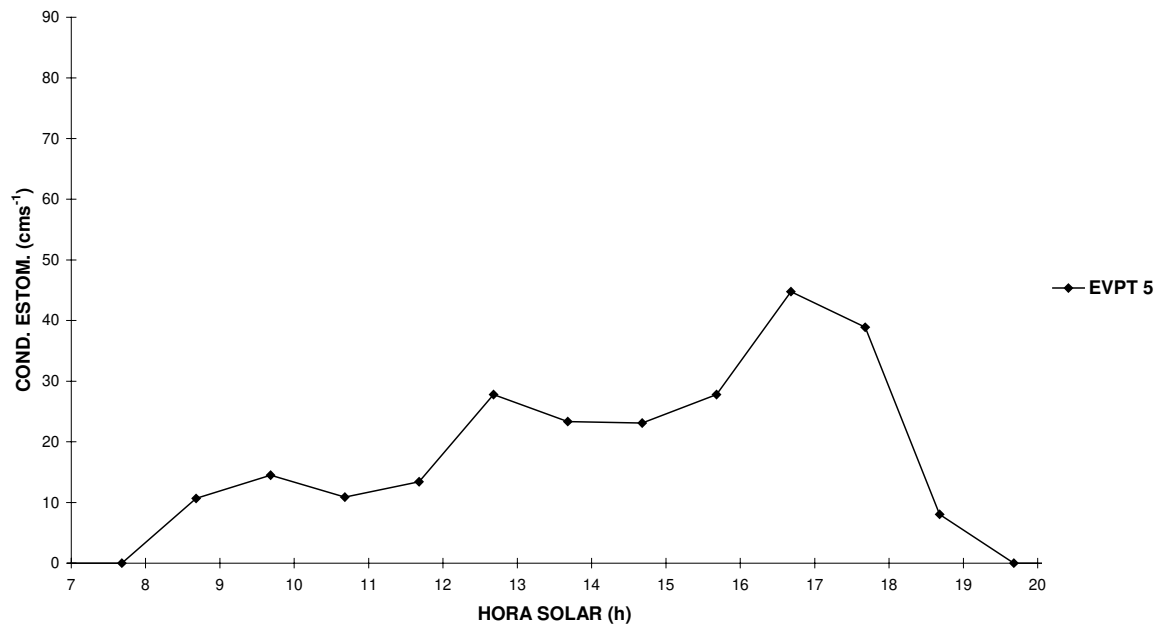


Figura A25 - RFA PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

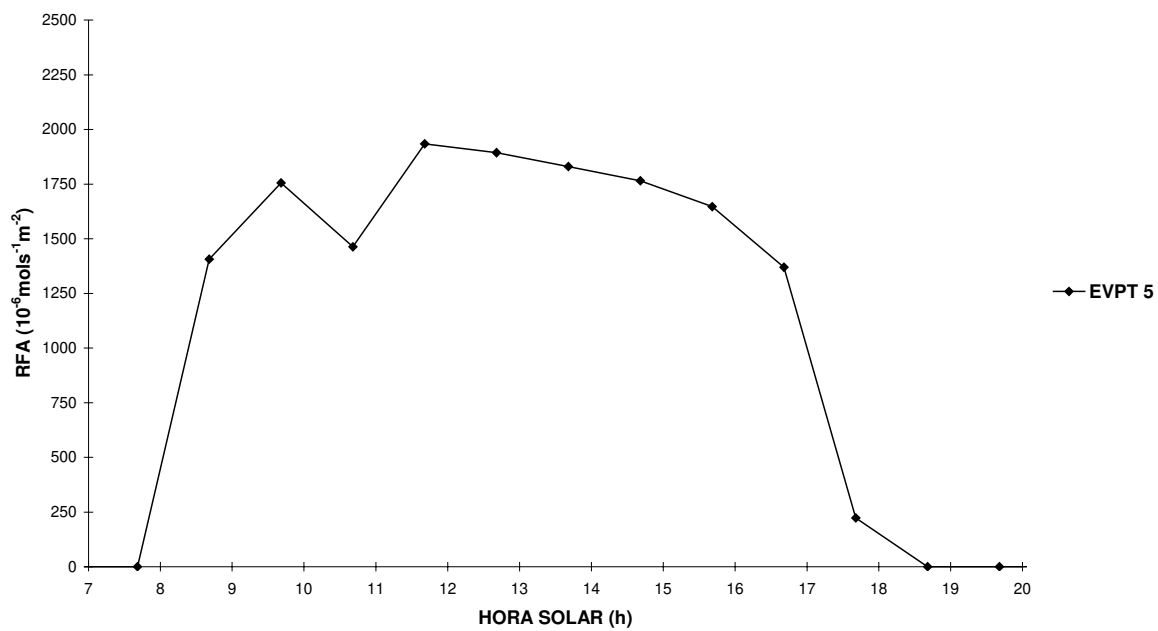


Figura A 26 - DPVS PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

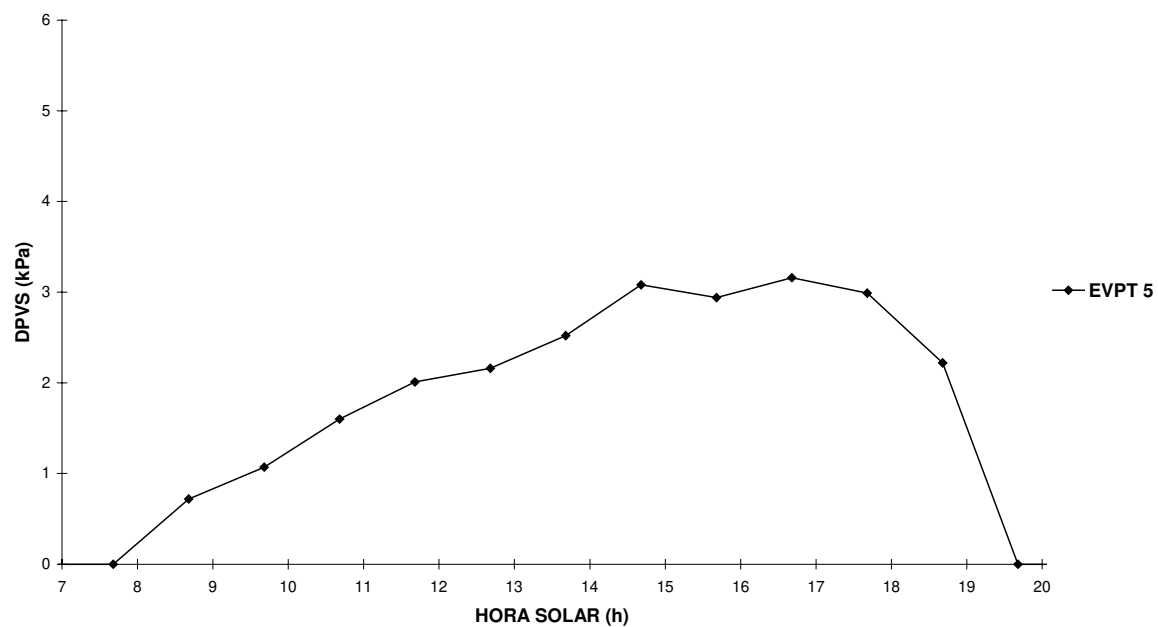


Figura A27 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

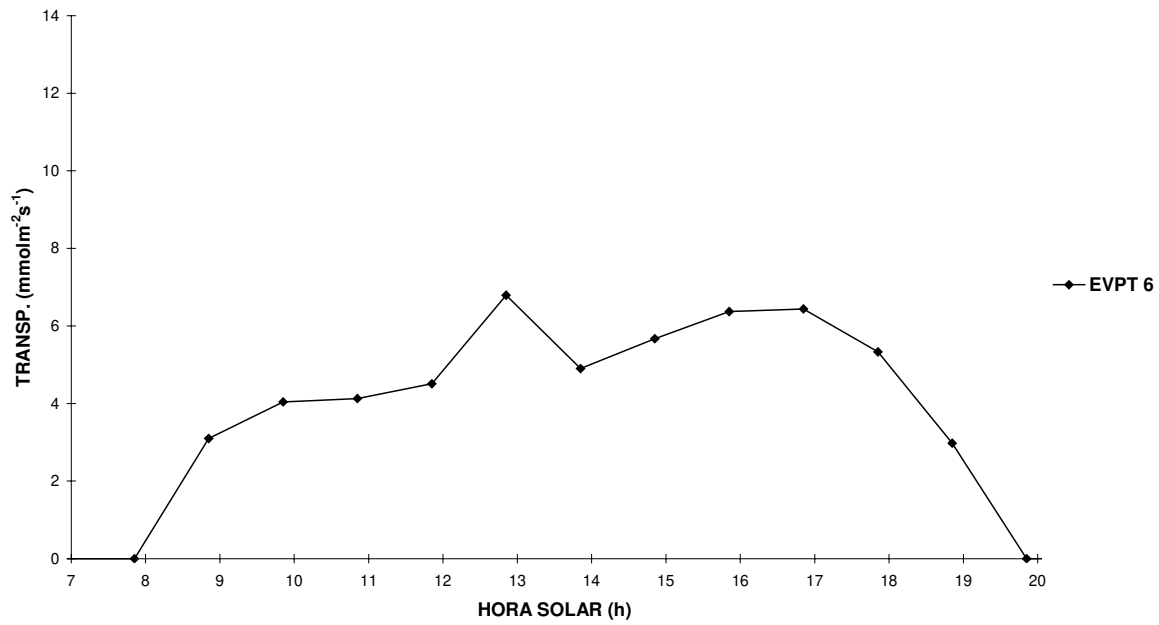


Figura A28 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

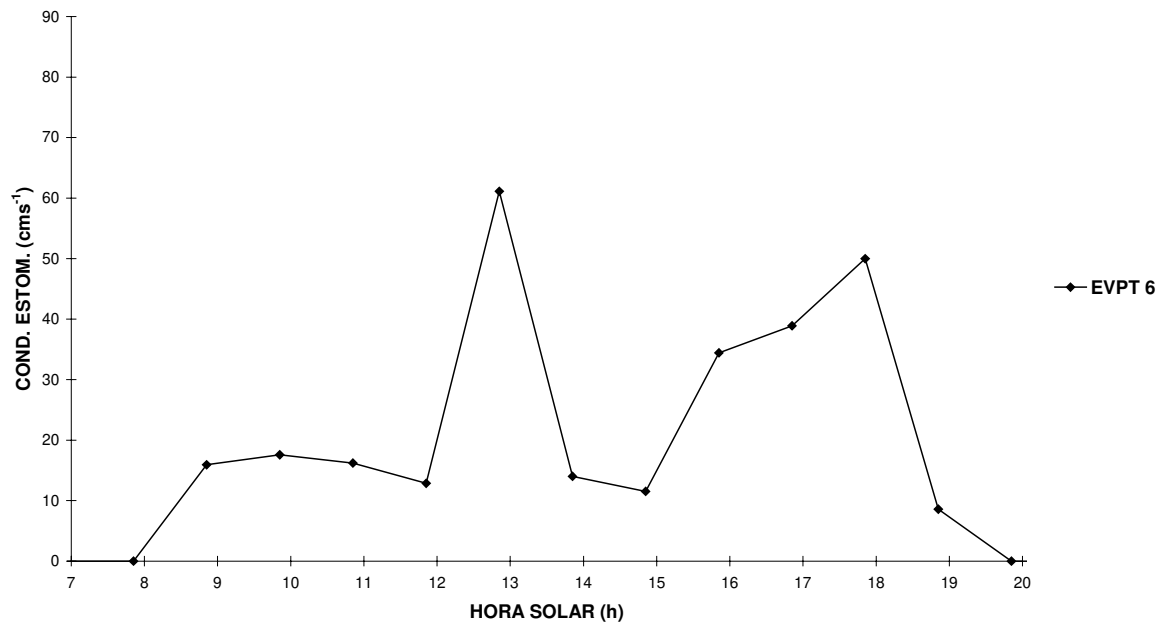


Figura A29 - RFA PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

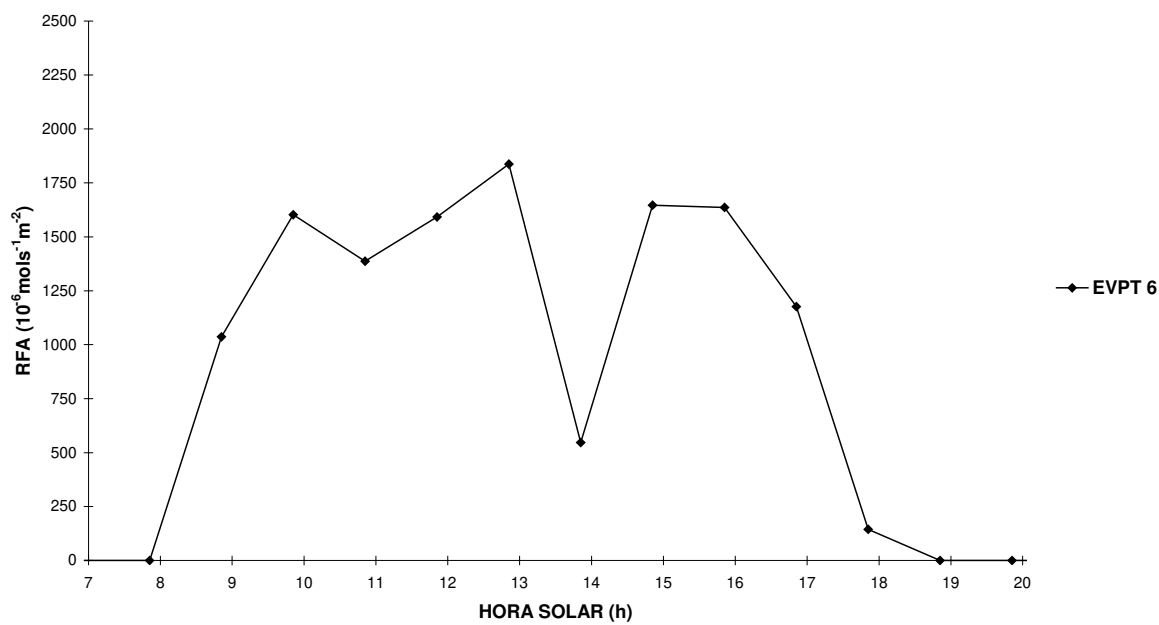


Figura A30 - DPVS PARA O DIA 12/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

