APLICAÇÃO DO MÉTODO DE GRAUS DIA EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp)

MIGUEL ANGELO MANIERO

Engenheiro-Agrônomo

Orientador: Dr. Jesus Marden dos Santos

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agrometeorologia.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Junho, 1980

À minha mãe Amélia
ofereço.

À memória de meu pai
dedico.

AGRADECIMENTOS

- A Deus por dar-me força e perseverança para elaboração deste trabalho.
- Ao Professor Doutor Jesus Marden dos Santos pela orientação e dedicação no desenvolvimento do presente trabalho.
- Ao Professor Doutor Nilson Augusto Villa Nova, pela amizade e colaboração durante o curso.
- Aos Demais Professores do Departamento de Física e Meteorologia e de outros Departamentos que de alguma maneira contribuíram para minha formação profissional.
- À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", através do Departamento de Física e Meteorologia, pela oportunidade oferecida.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro recebido, durante o curso.
- À Acadêmica de Agronomia Sonia Maria De Stefano Piedade e à funcionária Áurea Benedita Michelotto pela colaboração.
- Aos Engenheiros Agrônomos Carlos Ramires Franco da Encarnação e Francisco do Carmo Filho pela colaboração e aos demais colegas de curso pela amizade e compreensão.
- Aos Amigos que procuraram ajudar e também aos que colocavam pedras em meu caminho, dessa maneira incentivando-me a continuar.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
3. MATERIAL E MÉTODO	20
3.1. Material	20
3.2. Métodos	23
3.2.1. Estimativa de graus dia	23
3.2.2. Análise de distribuição da precipitação e da variação da temperatura do ar	25
3.2.3. Análise de crescimento	25
3.2.4. Análise estatística	26
4. RESULTADOS	27
5. DISCUSSÃO	57
6. CONCLUSÕES	62
7. SUMMARY	64
8. LITERATURA CITADA	66
APÊNDICE	73

LISTA DE TABELA

	Página
1 - Total de graus dia por época e acumulados, considerando os três modelos. Local: Macatuba	29
2 - Total de graus dia por época e acumulados, considerando os três modelos. Local: Pradópolis	30
3 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (A) e as interações de graus dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar. Local: Macatuba	31
4 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (A) e as interações de graus dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar. Local: Pradópolis	32
5 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (B) e as interações de graus dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar. Local: Macatuba	33
6 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (B) e as interações de grau dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar. Local: Pradópolis	34

7 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (C) e as interações de graus dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar. Local: Macatuba	35
8 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (C) e as interações de grau dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar. Local: Pradópolis	36
9 - Valores de POL: porcentagem de sacarose aparente; TPH: tonelada de pol por hectare e TCH: tonelada de cana por hectare. Local: Macatuba	74
10 - Valores de POL: porcentagem de sacarose aparente; TPH: tonelada de pol por hectare e TCH: tonelada de cana por hectare. Local: Pradópolis	75
11 - Fatores H e L, para uso na computação de graus dia pelo modelo de Thom (C)	76

LISTA DE FIGURAS

Página

1 - Variação das precipitações e das temperaturas máximas e mínimas semanais do ar. (Período: 01 de outubro de 1973 a 19 de agosto de 1974). Local: Macatuba	37
2 - Variação das precipitações e das temperaturas máximas e mínimas semanais do ar. (Período: 01 de março de 1974 a 27 de junho de 1975). Local: Pradópolis	38
3 - Curva de graus dia acumulados comparada com a do crescimento das variedades <i>CB 47-355</i> ; <i>CB 40-13</i> ; <i>CB 41-76</i> . Local: Macatuba	39
4 - Curva de graus dia acumulados comparada com a do crescimento das variedades <i>CB 46-47</i> ; <i>CB 45-155</i> ; <i>IAC 52-326</i> . Local: Macatuba	40
5 - Curva dos graus dia acumulados comparada com a do crescimento das variedades <i>CO-740</i> ; <i>IAC 51-205</i> ; <i>NA 56-62</i> . Local: Macatuba	41
6 - Curva dos graus dia acumulados comparada com a do crescimento das variedades <i>CB 47-355</i> ; <i>CB 46-47</i> ; <i>CB 56-126</i> . Local: Pradópolis	42
7 - Curva de graus dia acumulados comparada com a do crescimento das variedades <i>CB 49-260</i> ; <i>CB 41-76</i> ; <i>CB 52-326</i> . Local: Pradópolis	43