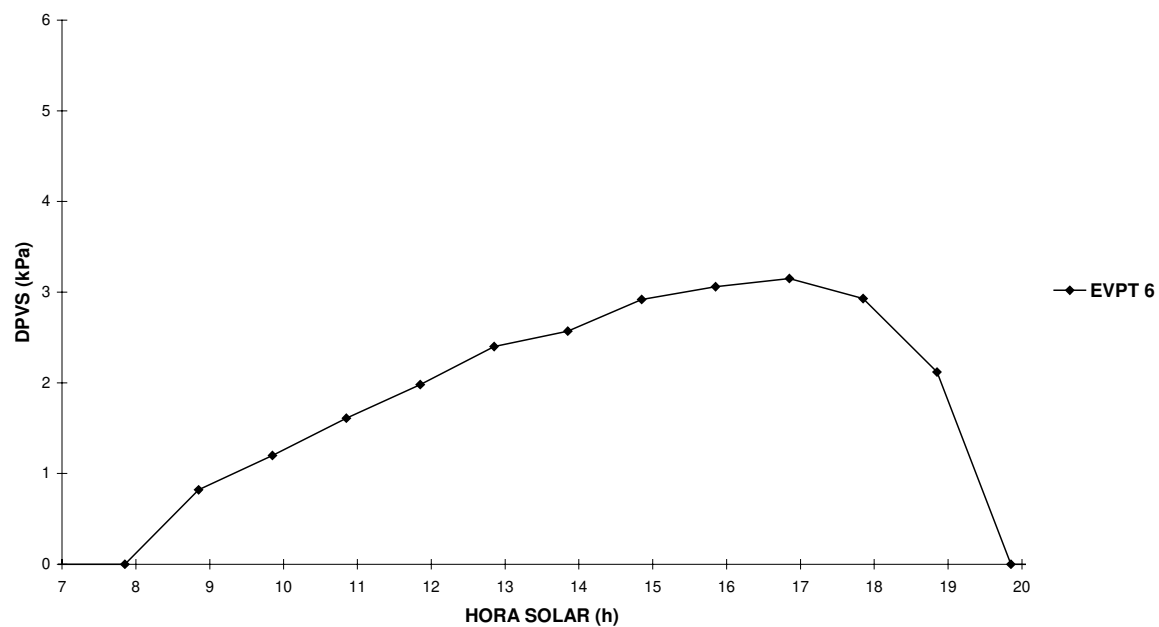


Figura A31 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

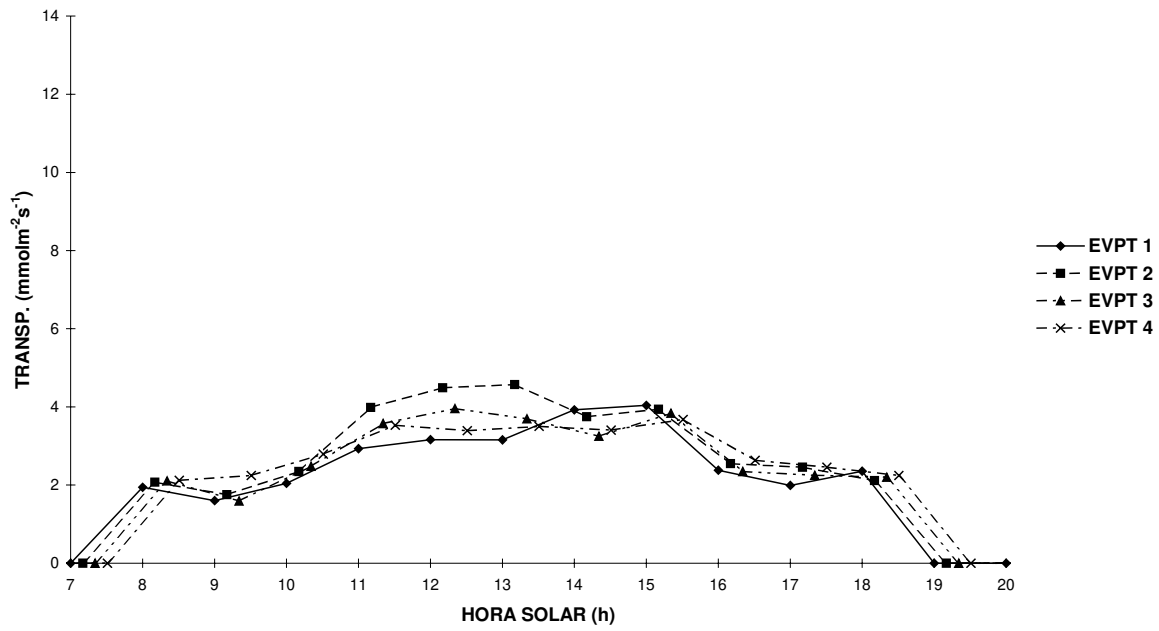


Figura A32 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

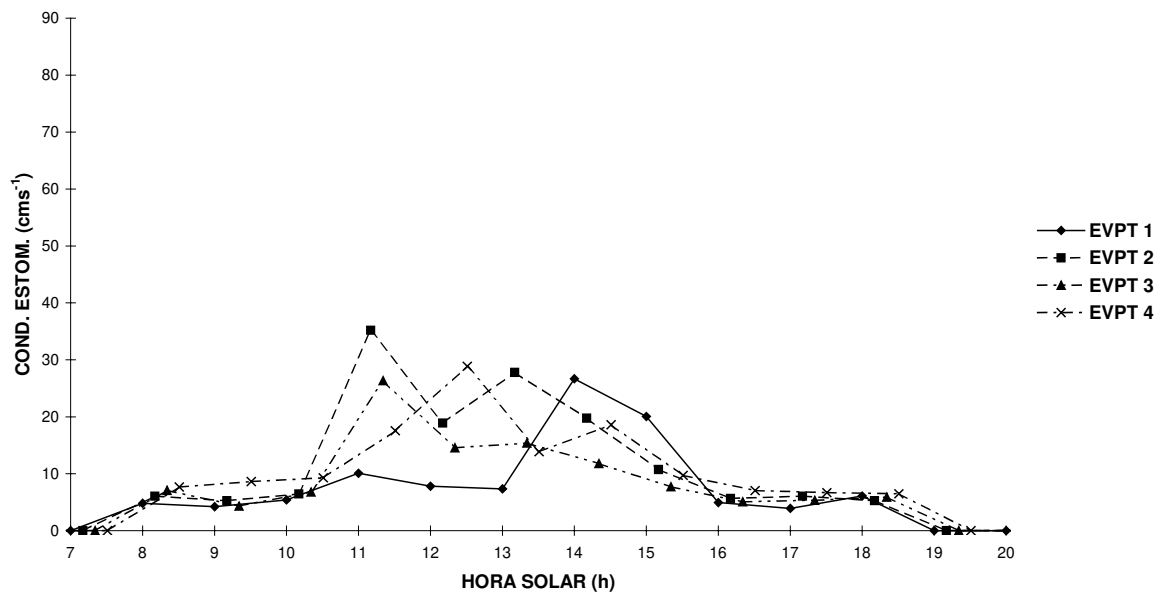


Figura A33 - RFA PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

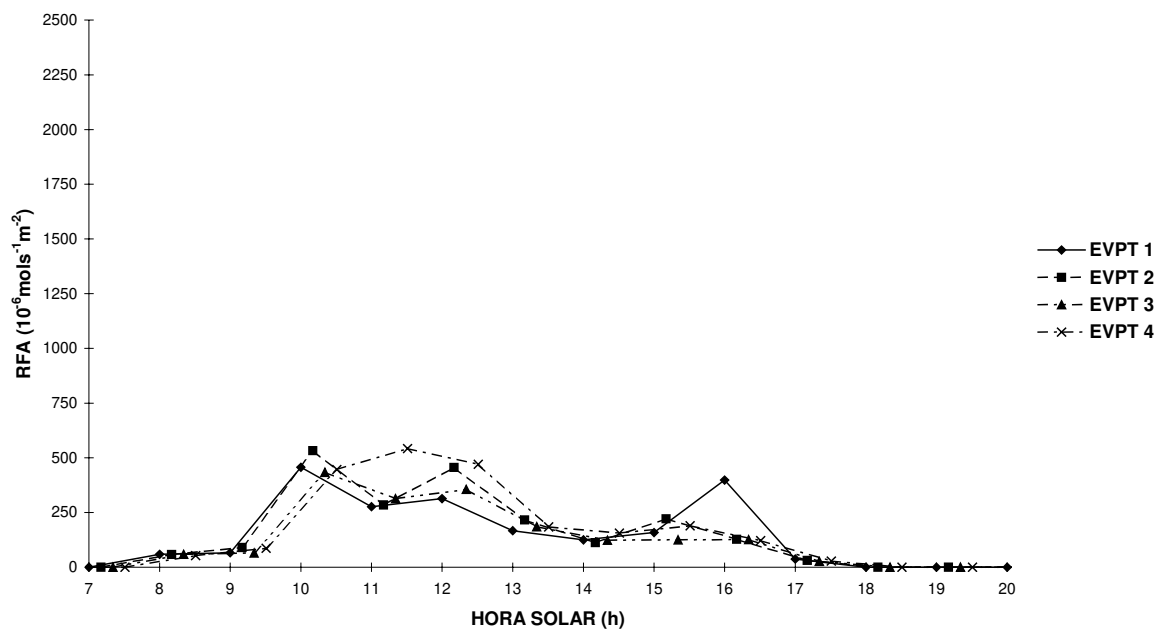


Figura A34 - DPVS PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

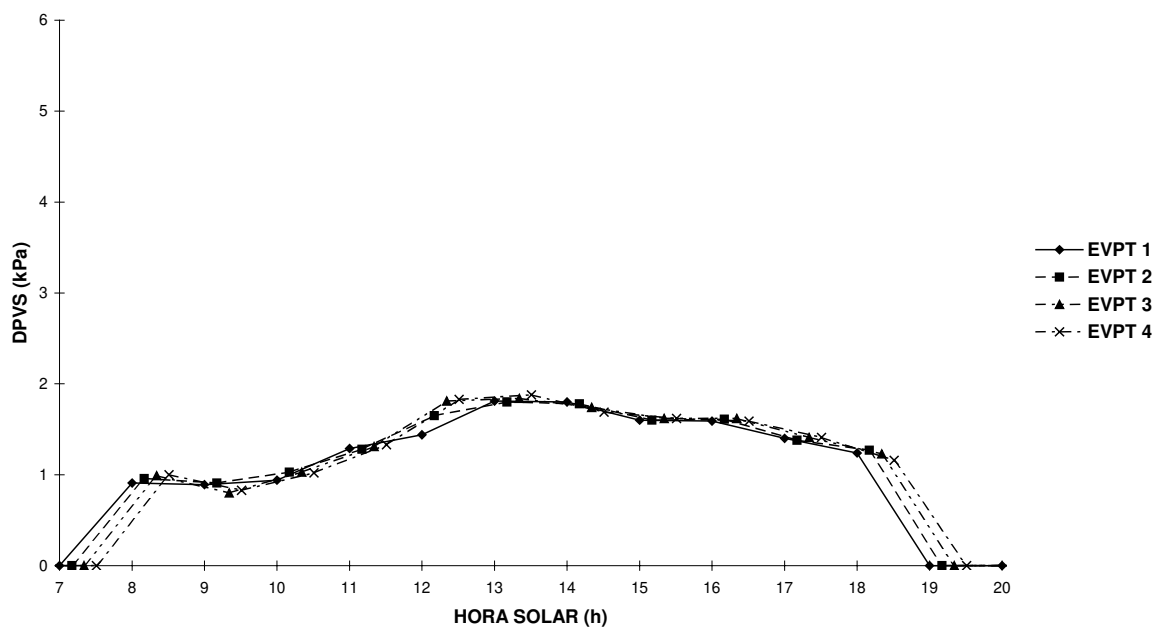


Figura A35 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

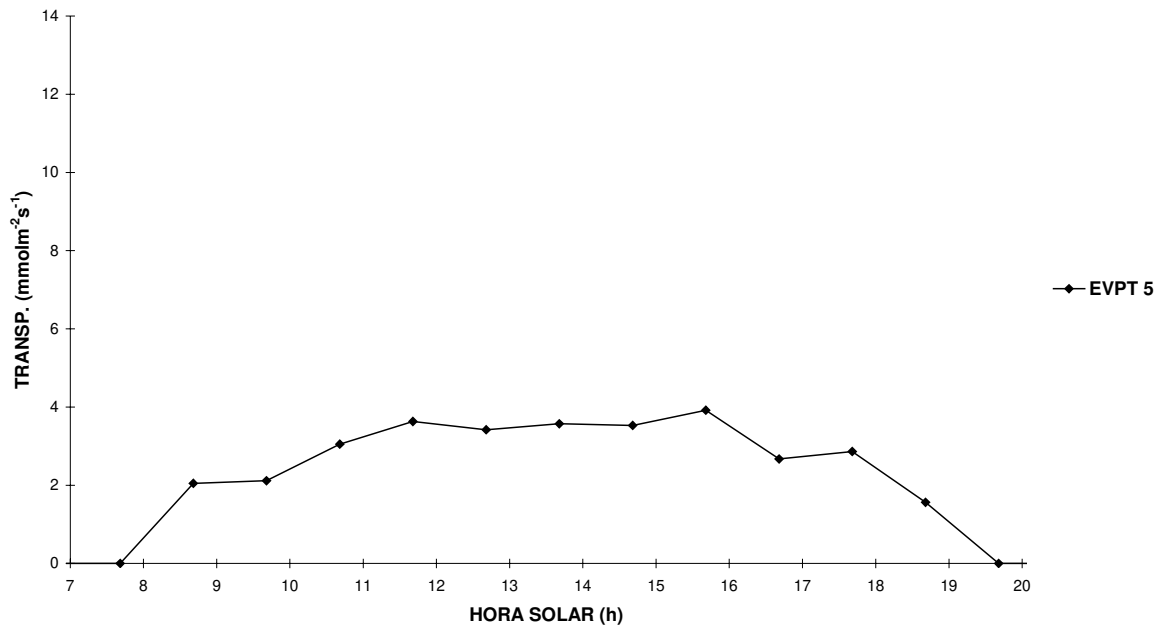


Figura A36 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

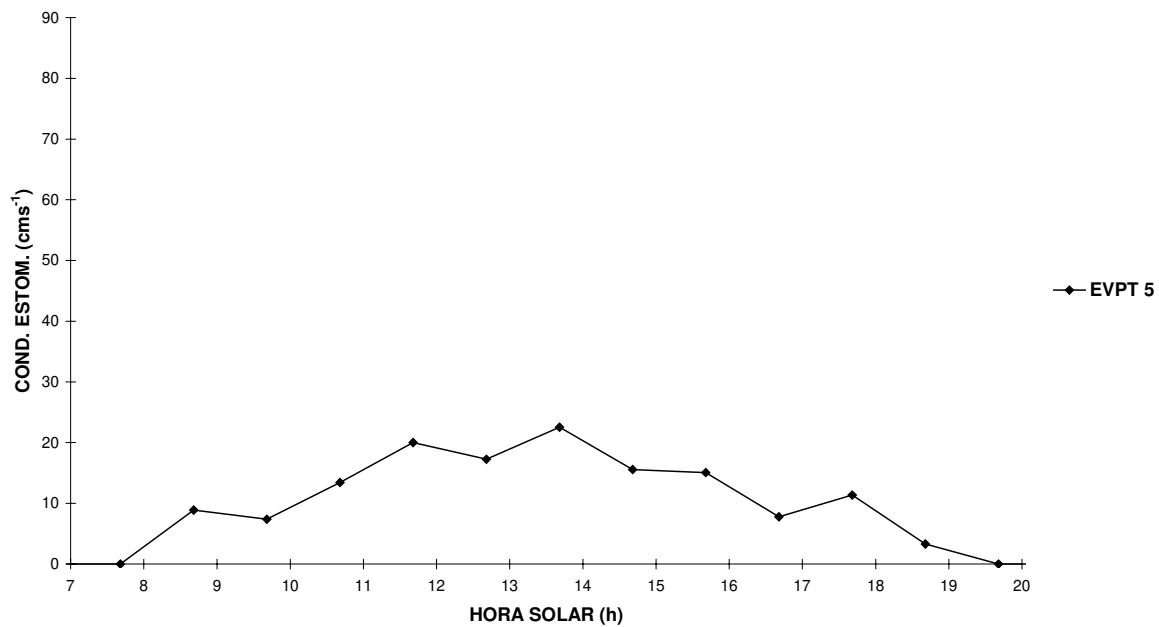


Figura A37 - RFA PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

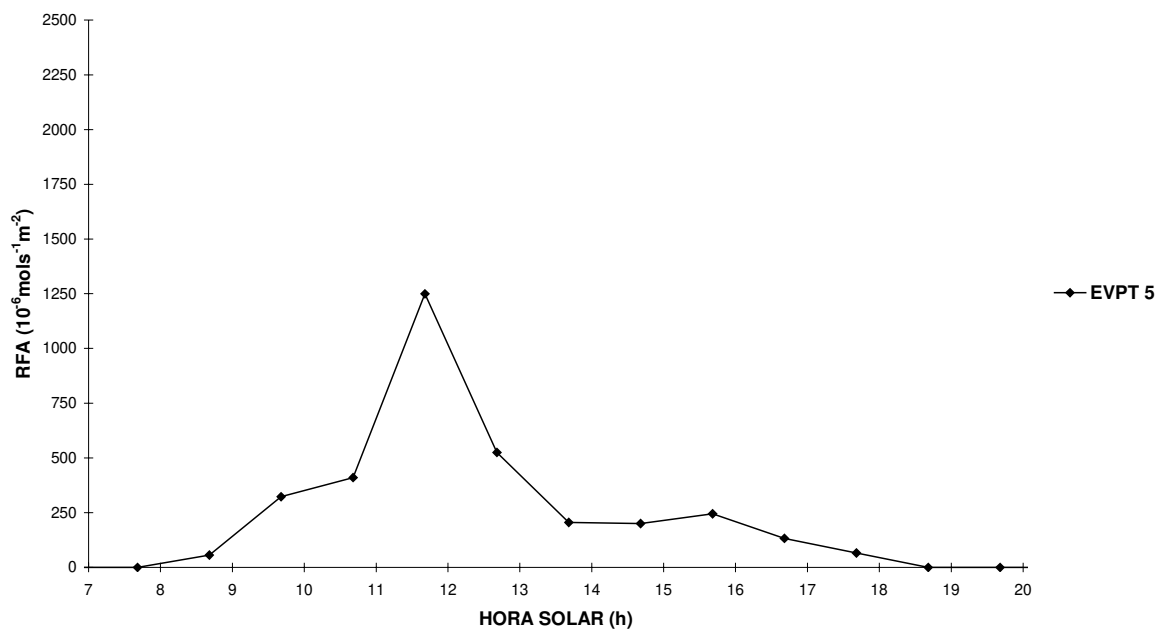


Figura A38 - DPVS PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

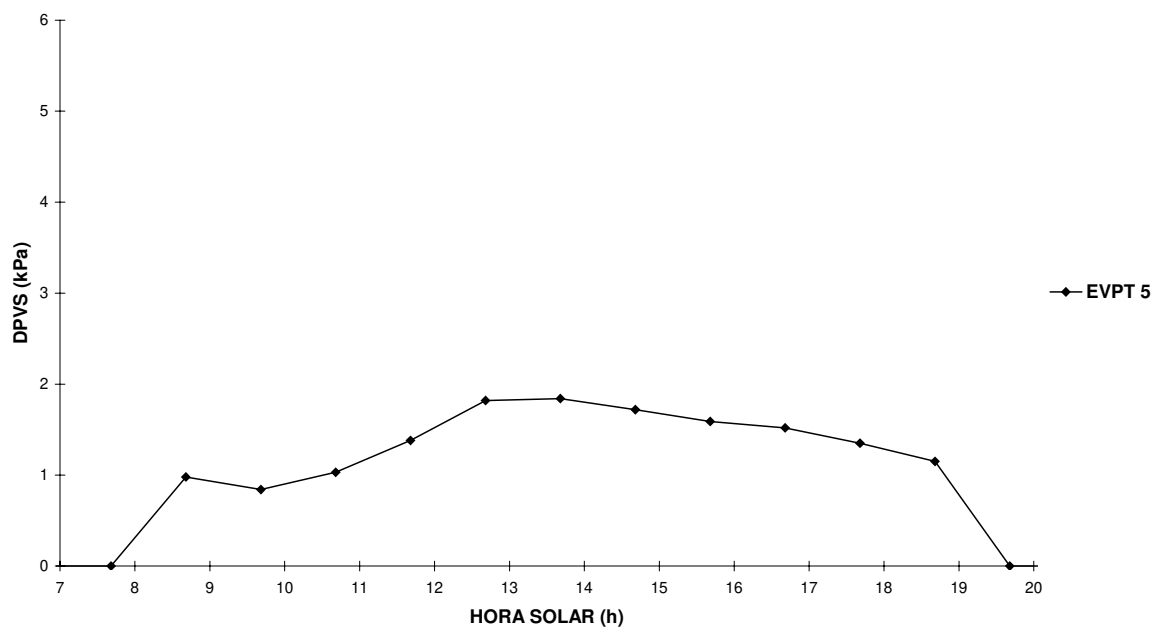


Figura A39 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

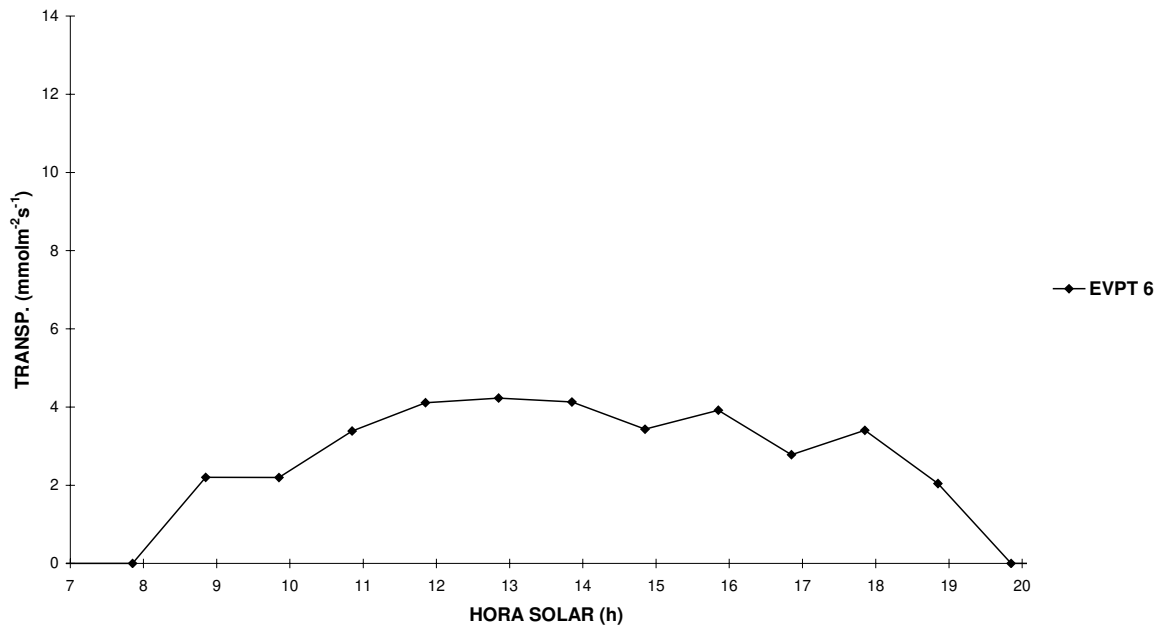


Figura A40 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

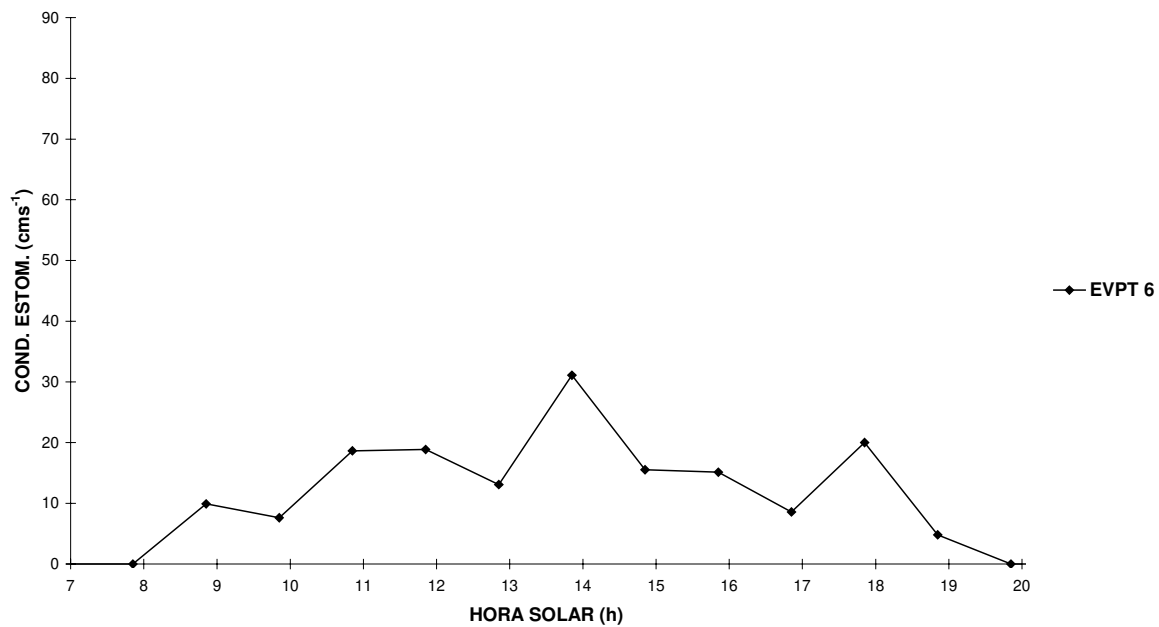


Figura A41 - RFA PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

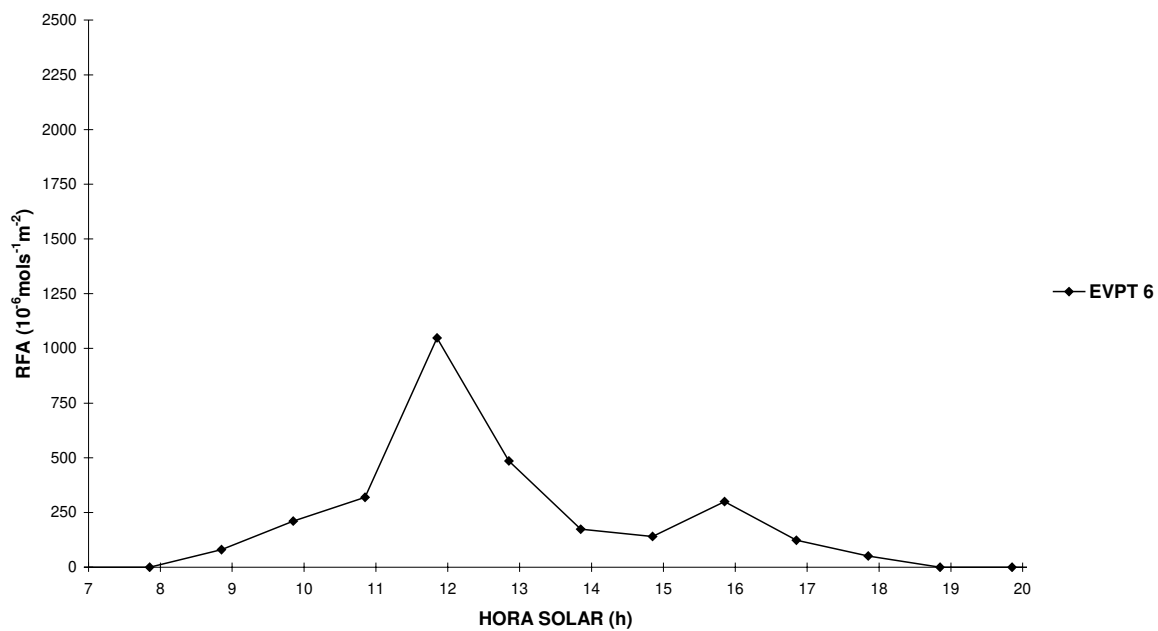


Figura A42 - DPVS PARA O DIA 13/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

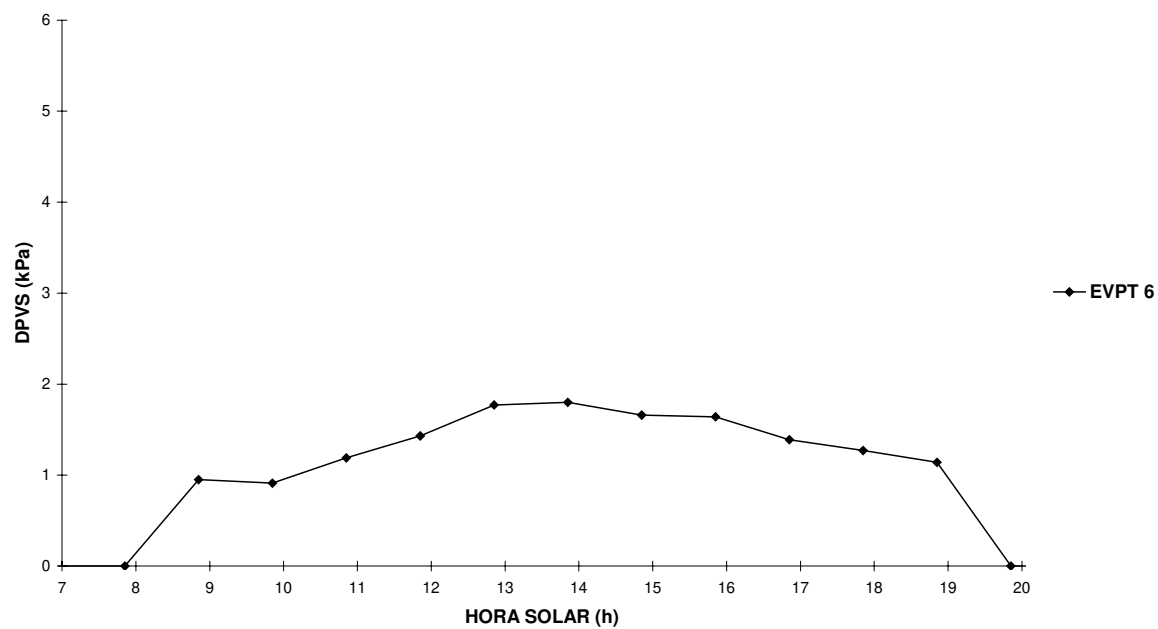


Figura A43 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

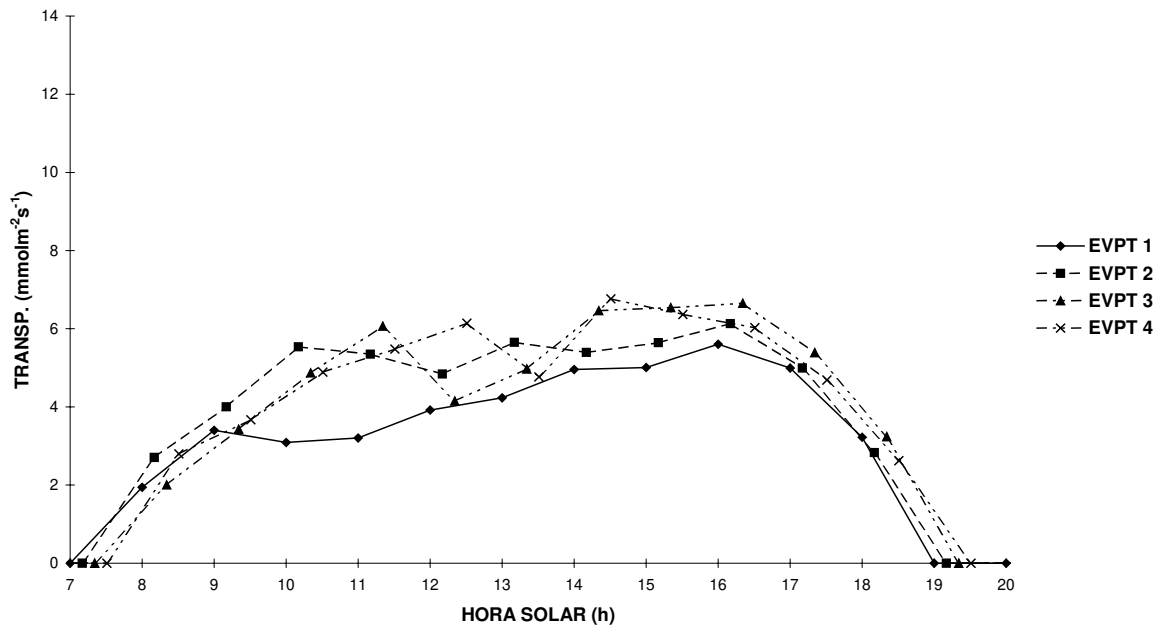


Figura A44 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

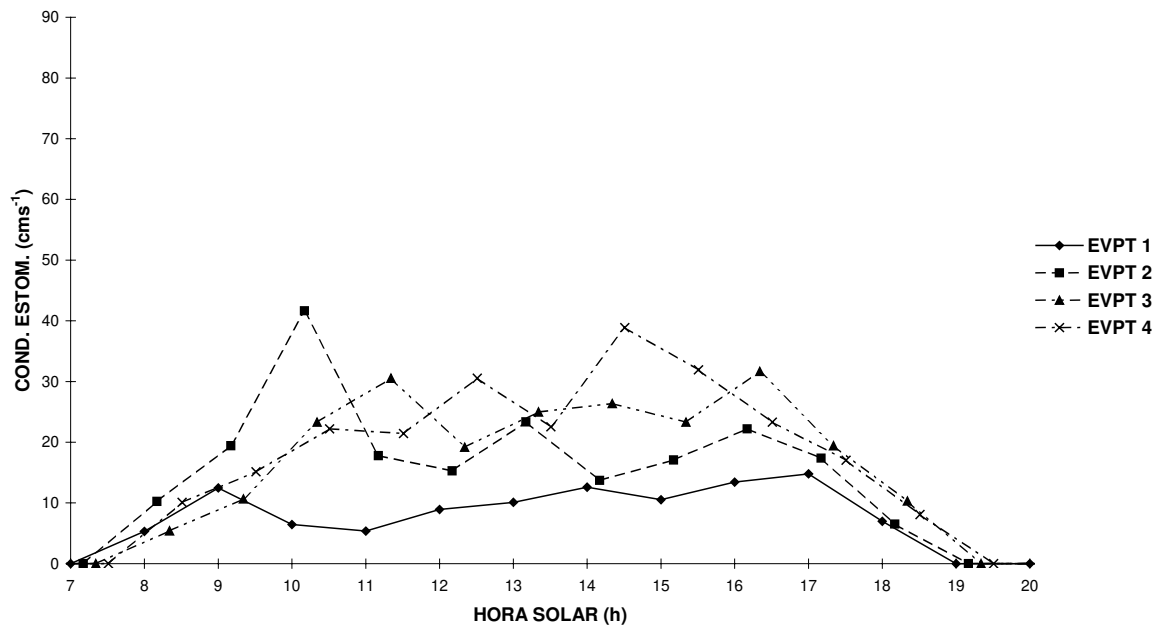


Figura A45 - RFA PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

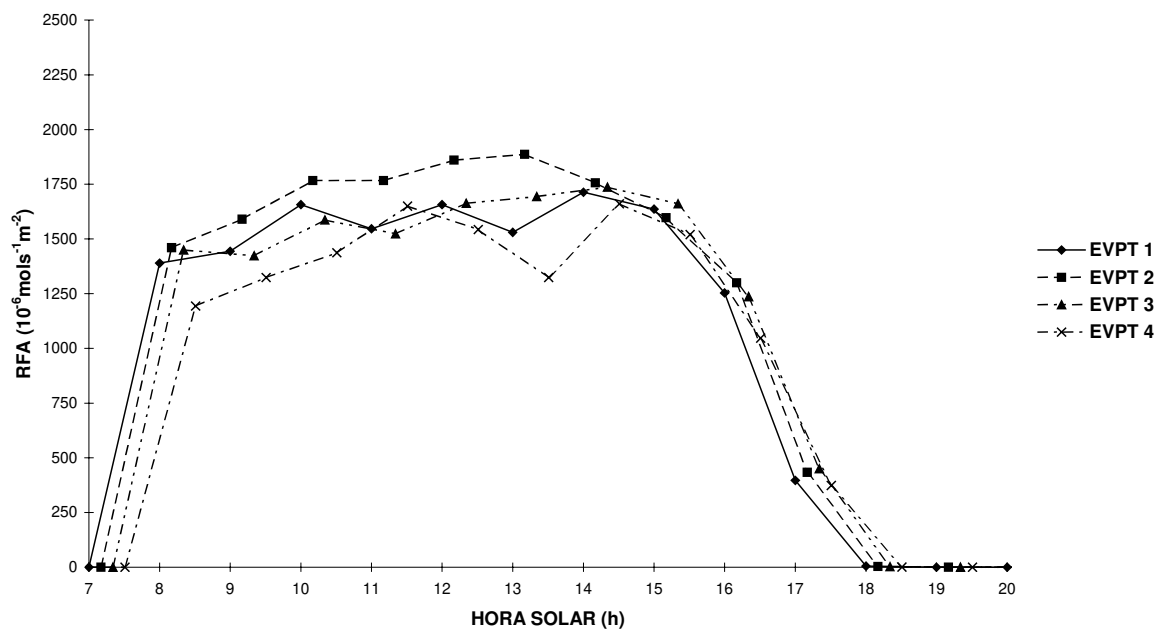


Figura A46 - DPVS PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

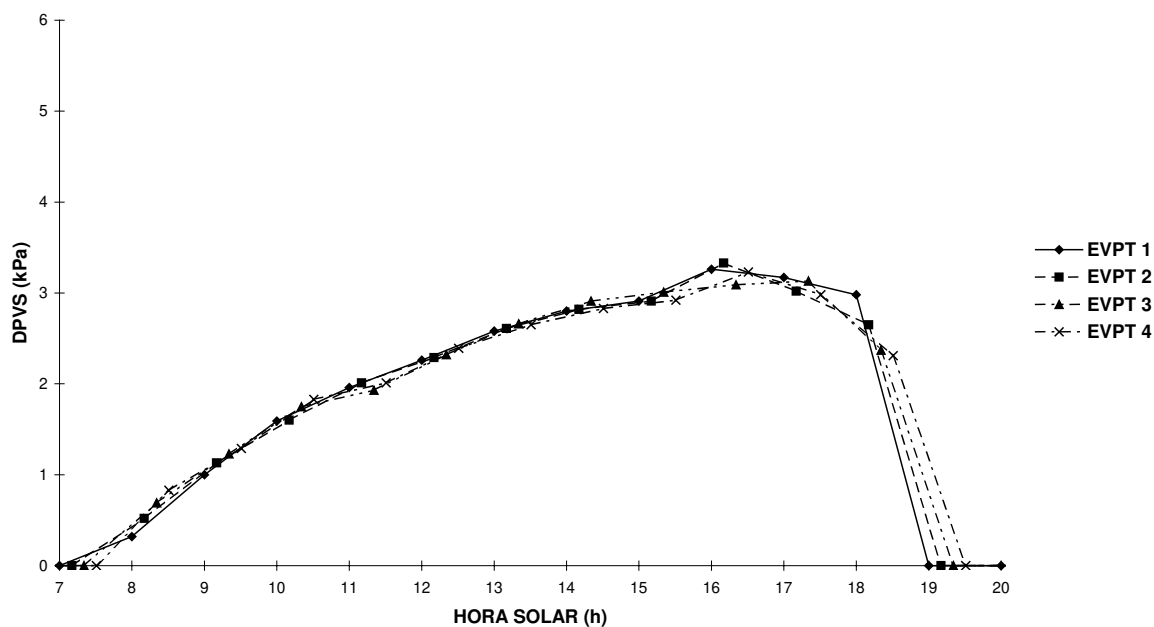


Figura A47 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

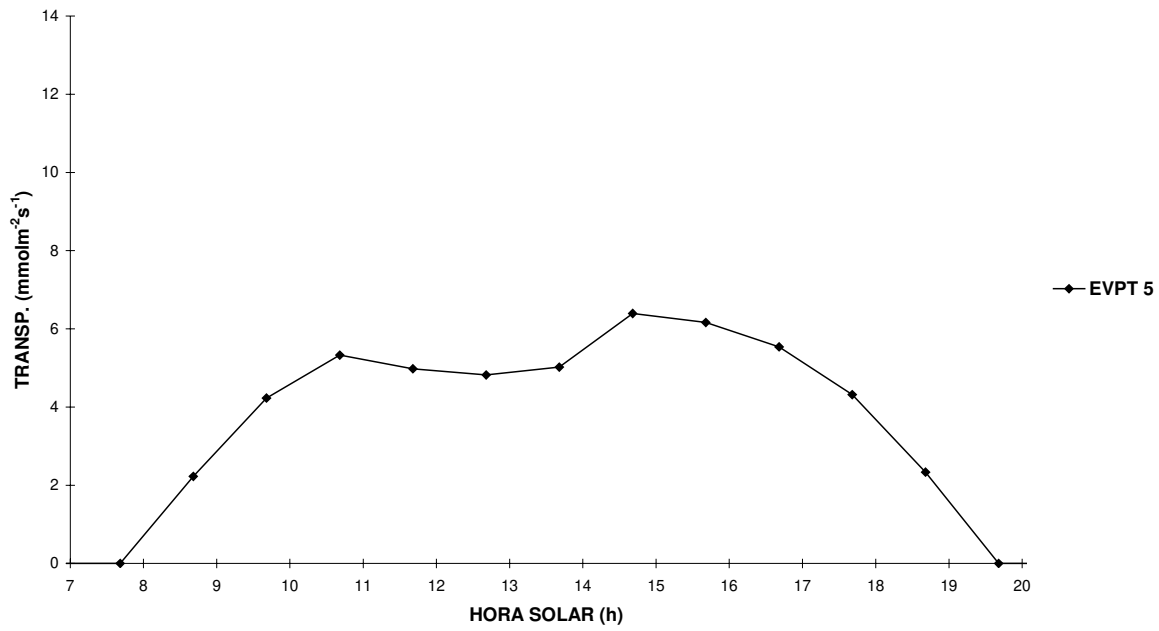


Figura A48 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

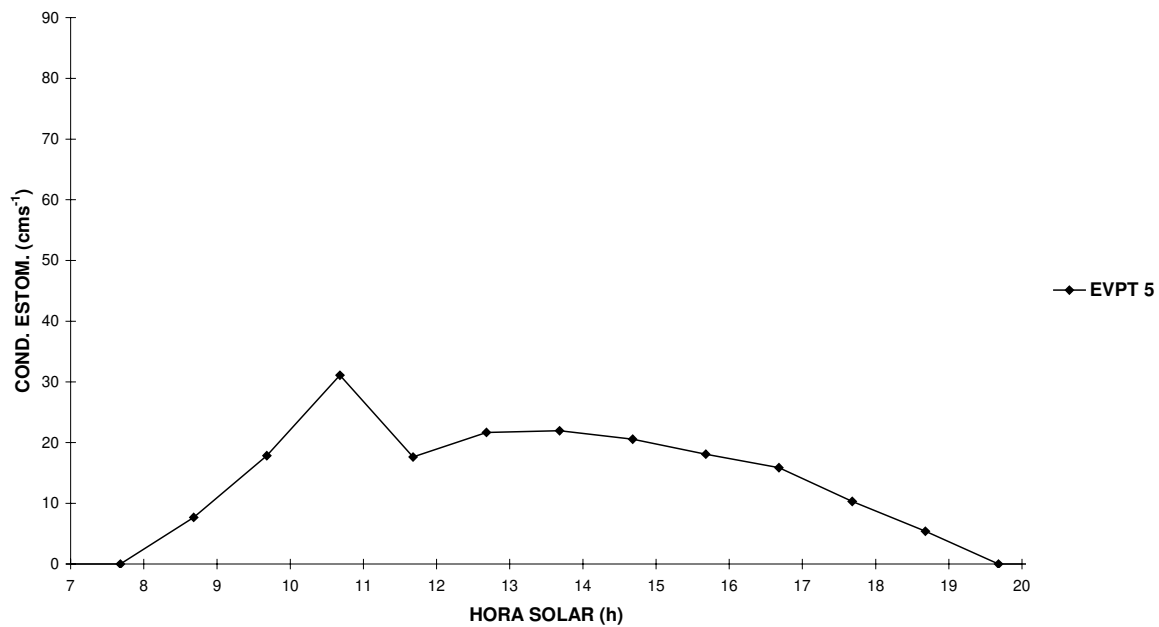


Figura A49 - RFA PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

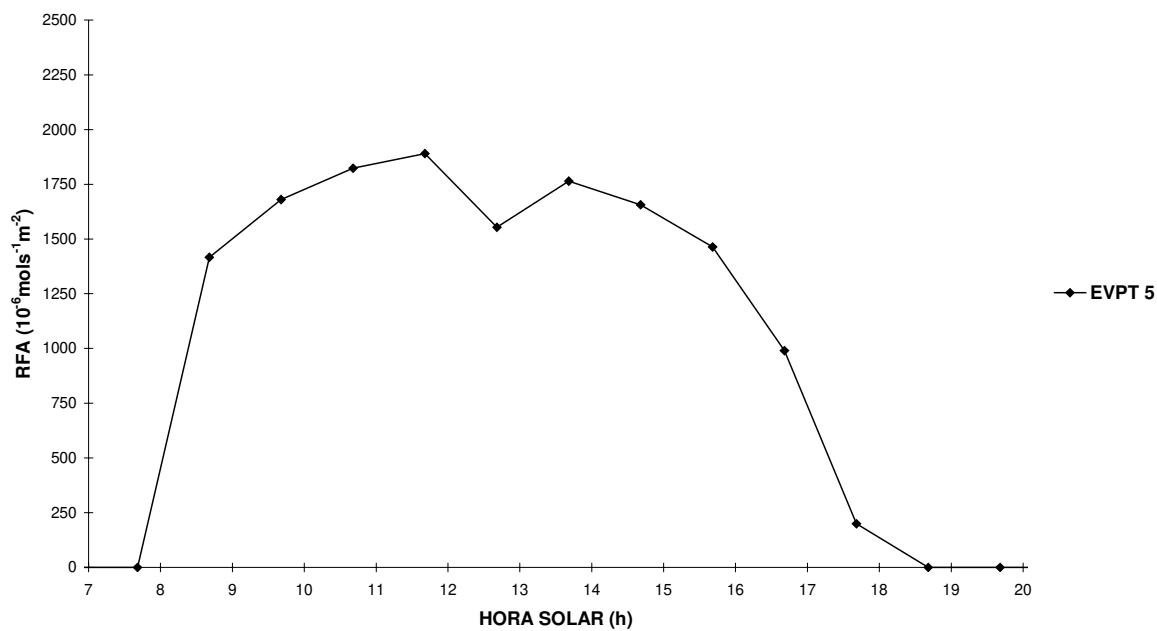


Figura A50 - DPVS PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

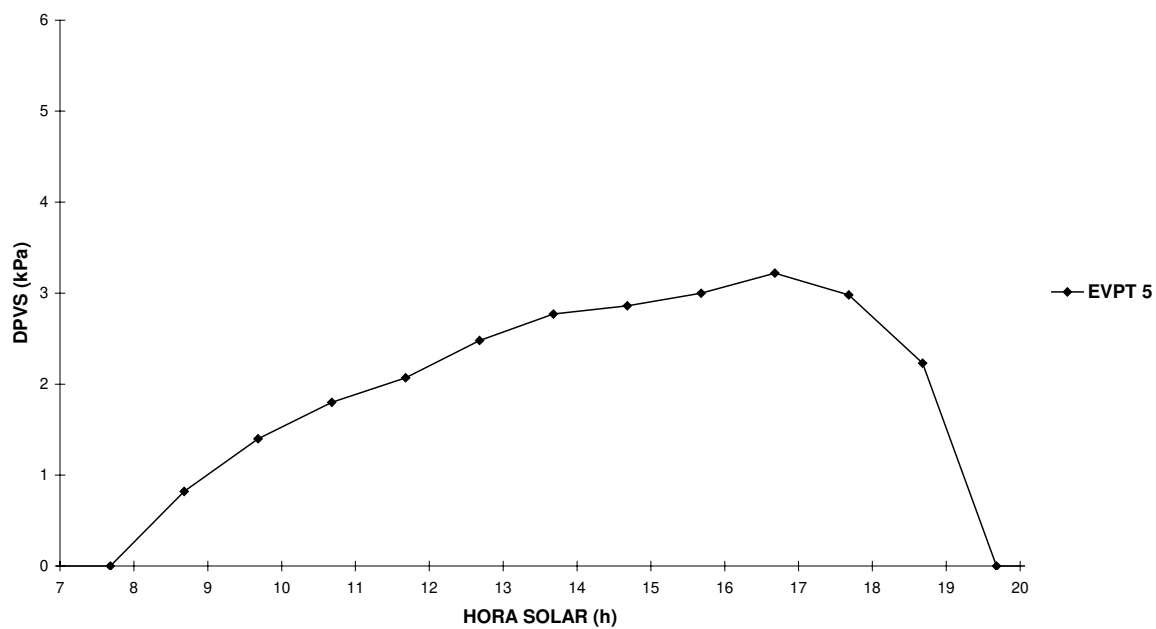


Figura A51 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE 791011

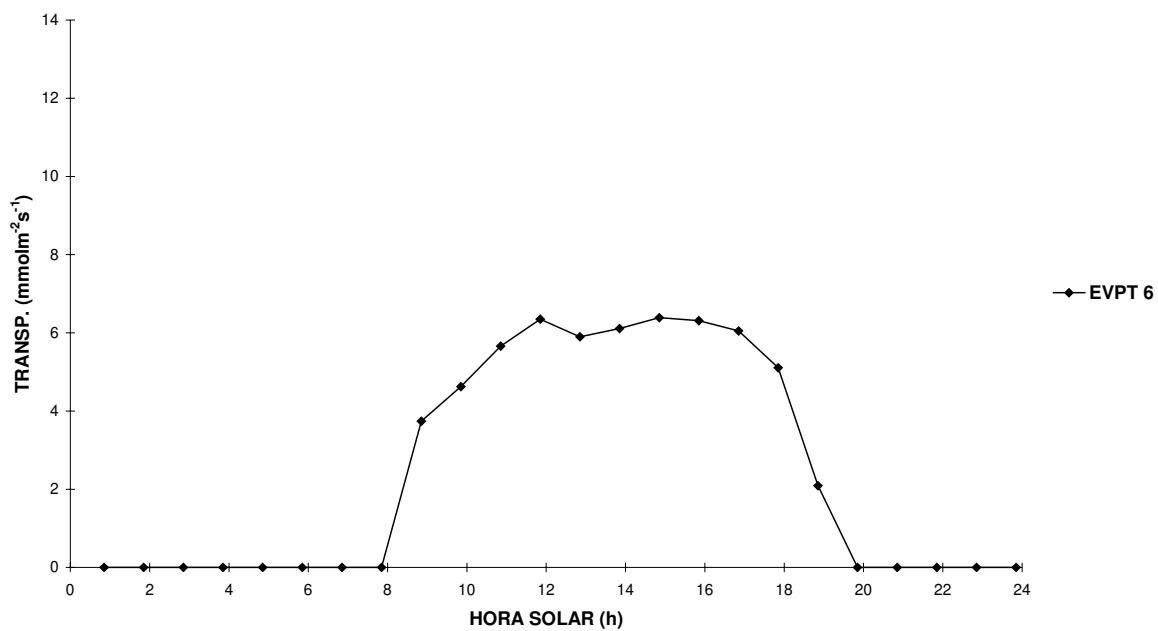


Figura A52 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

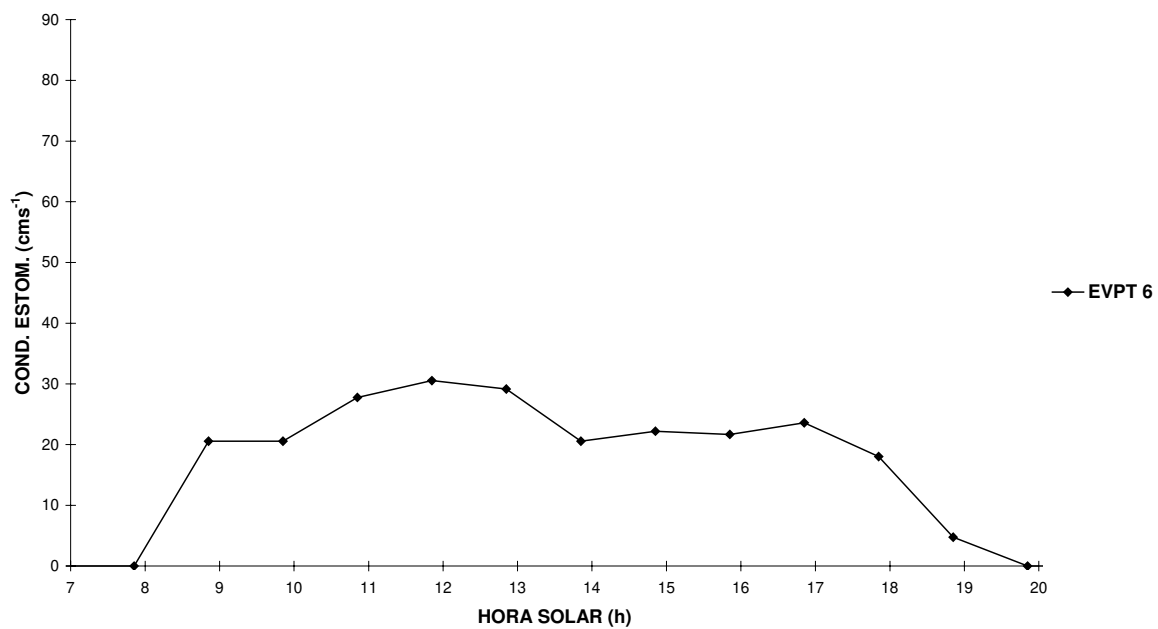


Figura A53 - RFA PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

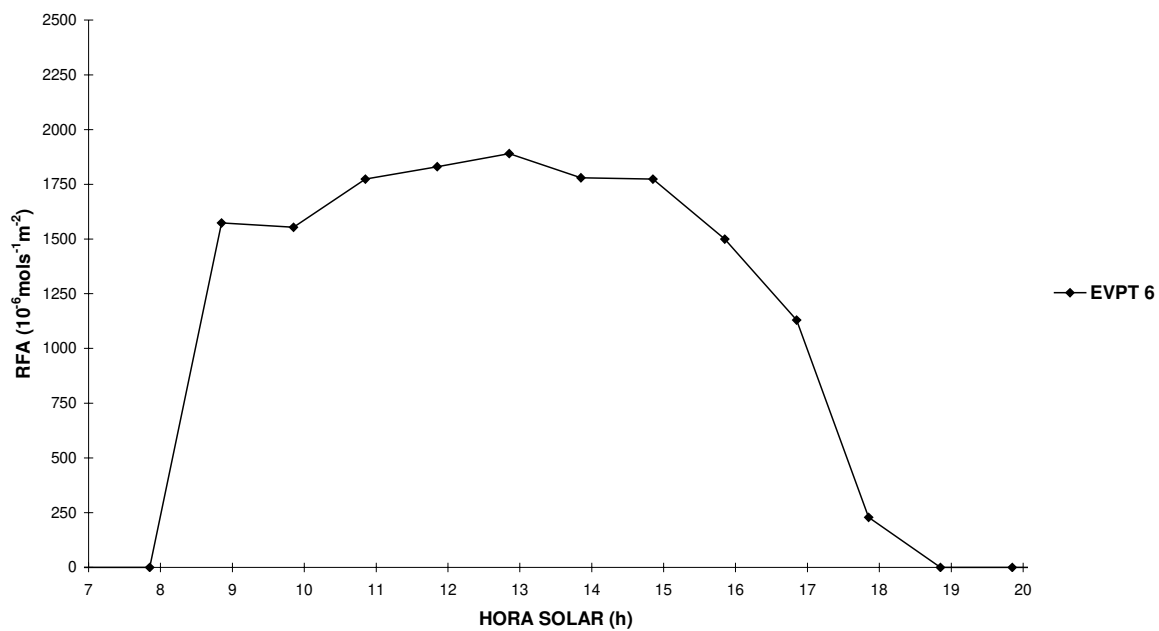


Figura A54 - DPVS PARA O DIA 17/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