8 - Curva de graus dia acumulados comparada com a do crescimento das variedades <i>CO 775</i> ; <i>CO 740</i> ; <i>NA 56-62</i> . Local: Pradópolis	44
9 - Curva de graus dia acumulados comparada com desenvolvimento do colmo das variedades <i>CB 47-355</i> ; <i>CB 40-13</i> ; <i>CB 41-76</i> . Local: Macatuba	45
10 - Curva de graus dia acumulados comparada com desenvolvimento do colmo das variedades <i>CB 46-47</i> ; <i>CB 45-155</i> ; <i>CO 740</i> . Local: Macatuba	46
11 - Curva de graus dia acumulados comparada com desenvolvimento do colmo das variedades <i>IAC 51-205</i> ; <i>IAC 52-326</i> ; <i>NA 56-62</i> . Local: Macatuba	47
12 - Curva de graus dia acumulados comparada com desenvolvimento do colmo das variedades <i>CB 49-260</i> ; <i>CB 41-76</i> ; <i>CB 52-326</i> . Local: Pradópolis	48
13 - Curva de graus dia acumulados comparada com desenvolvimento do colmo das variedades <i>CB 47-355</i> ; <i>CB 46-47</i> ; <i>CB 56-126</i> . Local: Pradópolis	49
14 - Curva de graus dia acumulados comparada com desenvolvimento do colmo das variedades <i>CO 775</i> ; <i>CO 740</i> ; <i>NA 56-62</i> Local: Pradópolis	50

15 - Curva de graus dia acumulados, comparada com área foliar das variedades <i>CB 47-355</i> ; <i>CB 40-13</i> ; <i>CB 41-76</i> . Local: <u>Ma</u> catuba	51
16 - Curva de graus dia acumulados, comparada com área foliar das variedades <i>CB 46-47</i> ; <i>CB 45-155</i> ; <i>CO 740</i> . Local: <u>Mac</u> tuba	52
17 - Curva de graus dia acumulados, comparada com área foliar das variedades <i>IAC 51-205</i> ; <i>IAC 52-326</i> ; <i>NA 56-62</i> . Local : Macatuba	53
18 - Curva de graus dia acumulados comparada com área foliar das variedades <i>CB 49-260</i> ; <i>CB 41-76</i> ; <i>CB 52-326</i> . Local: Pradópolis	54
19 - Curva de graus dia acumulados, comparada com área foliar das variedades <i>CB 47-355</i> ; <i>CB 46-47</i> ; <i>CB 56-126</i> . Local: <u>Pra</u> dópolis	55
20 - Curva de graus dia acumulados, comparada com área foliar das variedades <i>CO 775</i> ; <i>CO 740</i> ; <i>NA 56-62</i> . Local: Pradópolis	56

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram correlacionar o desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar com as unidades de calor acumuladas, bem como desenvolver uma metodologia simples para estudos dos efeitos da temperatura no desenvolvimento vegetal.

Os ensaios foram conduzidos em duas localidades, Usina São José, município de Macatuba e Usina São Martinho, município de Pradópolis; ambas no Estado de São Paulo.

Plantou-se nove variedades de cana-de-açúcar em cada local, assim distribuídas; Usina São José: CB 47-355; CB 41-76, CB 40-13, CB 46-47, CB 45-155, IAC 52-326, IAC 51-205, CO 740 e NA 56-62; Usina São Martinho : CB 47-355, CB 41-76, CB 46-47, CB 56-126, CB 49-260, IAC 59-326, CO 740, CO 775, NA 56-62.