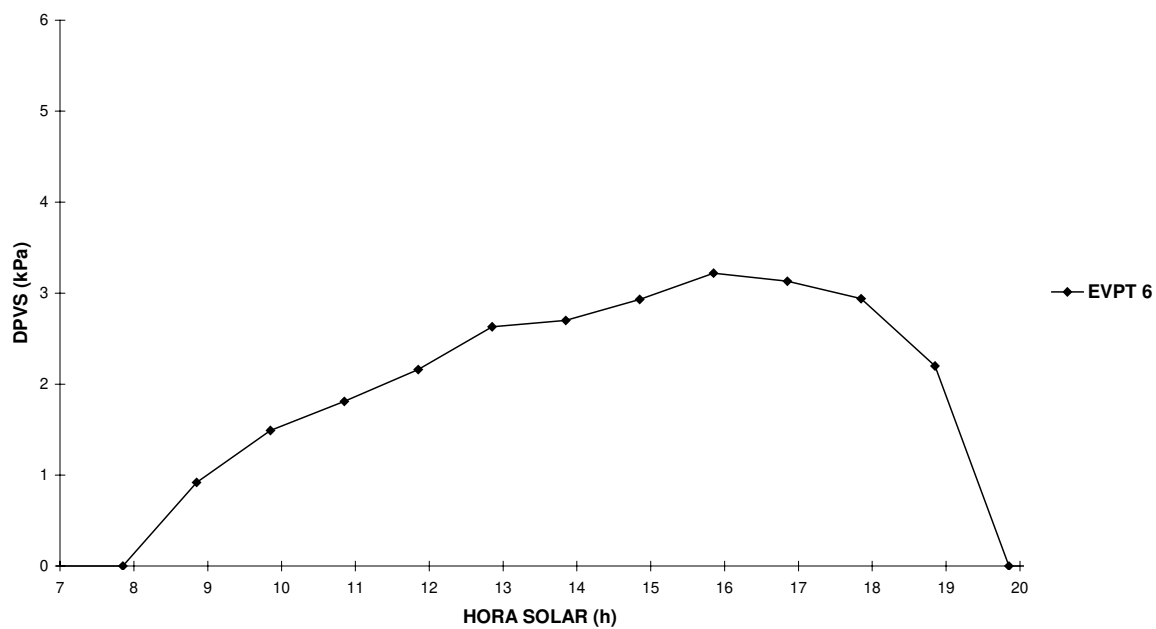


Figura A55 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

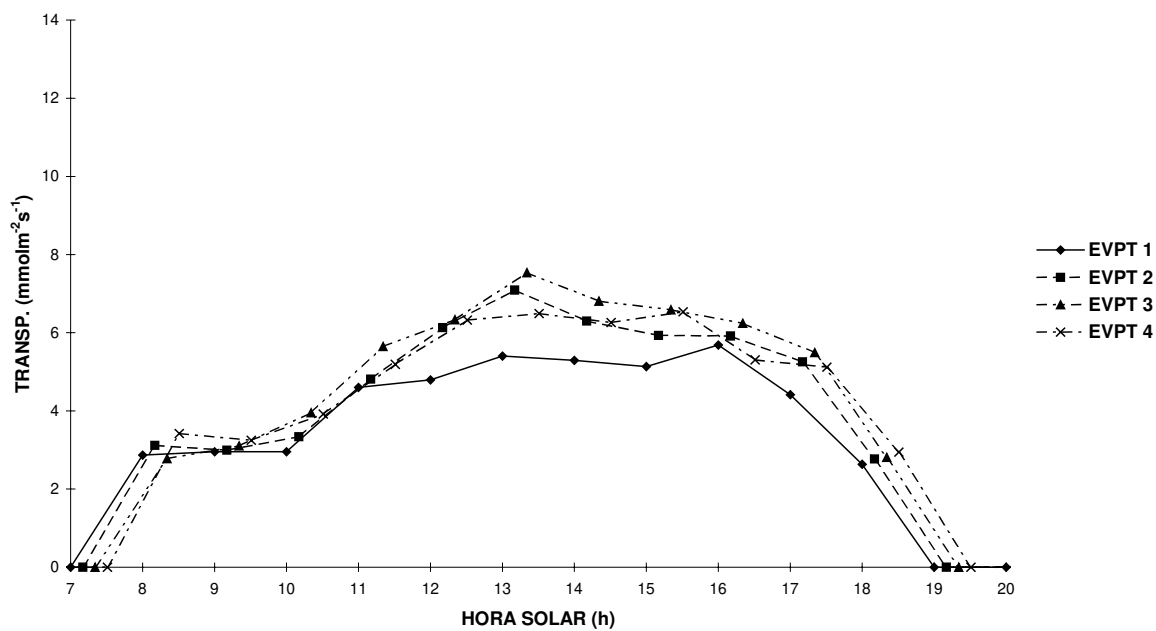


Figura A56 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

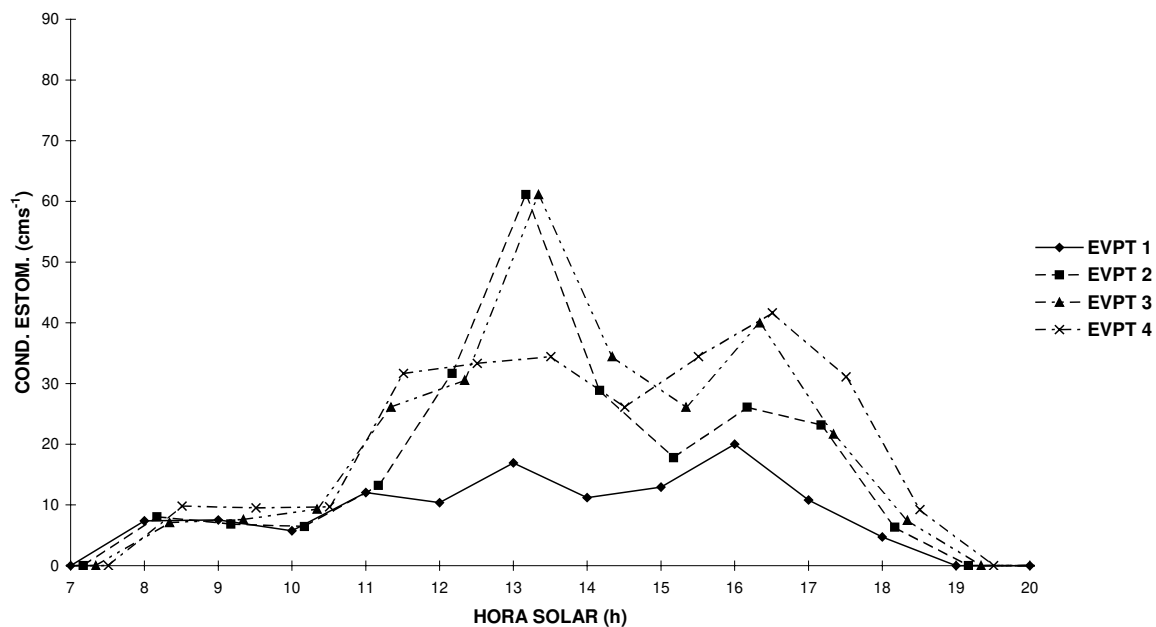


Figura A57 - RFA PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

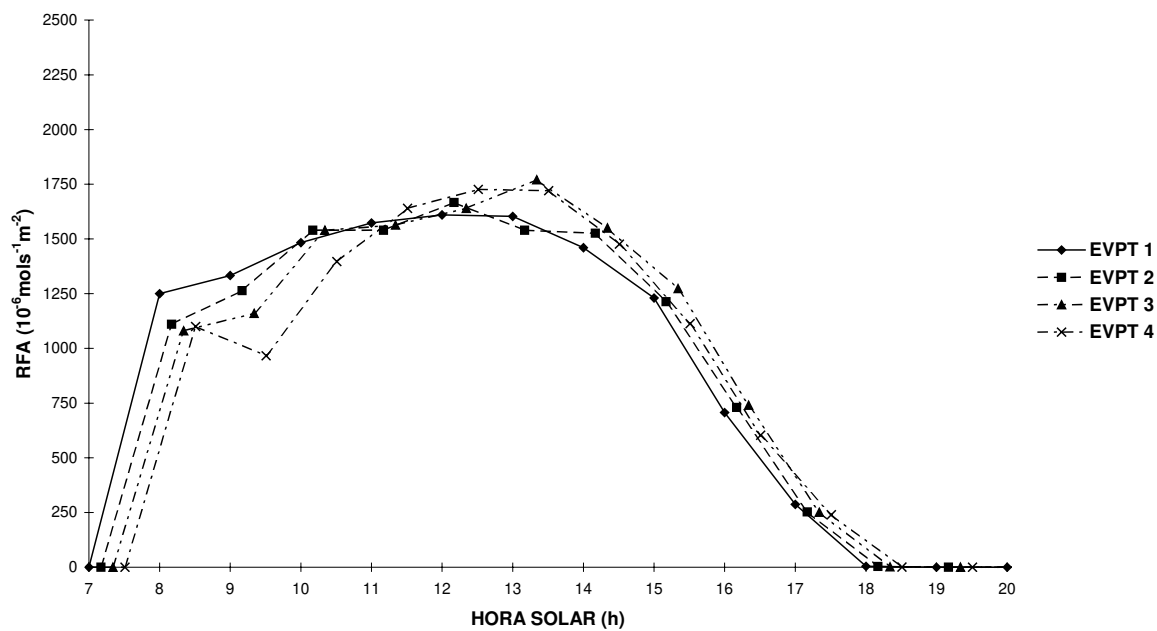


Figura A58 - DPVS PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

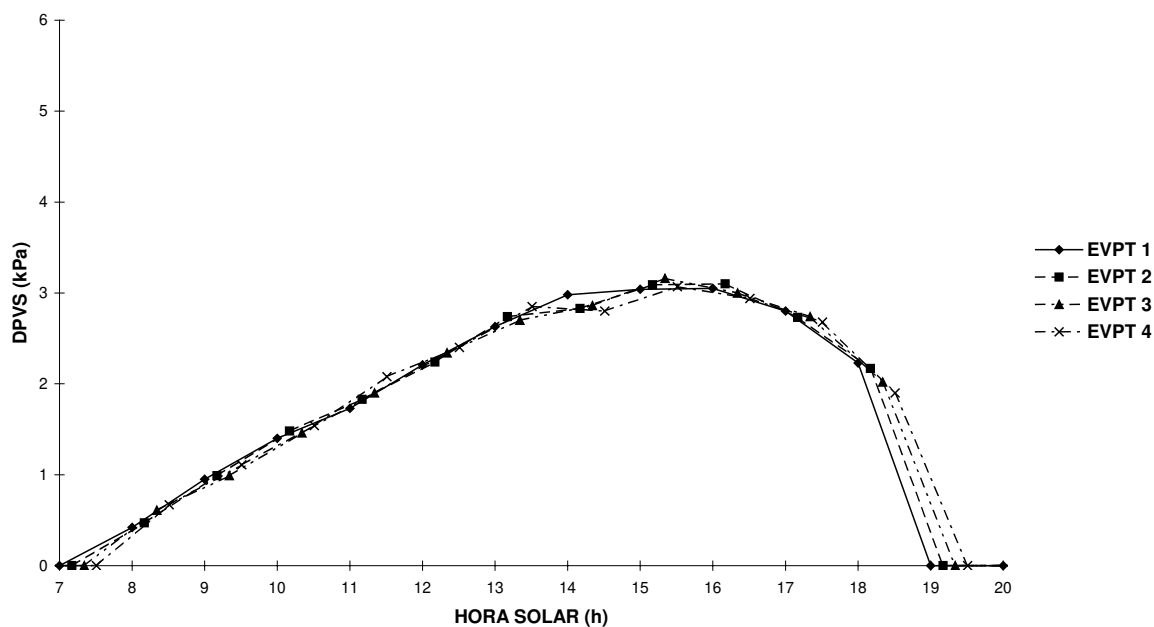


Figura A59 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

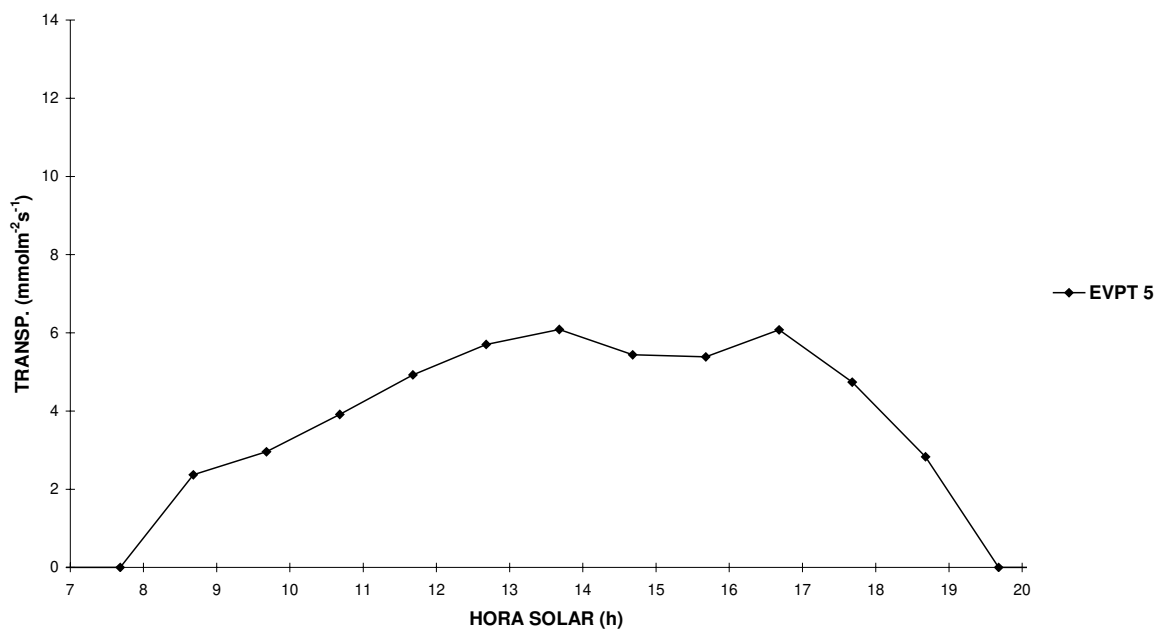


Figura A60 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

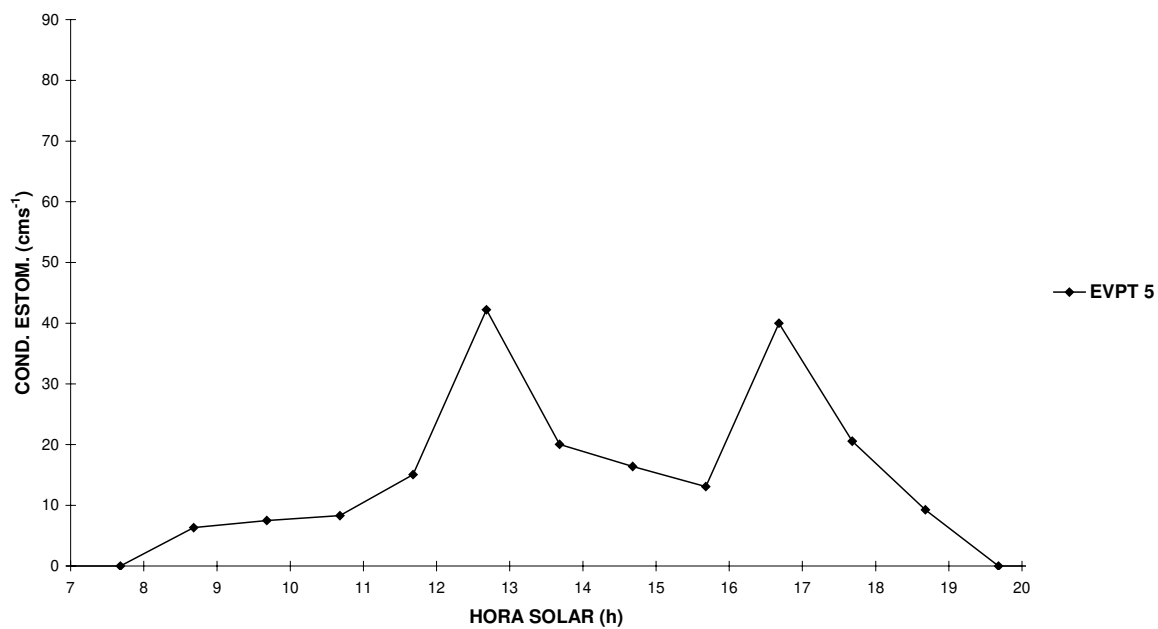


Figura A61 - RFA PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

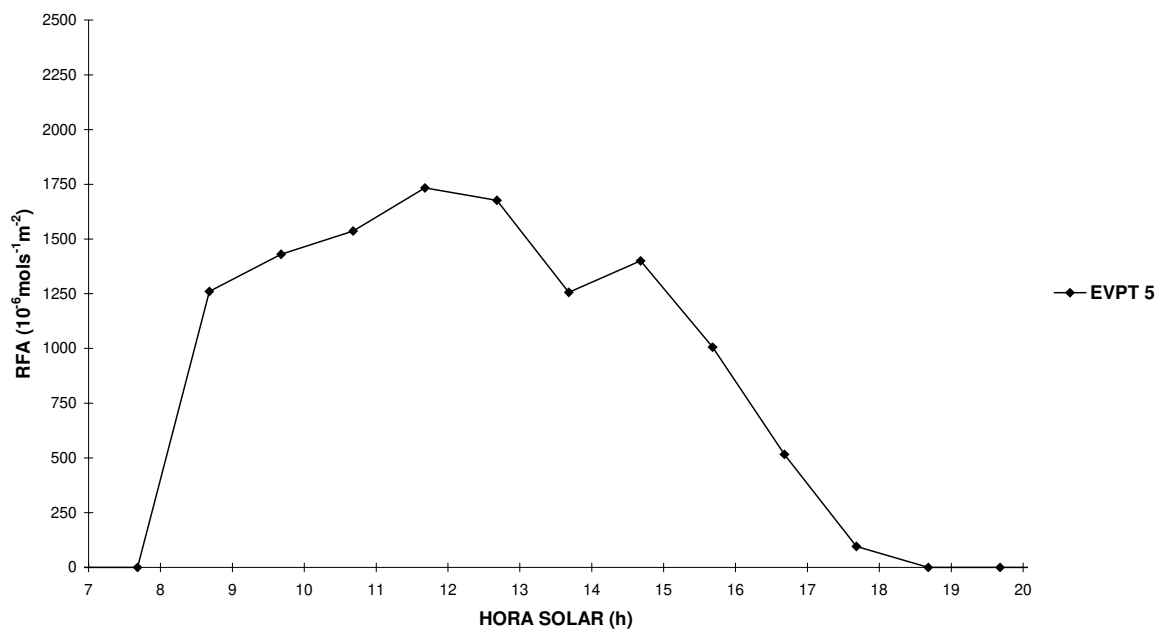


Figura A62 - DPVS PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

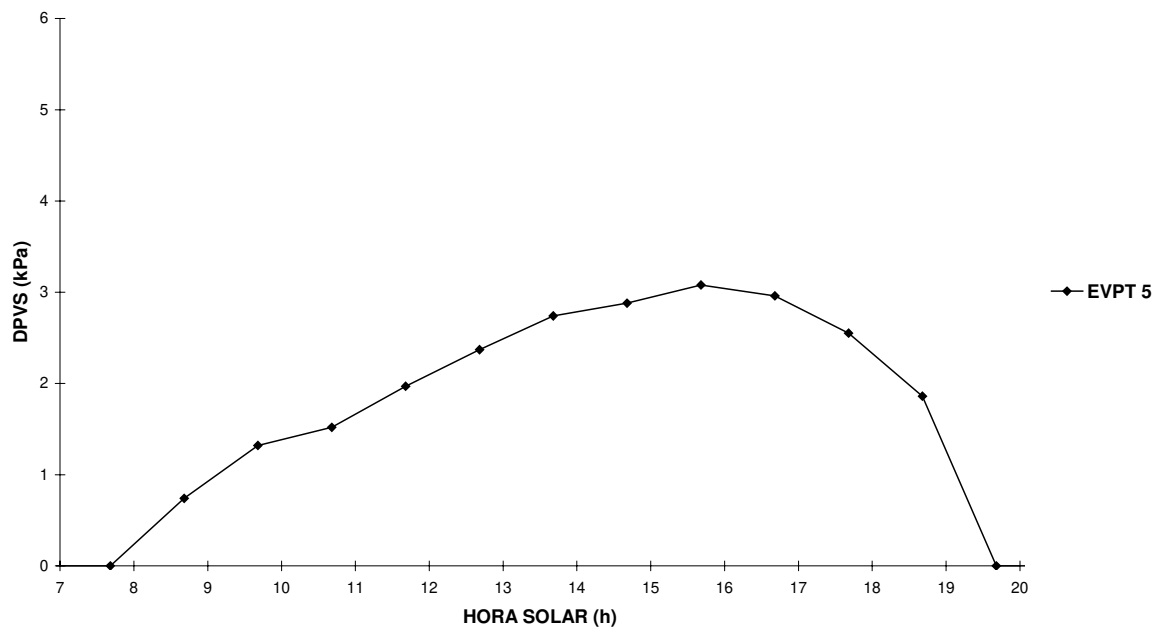


Figura A63 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

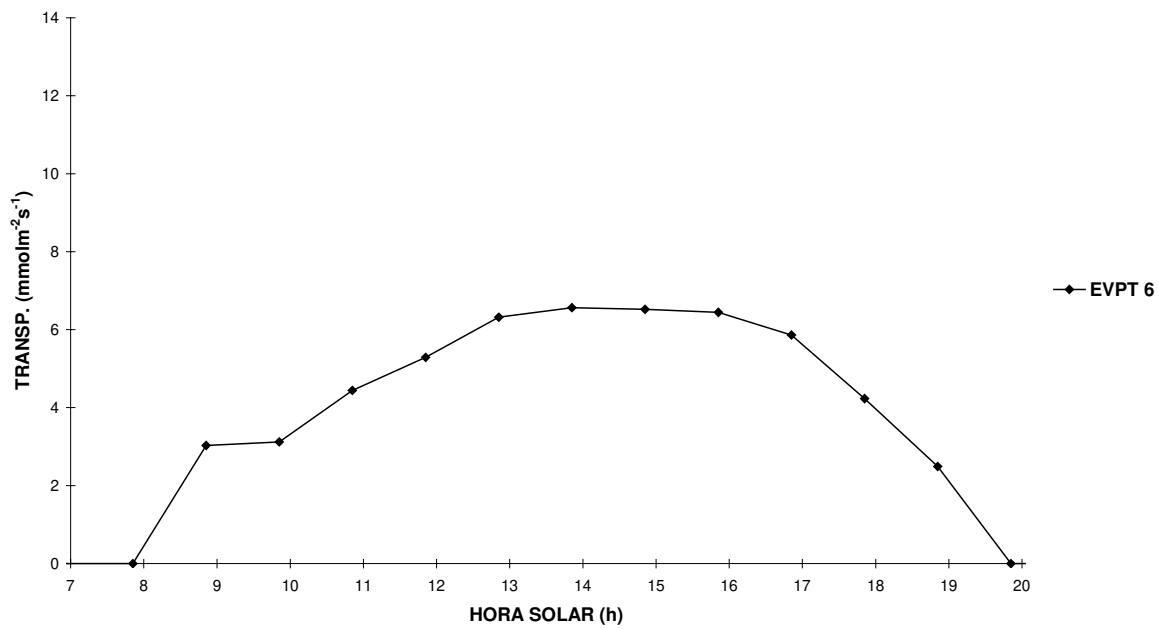


Figura A64 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE 791011

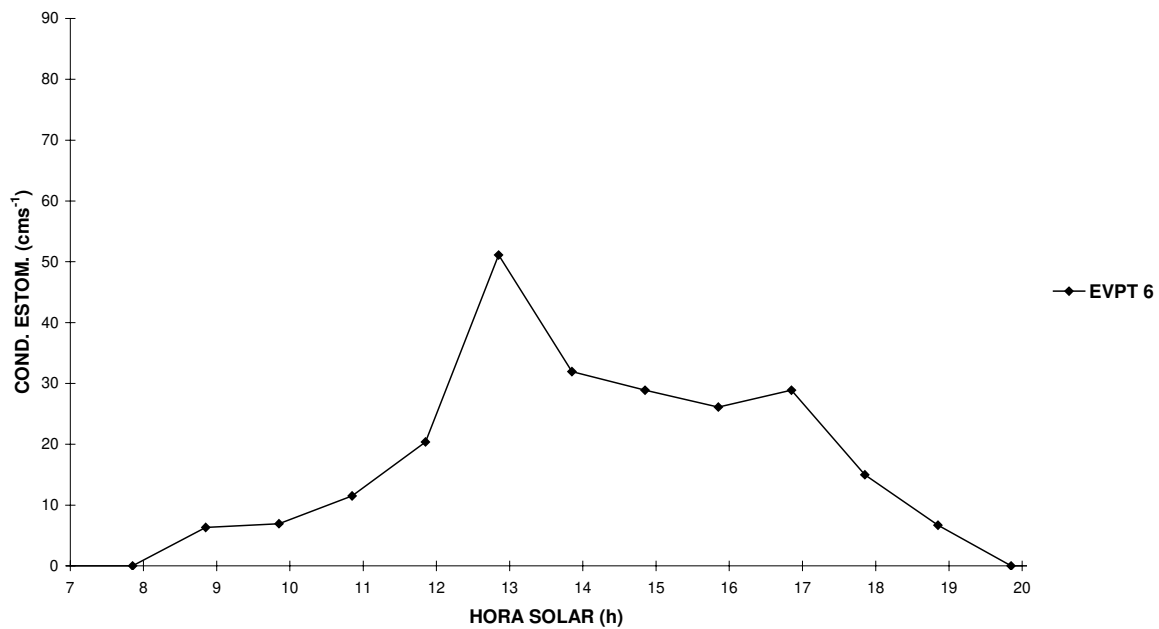


Figura A65 - RFA PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

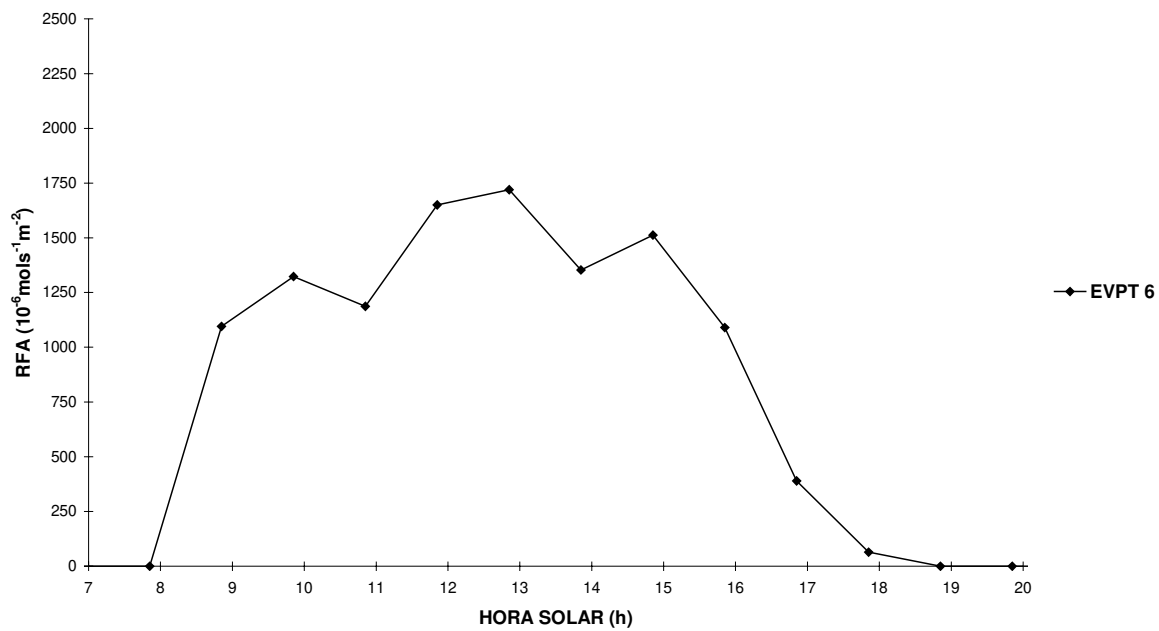


Figura A66 - DPVS PARA O DIA 18/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

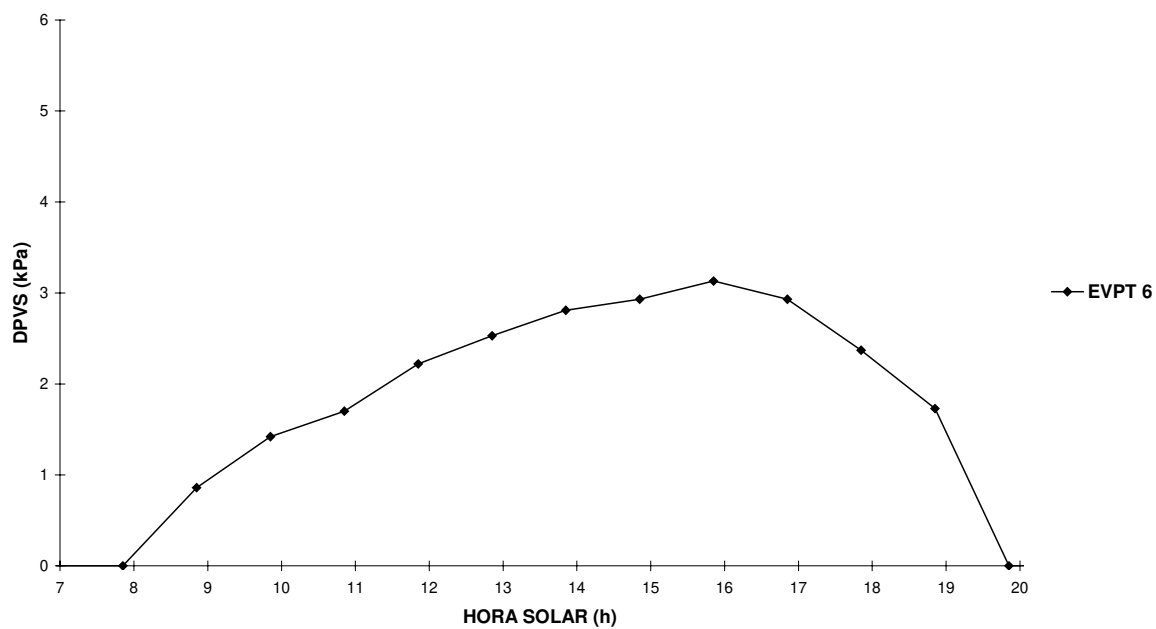


Figura A67 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

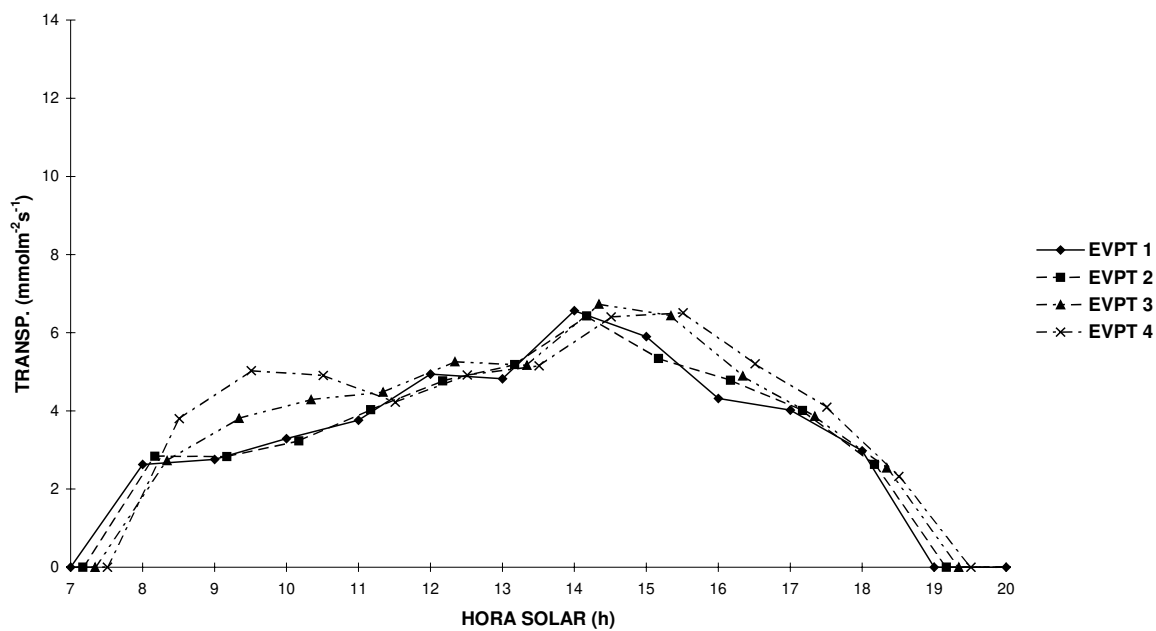


Figura A68 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

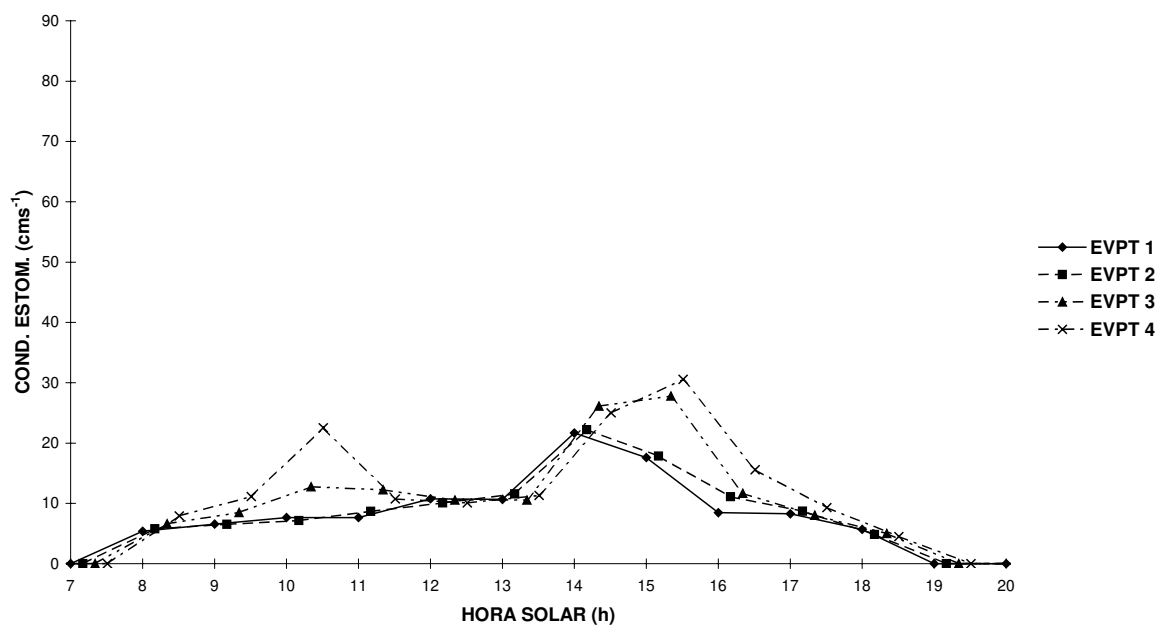


Figura A69 - RFA PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

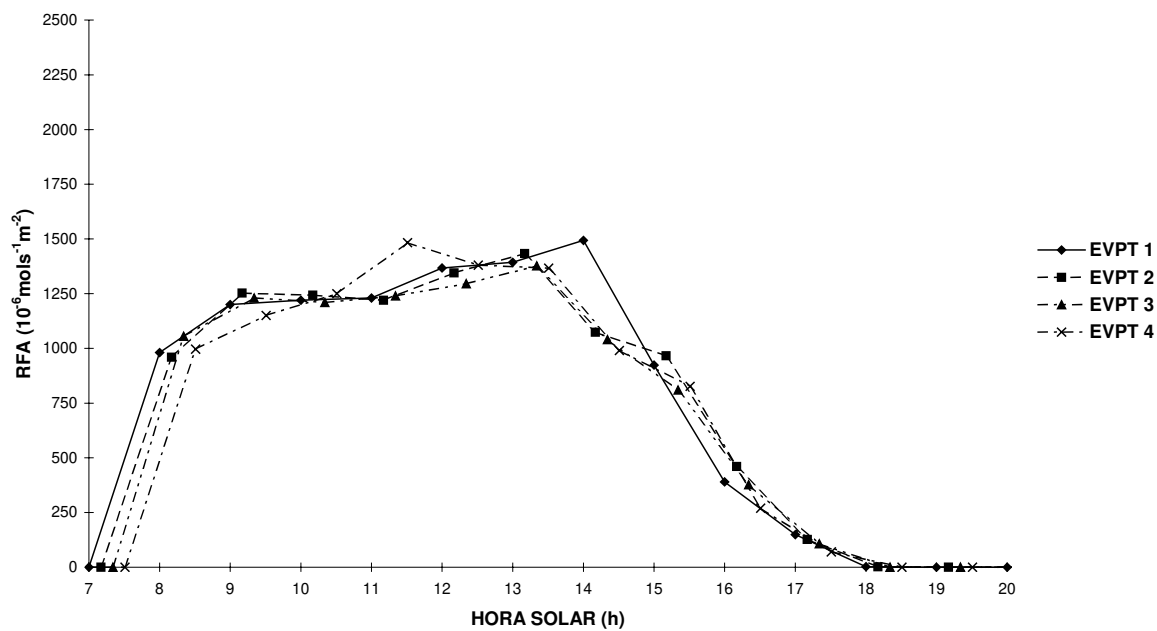


Figura A70 - DPVS PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 832847

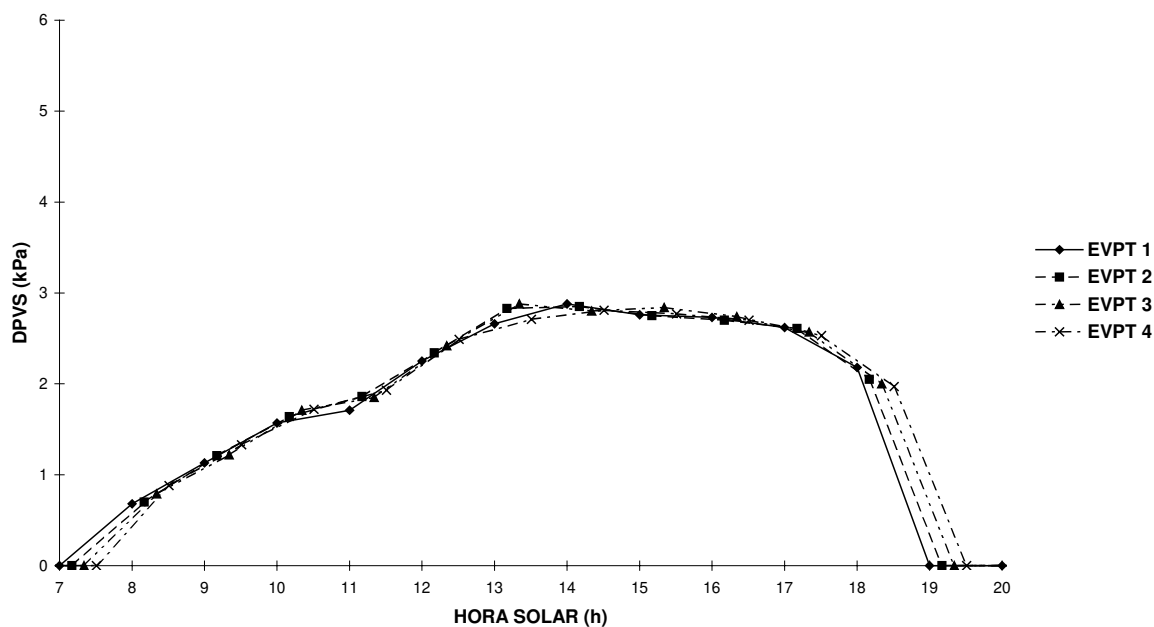


Figura A71 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

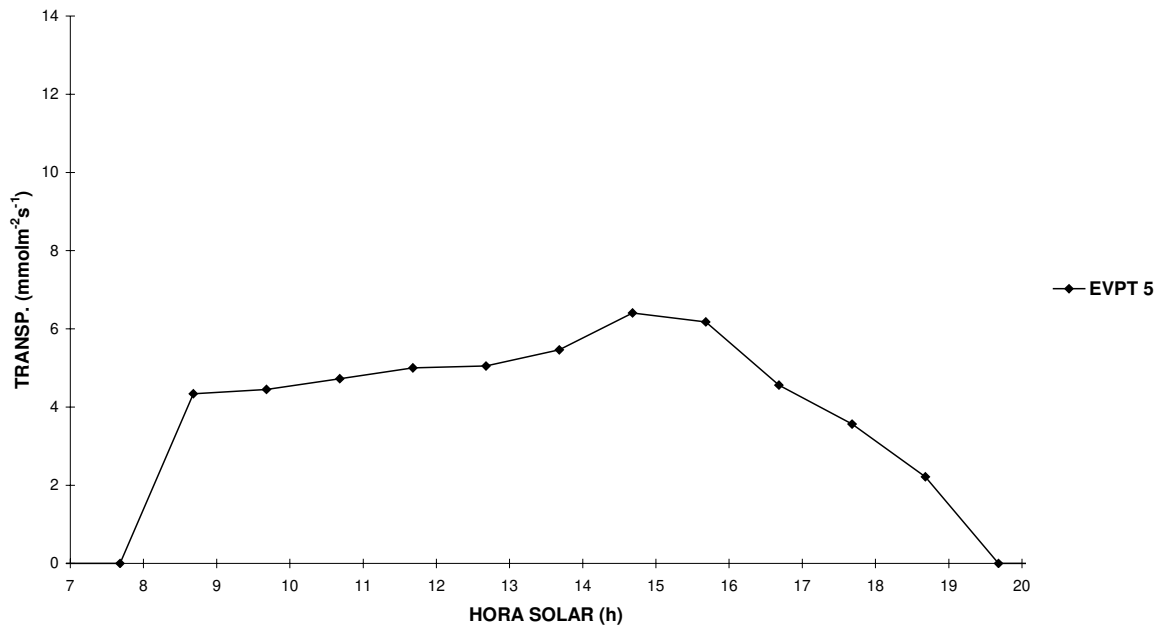


Figura A72 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

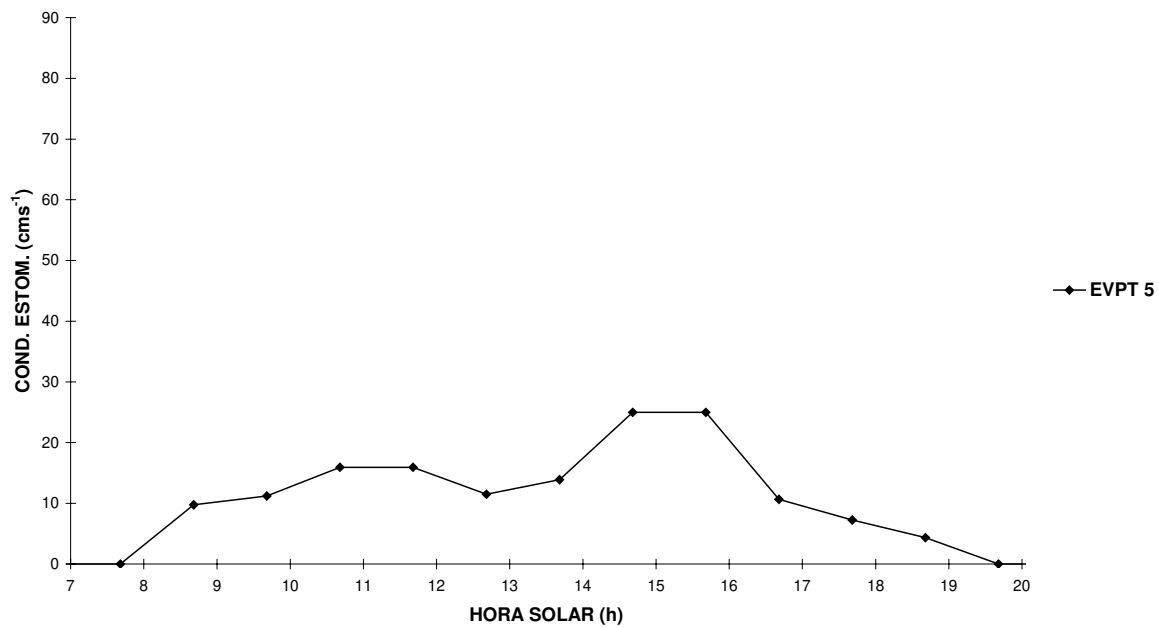


Figura A73 - RFA PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

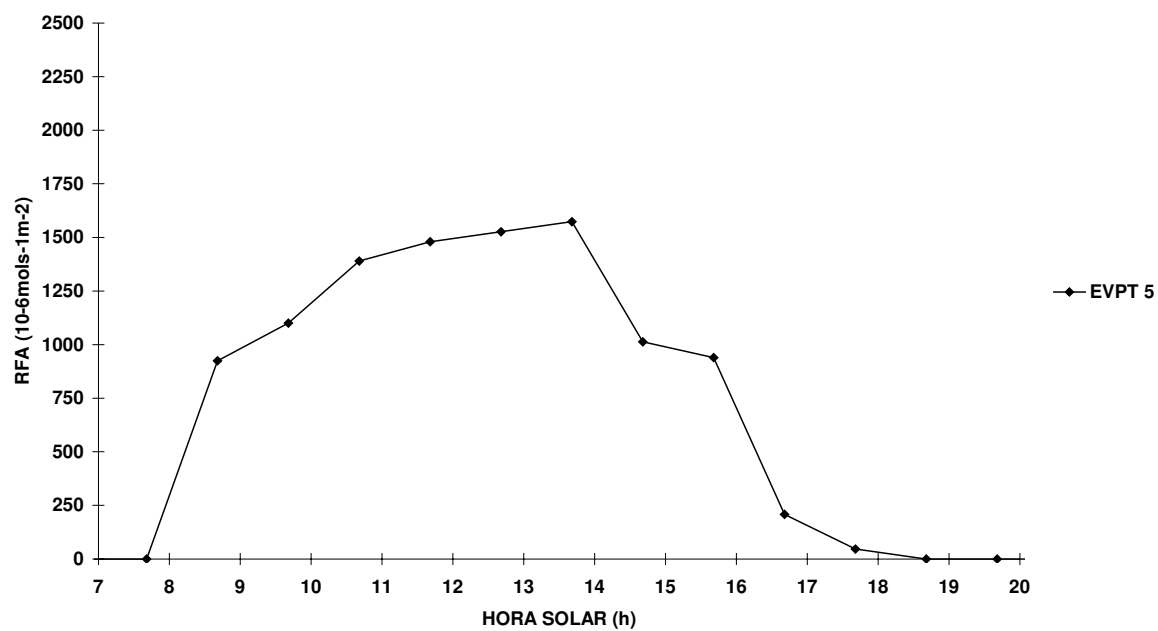


Figura A74 - DPVS PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 801842

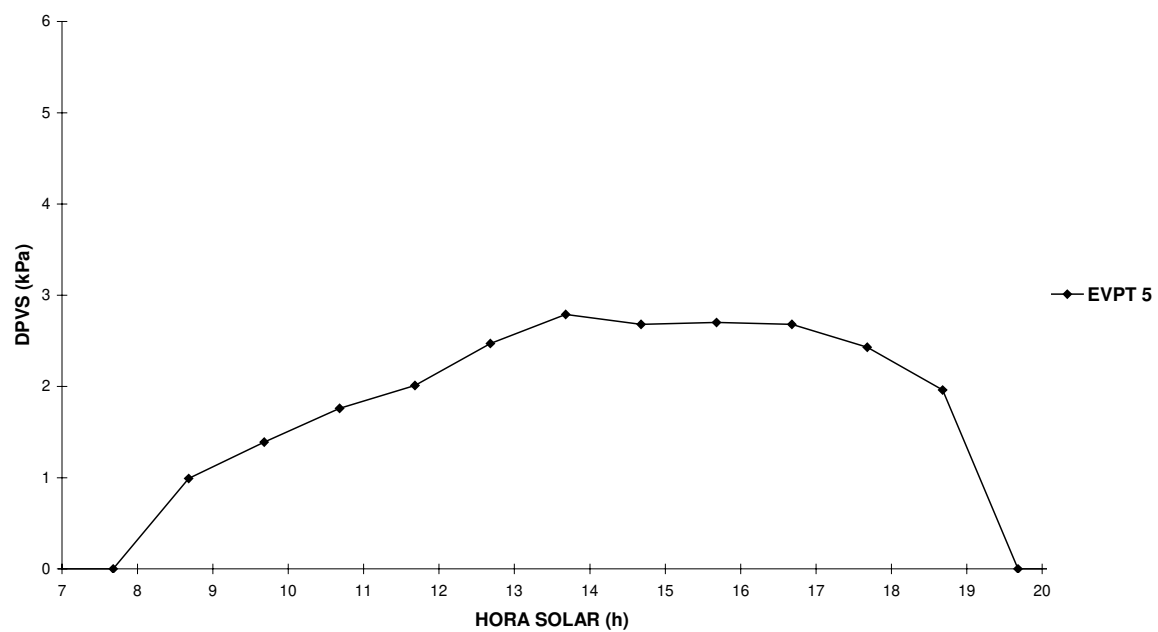


Figura A75 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

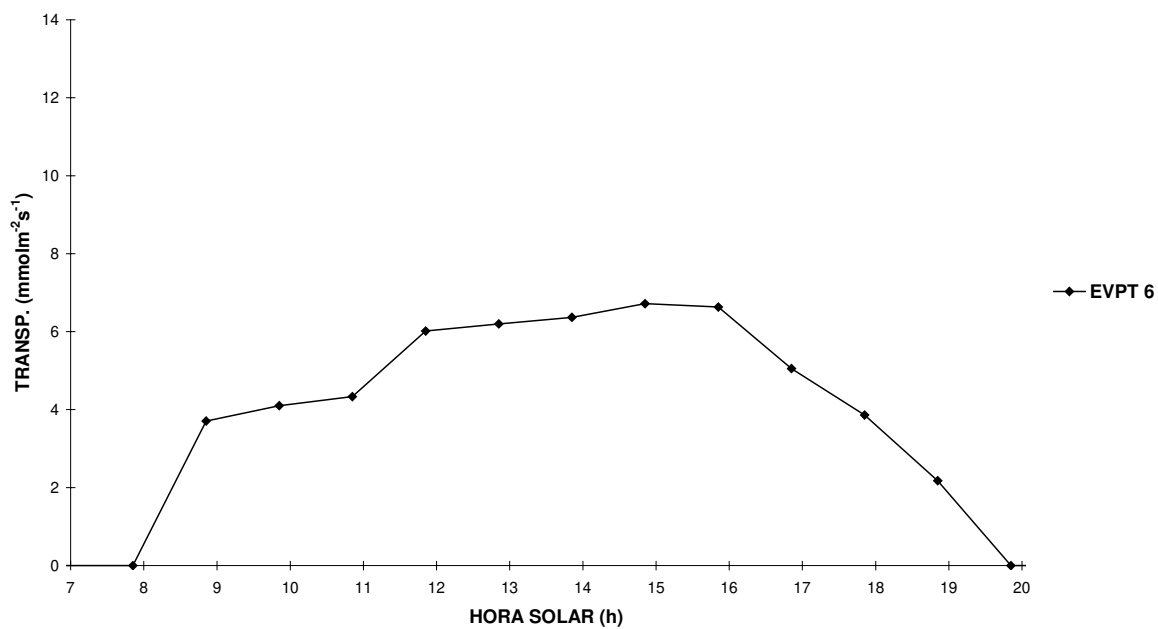


Figura A76 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

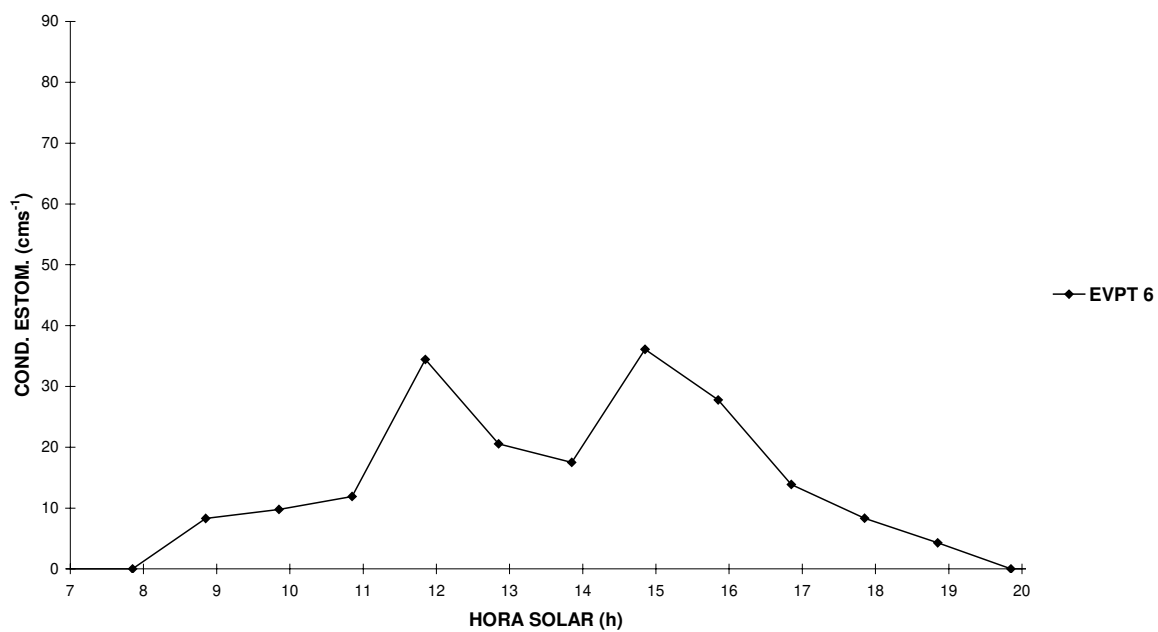


Figura A77 - RFA PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

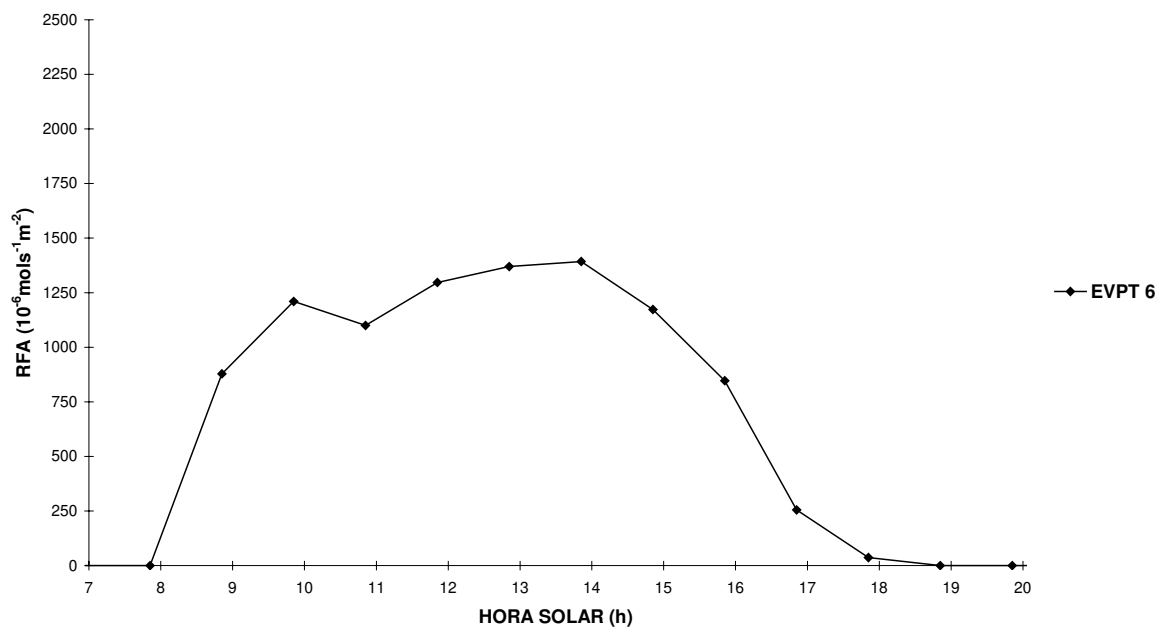


Figura A78 - DPVS PARA O DIA 19/09/2002 NA VARIEDADE SP 791011

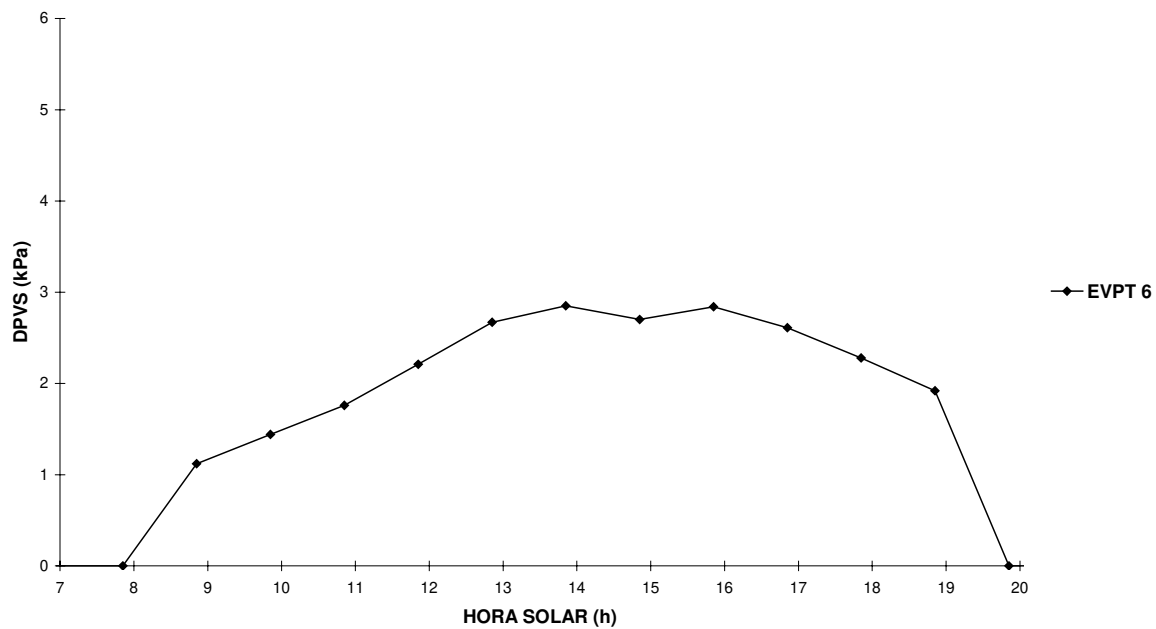


Figura A79 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 832847

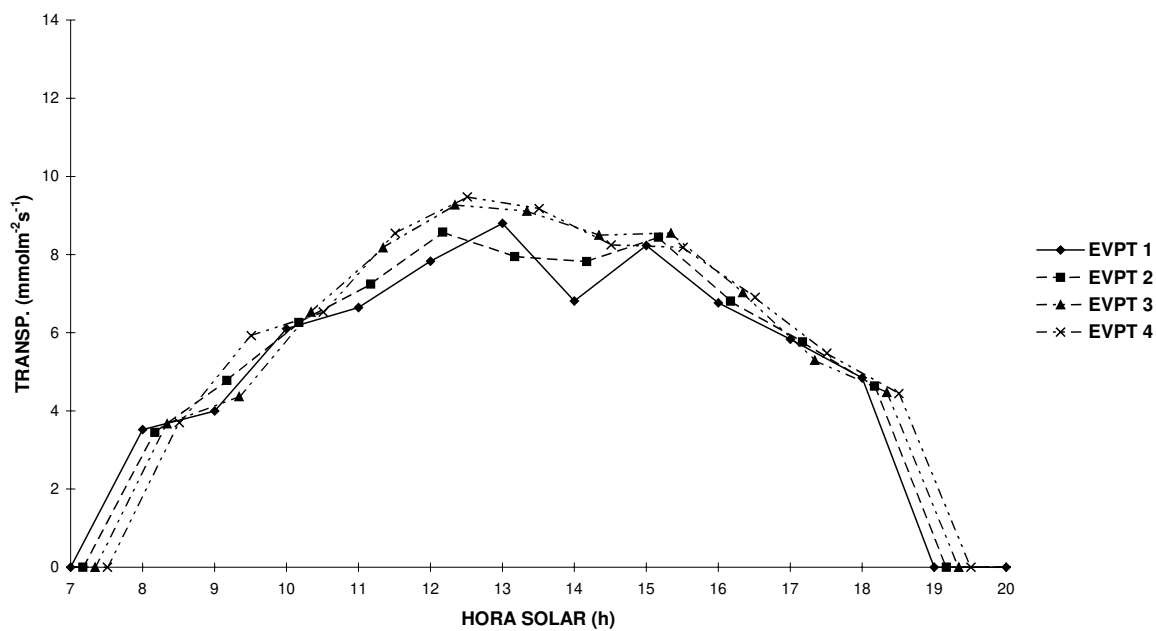


Figura A80 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 832847

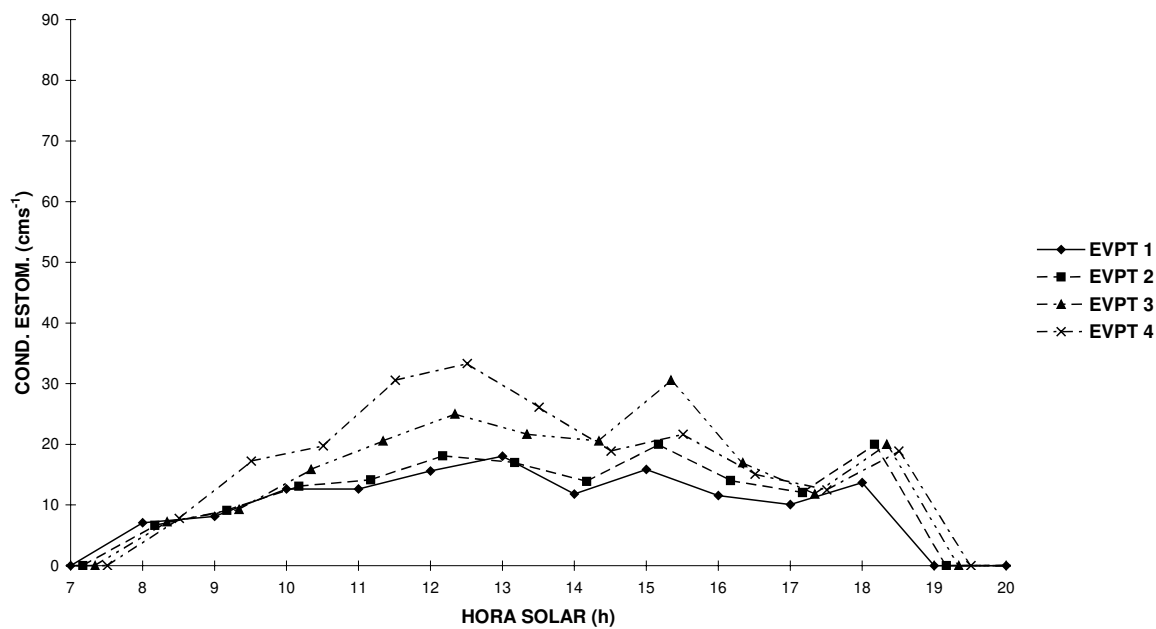


Figura A81 - RFA PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 832847

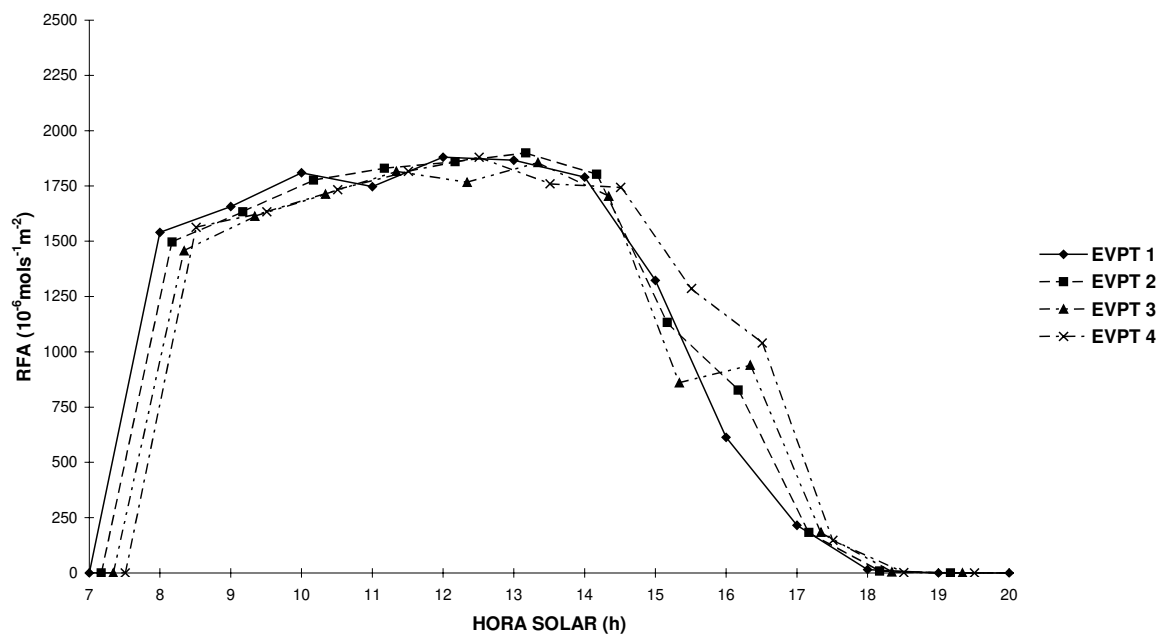


Figura A82 - DPVS PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 832847

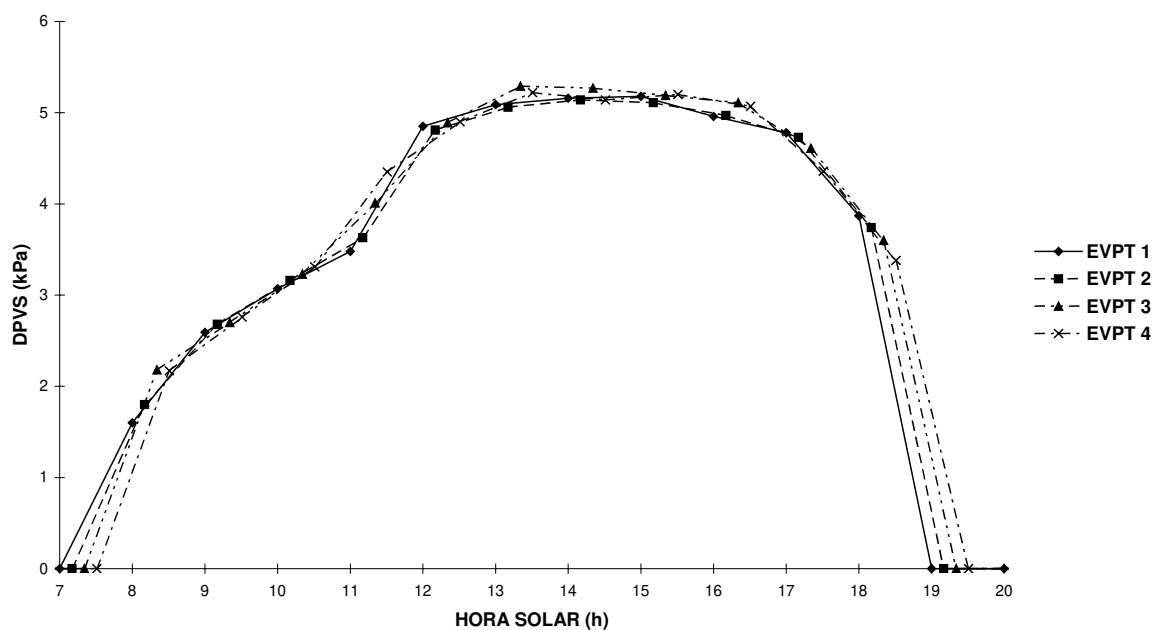


Figura A83 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 801842

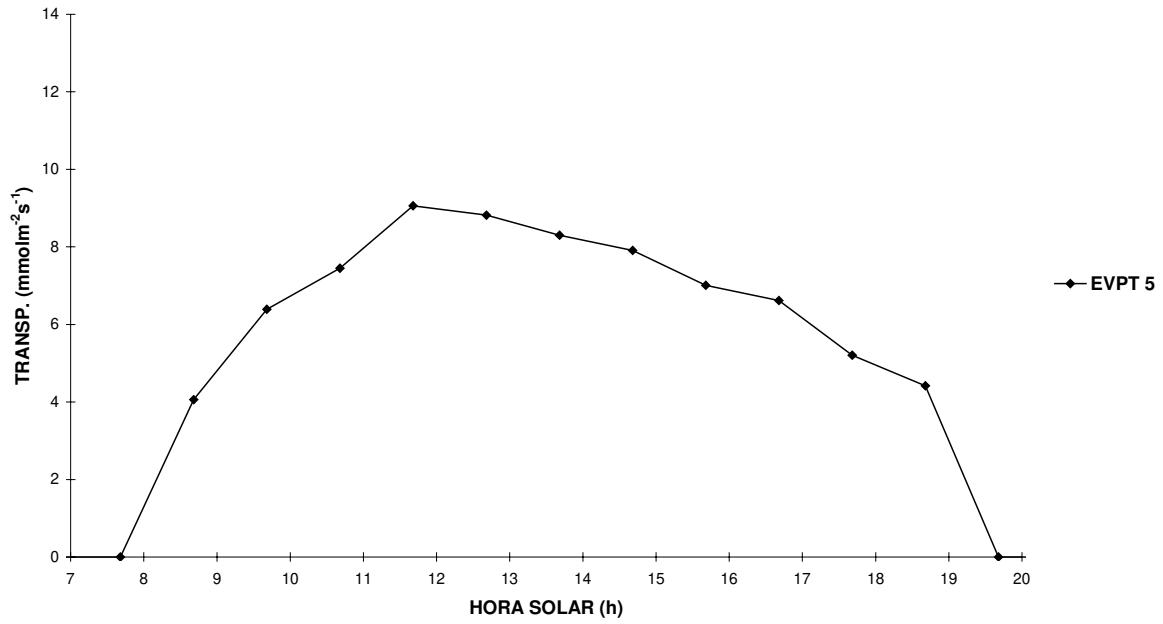


Figura A84 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 801842

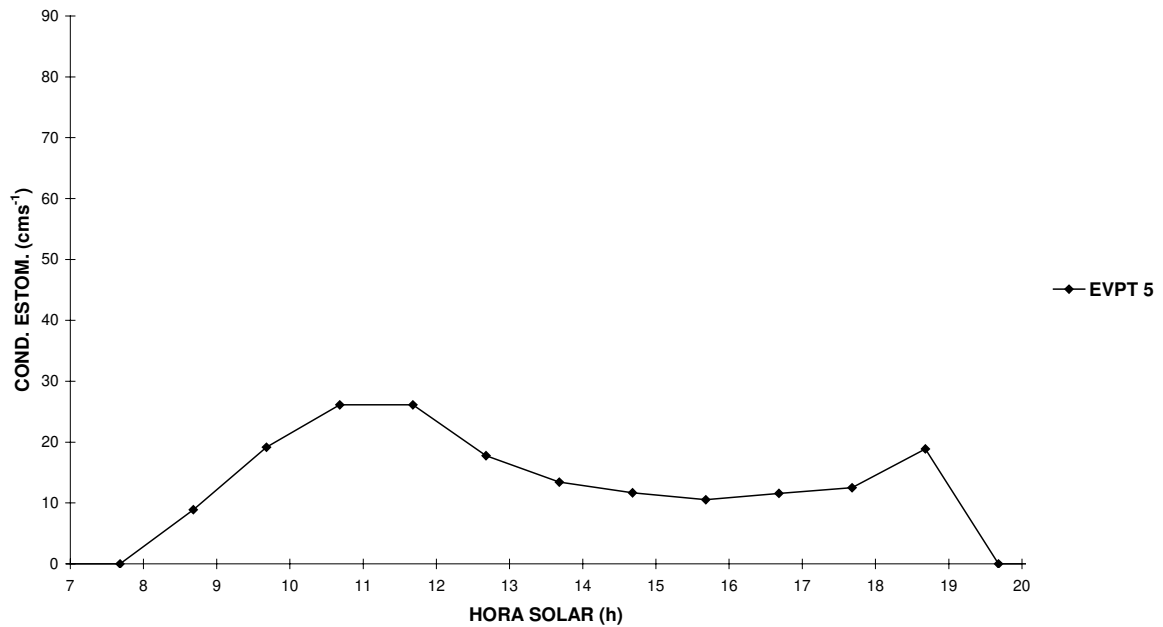


Figura A85 - RFA PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 801842

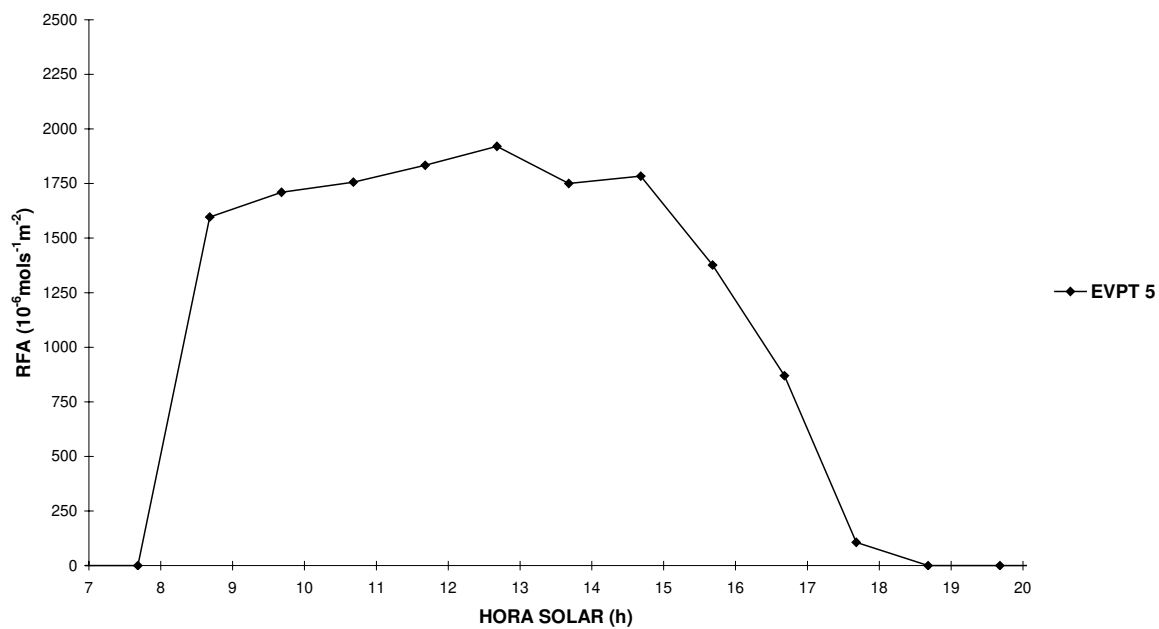


Figura A86 - DPVS PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 801842

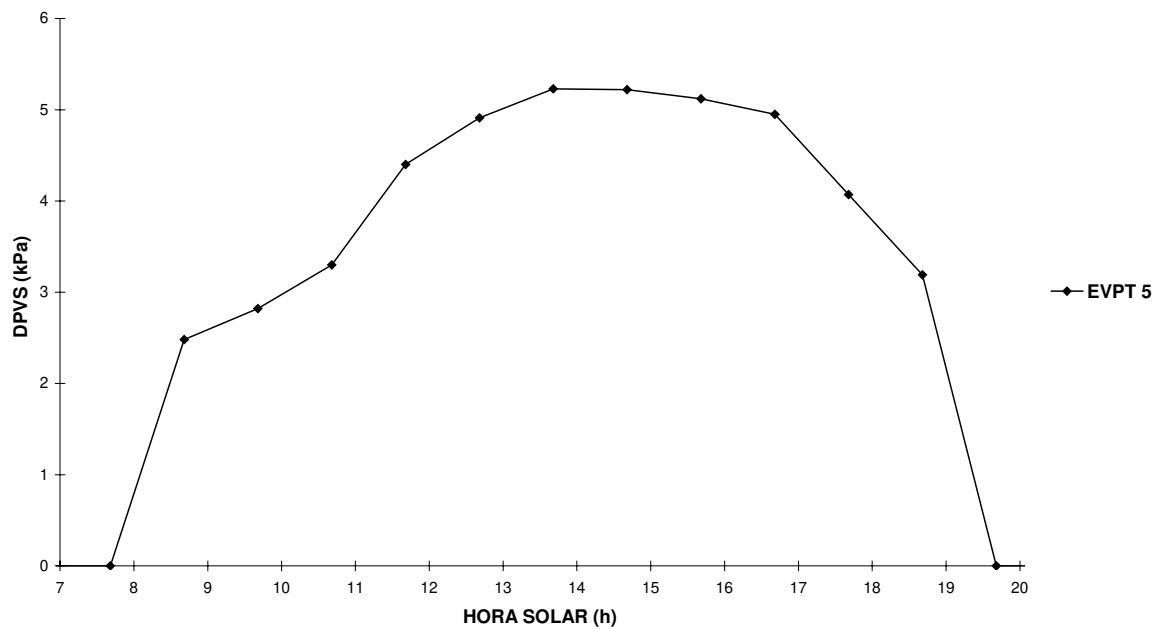


Figura A87 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 791011

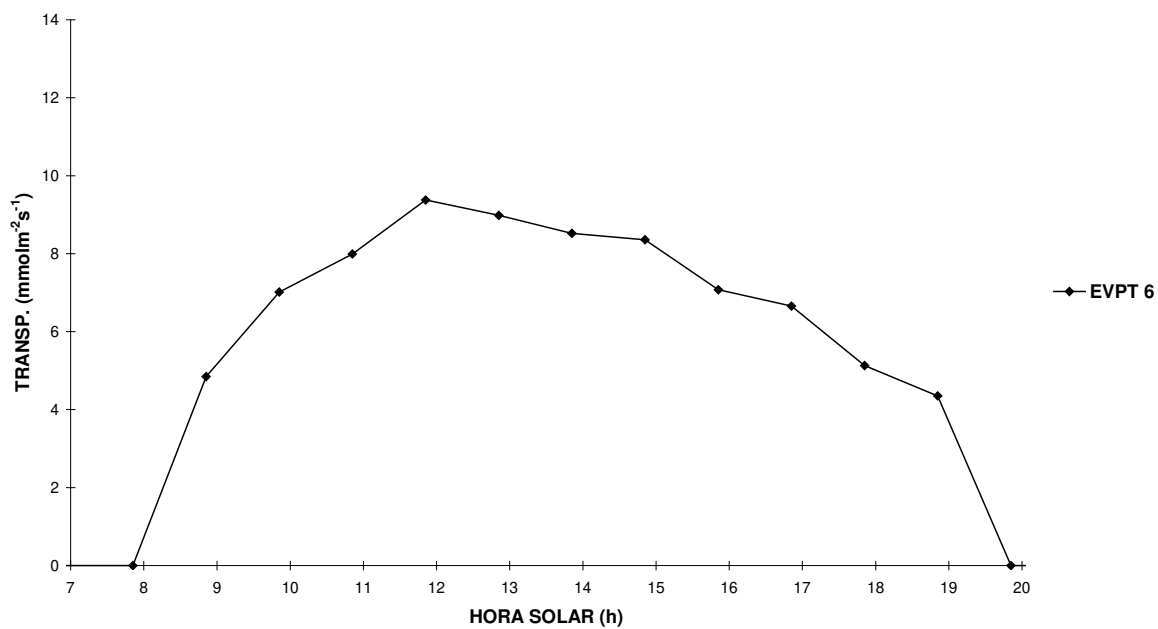


Figura A88 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 791011

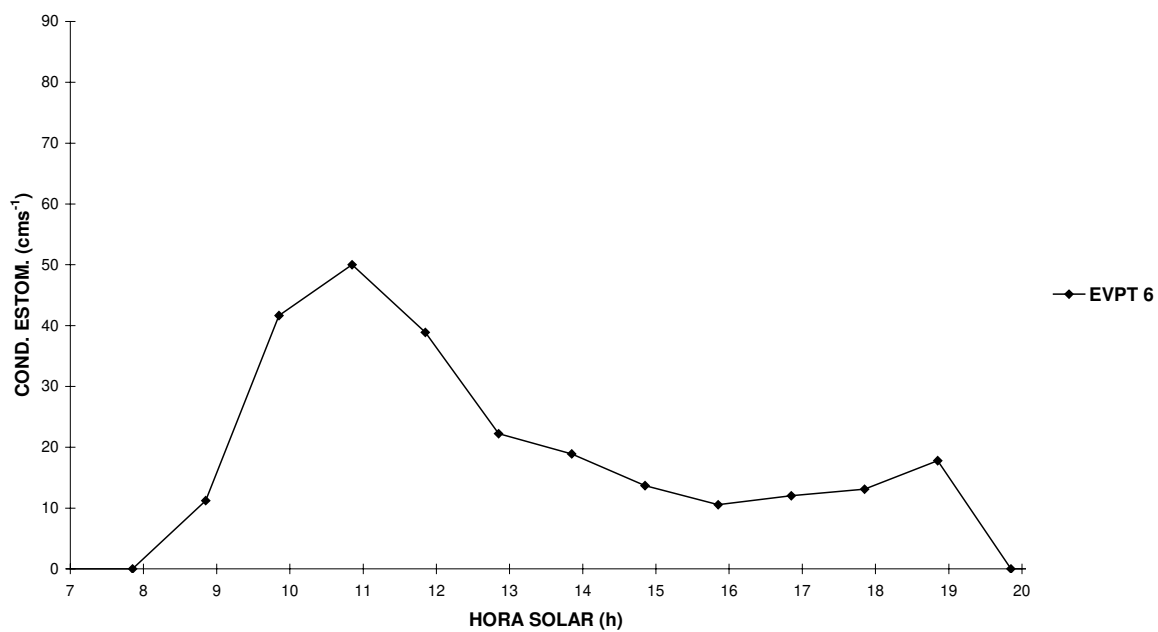


Figura A89 - RFA PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 791011

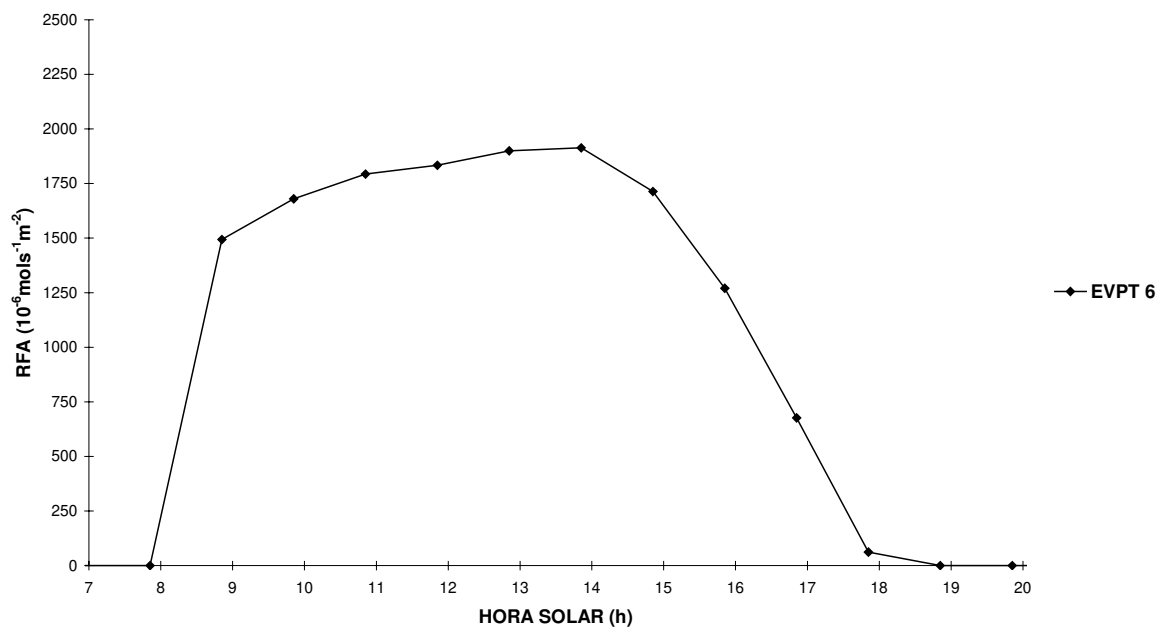


Figura A90 - DPVS PARA O DIA 14/10/2002 NA VARIEDADE SP 791011

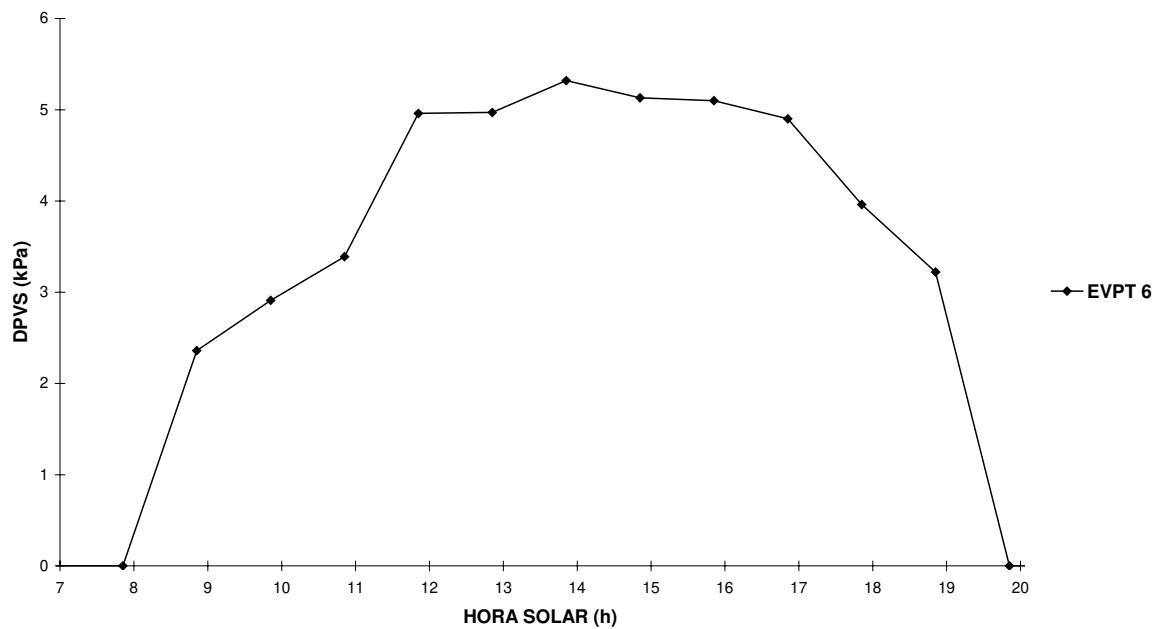


Figura A91 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 832847

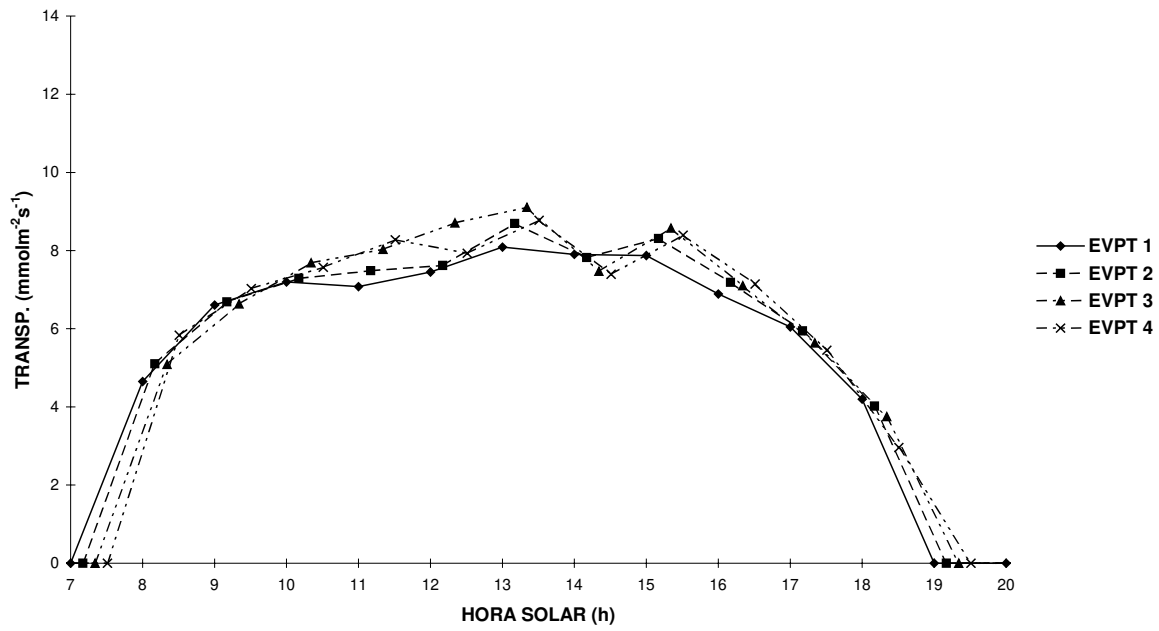


Figura A92 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 832847

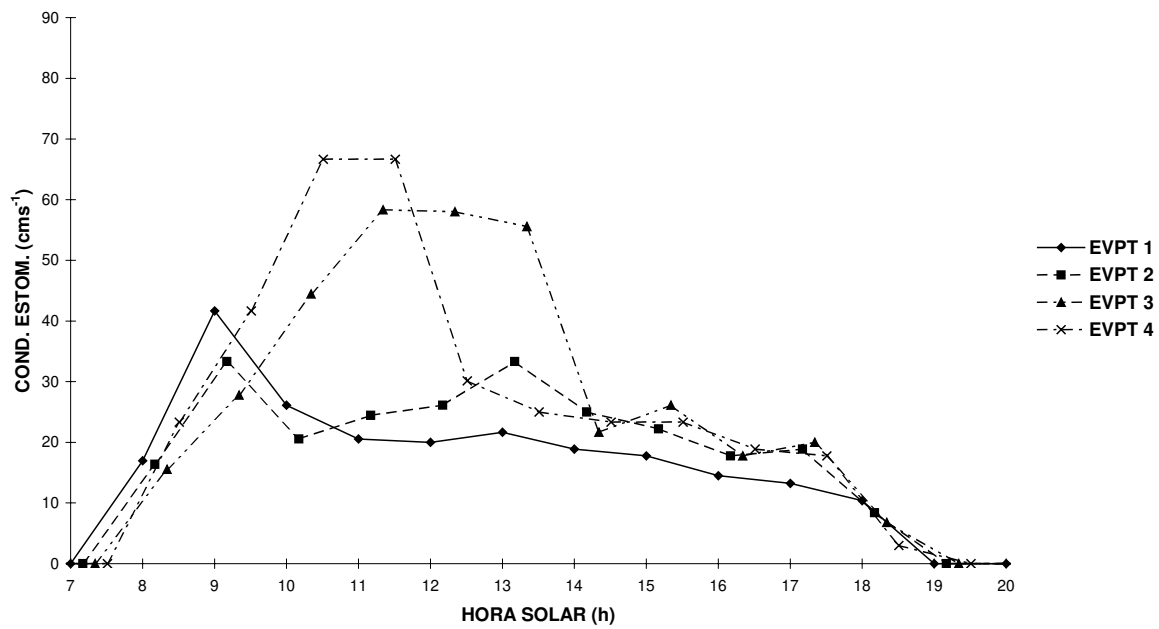


Figura A93 - RFA PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 832847

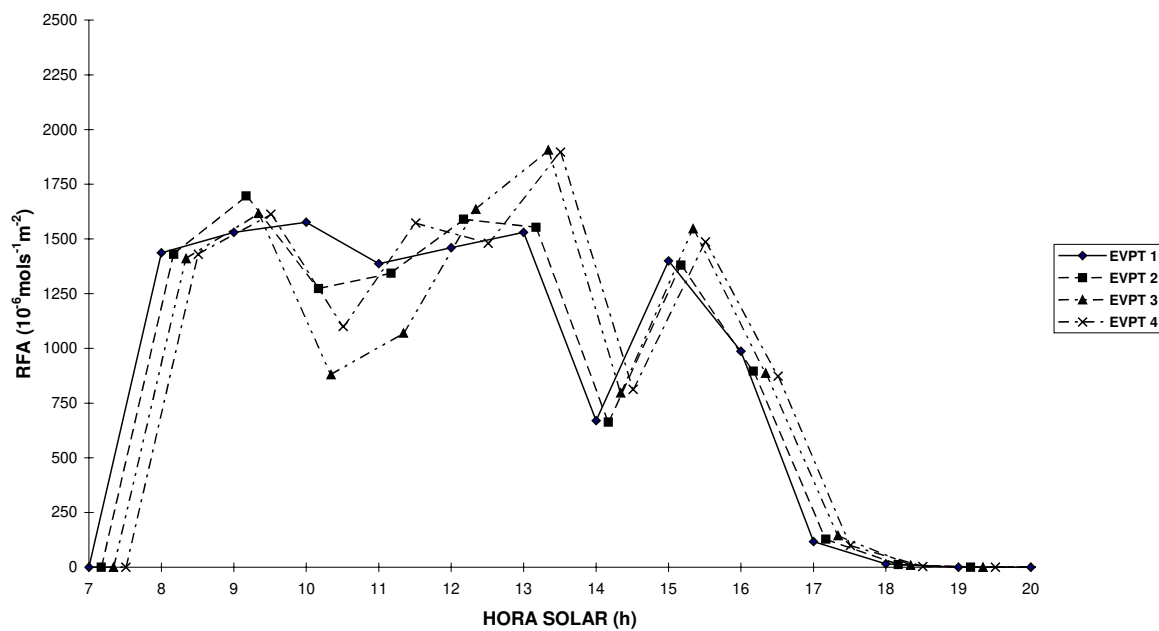


Figura A94 - DPVS PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 832847

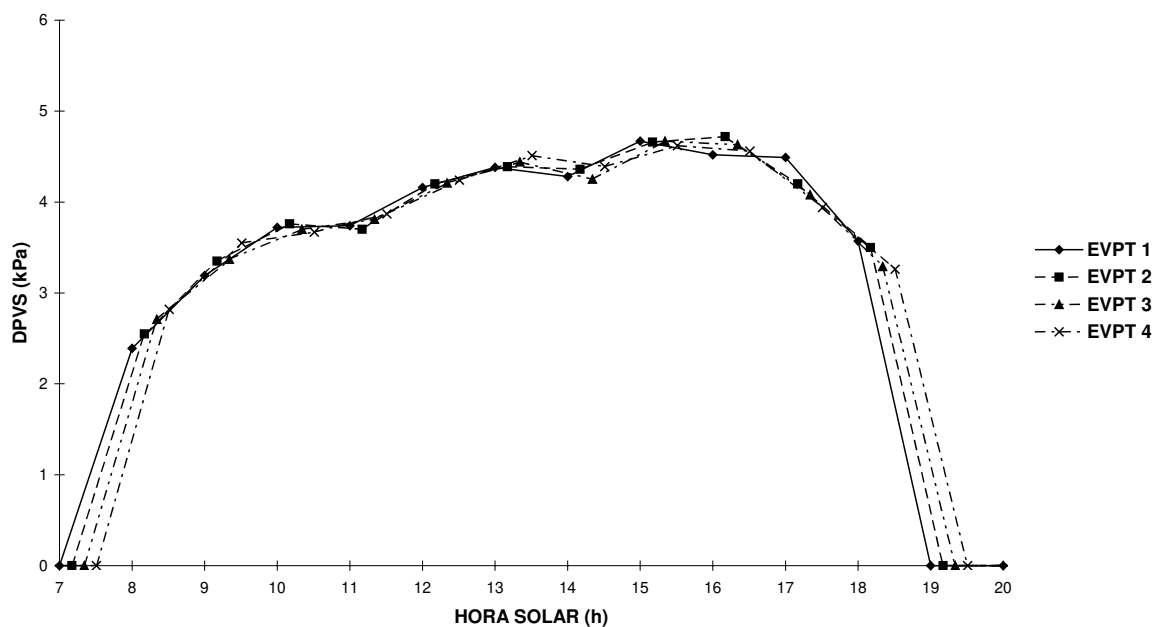


Figura A95 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 801842

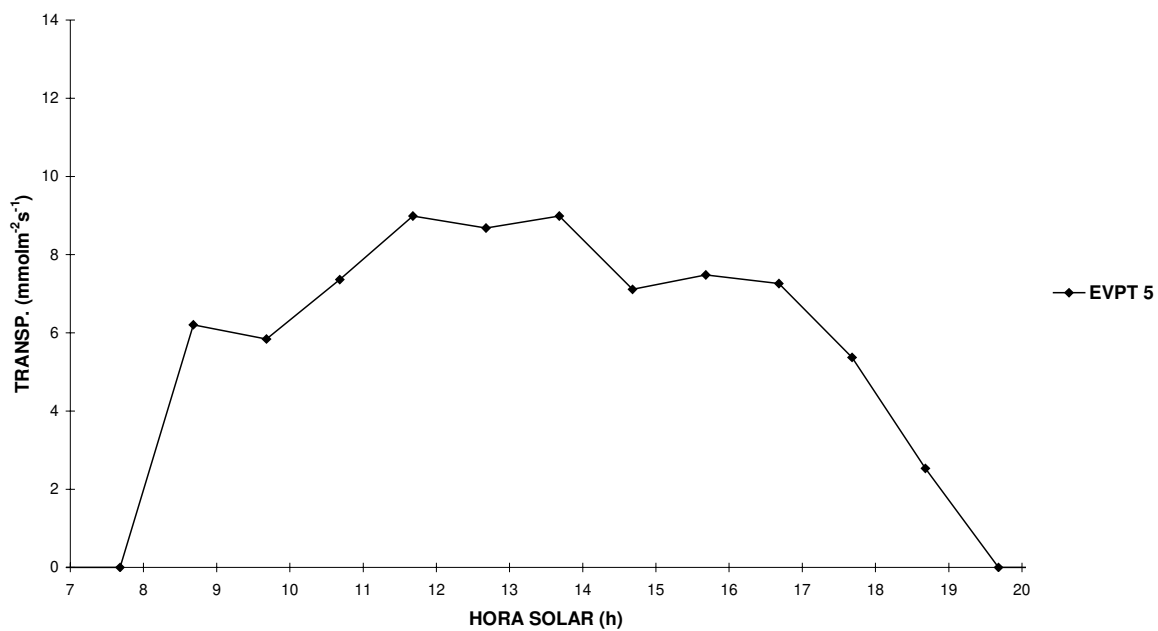


Figura A96 -CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 801842

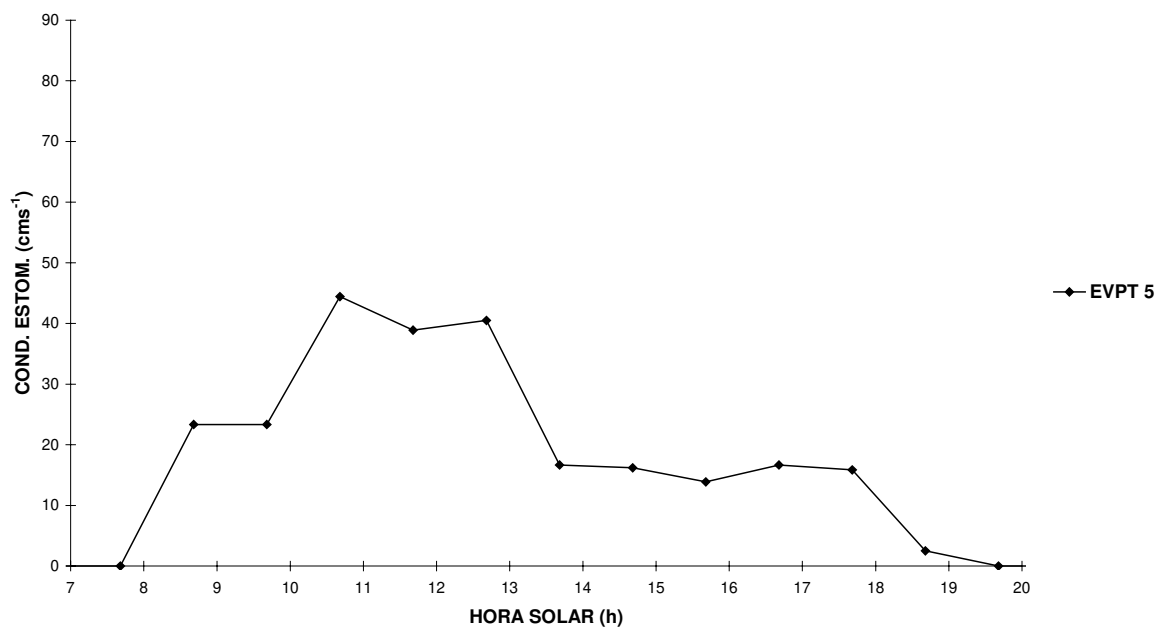


Figura A97 - RFA PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 801842

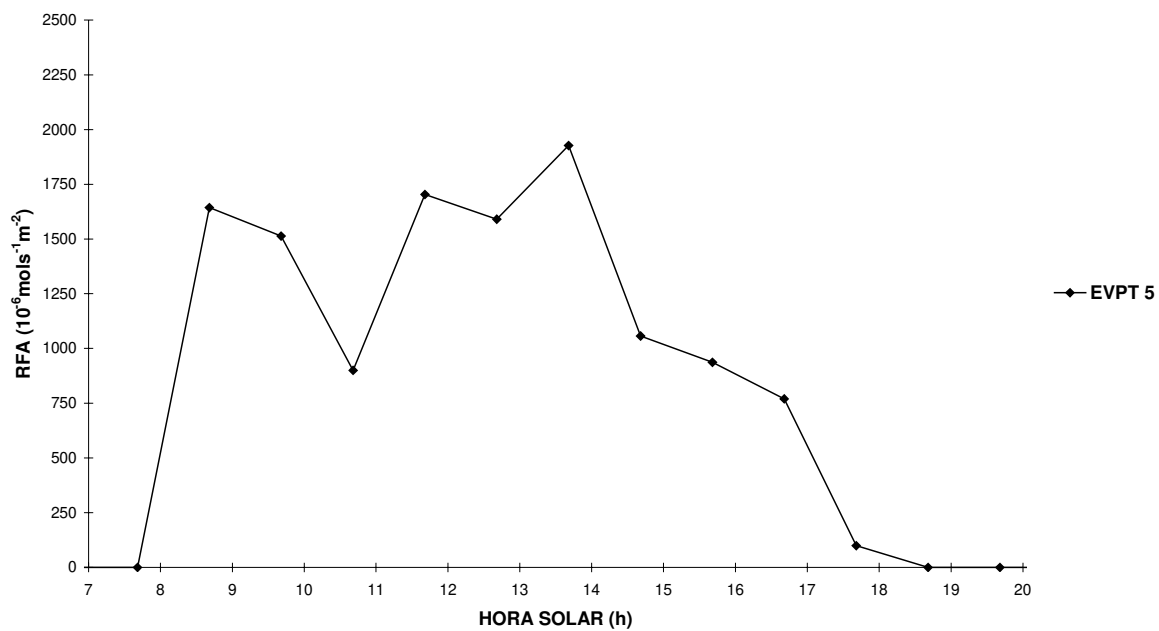


Figura A98 - DPVS PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 801842

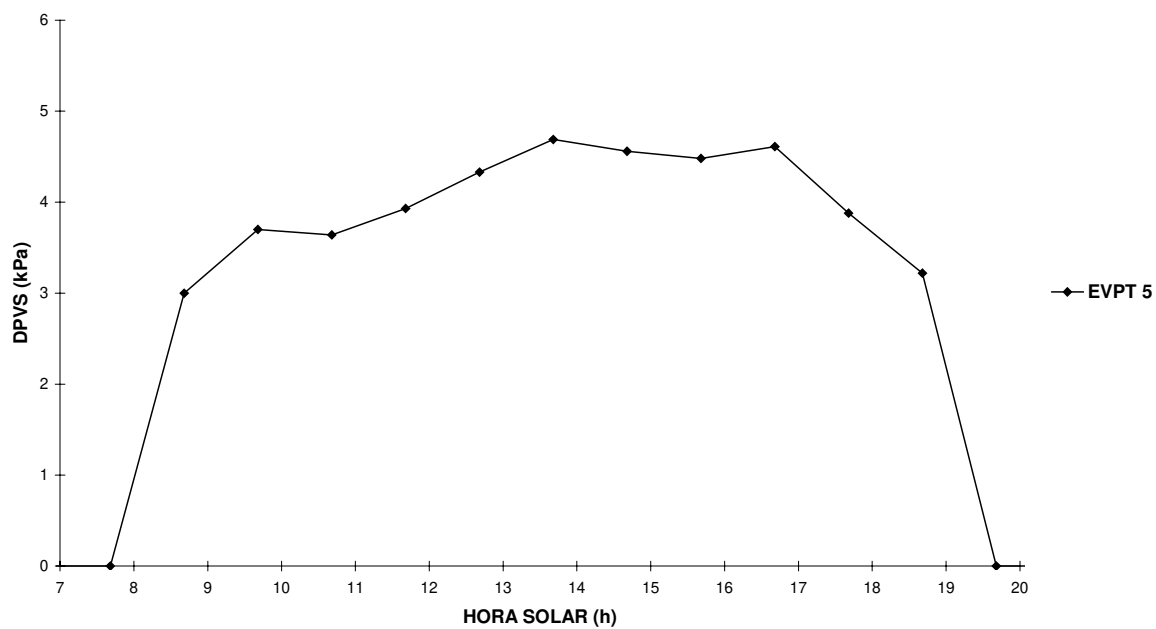


Figura A99 - TRANSPIRAÇÃO PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE 791011

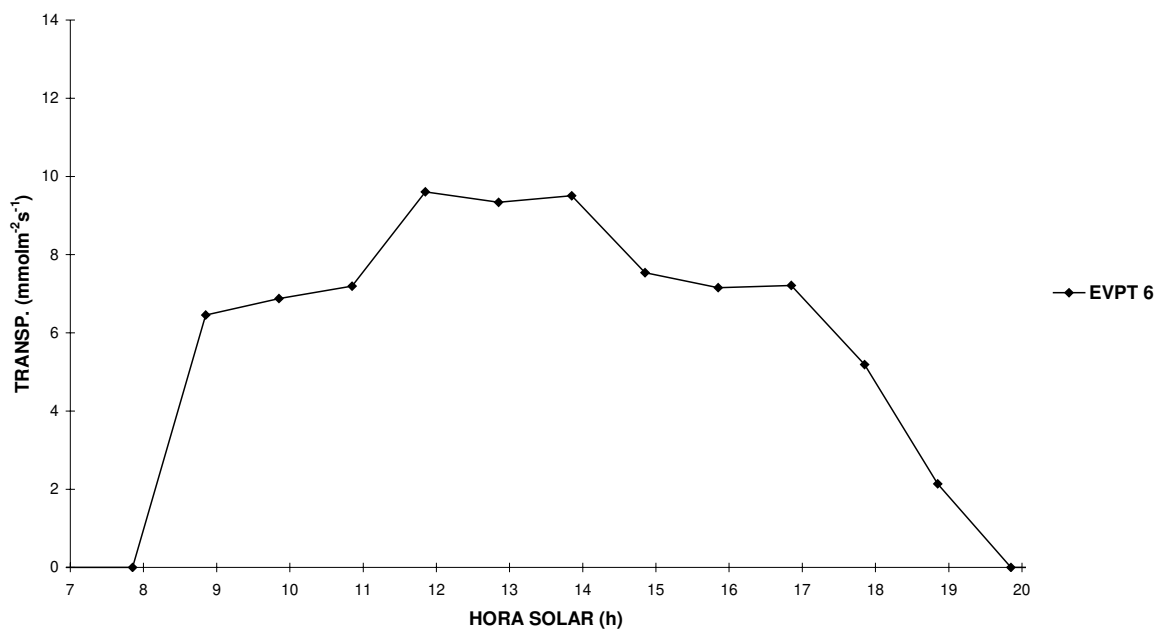


Figura A100 - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 791011

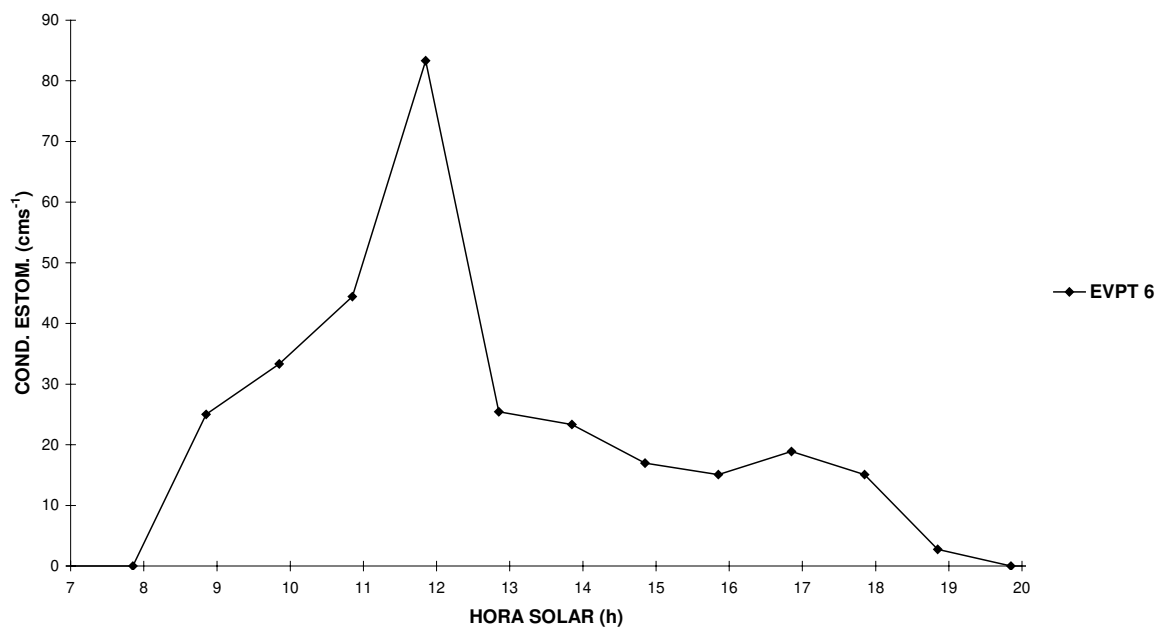


Figura A101 - RFA PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 791011

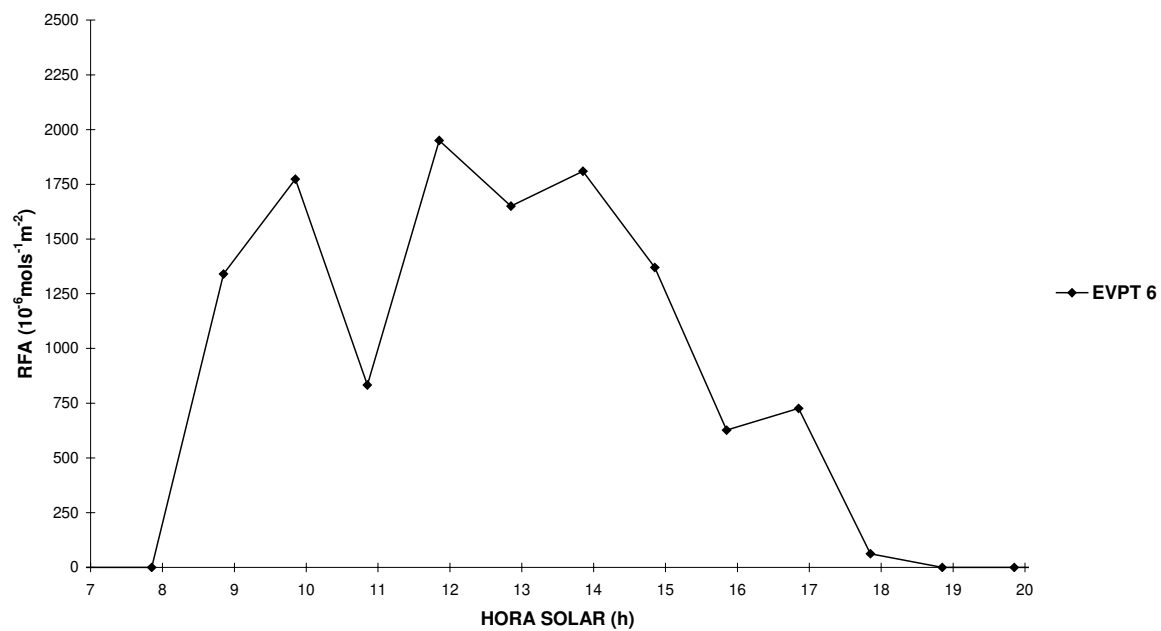


Figura A102 - DPVS PARA O DIA 15/10/2002 NA VARIEDADE SP 791011