Na região Centro-Sul do Brasil temos duas épocas de plantio; setembro-outubro para cana-de-ano e janeiro-março para cana de ano e meio, situações dos experimentos das Usinas São José e São Martinho respectivamente.

A estimativa de Graus Dia Acumulados foi feita utilizando-se três modelos. O modelo (A) no qual emprega-se apenas a diferença entre temperatura média do ar e a temperatura base, aquela abaixo da qual a cultura tem o seu desenvolvimento sensivelmente afetado, neste trabalho foi de 20°C. O modelo (B) foi o proposto por *VILLA NOVA et alii (1972)* e o modelo (C) baseou-se na fórmula de *THOM (1954)*.

Pelos resultados concluiu-se que: há uma grande relação entre tamanho da planta e temperatura, fato verificado pelos altos coeficientes de correlação obtidos; Graus Dia Acumulados constituíram-se elementos importantes para estimar o desenvolvimento da cana-de-açúcar e possivelmente o potencial de produção de uma localidade correlacionado com o índice térmico da mesma; a relação entre crescimento da planta e Graus Dia Acumulados tornou-se mais satisfatória após a cana-de-açúcar ter atingido uma altura aproximada de 30 centímetros; embora haja correlação entre graus dia e crescimento, a relação está longe de ser precisa, isto já era esperado visto ser a temperatura um dos muitos fatores que influenciam o crescimento da cana-de-açúcar; dessa forma deve-se introduzir no compute de unidades de calor outras variáveis ou fatores de correção que possam torná-la mais real; dentre os modelos analisados aquele que apresentou-se mais correlato com o desenvolvimento da cultura foi o modelo (B).

1. INTRODUÇÃO

A temperatura do ar pode ser considerada um dos elementos de clima mais importantes para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais , pois determina em grande parte, a distribuição geográfica das coberturas na turais. Desde há muito estudam-se os efeitos térmicos nos processos biolô - gicos, com crescentes avanços no conhecimento desta ação nas variações feno - lógicas do ciclo vegetativo de plantas.

Para cada processo fisiológico e para cada tipo de planta há uma faixa térmica dentro da qual o processo atinge sua maior intensidade.

A ação da temperatura no desenvolvimento da planta pode ser quantificada pela acumulação diária de graus a partir de uma temperatura ba se abaixo da qual o crescimento vegetal é severamente afetado. A abordagem do problema tem recebido inúmeras denominações: sistema de unidades de calor, sistema de unidades térmicas, soma de temperaturas e graus dia.

Esta prática proporciona uma maneira de determinar-se as exigências térmicas de uma cultura para completar estágios de seu desenvolvimento. Os produtores de milho híbrido desejam conhecer antecipadamente, a época de floração das cultivares, para programar seus cruzamentos. Os pesquisadores tentam determinar a provável duração das fases de desenvolvimento das plantas, com o objetivo de classificá-las e distribuí-las em regiões adequadas, na busca de maiores produções. Em muitos países o sistema de graus dia tem sido usado pela indústria de conservas de ervilhas e milho doce, para planejar as épocas de semeadura e colheita, com o objetivo de realizar a entrega dos produtos de acordo com a capacidade de industrialização da fábrica.

★ No Brasil iniciam-se as pesquisas neste campo e sendo a cana-de-açúcar uma das culturas mais importantes dos trópicos e de grande evidência no mundo atual, passou a ocupar, com a crise energética, um lugar de destaque na economia nacional. Isto porque a solução para a crise de combustíveis está na biomassa, especialmente da cana-de-açúcar. Nesse sentido o governo está tentando montar uma estrutura que atue concretamente na dinamização e melhoria da produção de álcool e o fundamental, no caso, é sem dúvida o investimento na área de pesquisa. Aqui, tem-se no Pró-álcool a mola propulsora para estas realizações.

Por ocupar vastas áreas de plantio em nosso país; seria de interesse que as variedades de cana-de-açúcar existentes, fossem plantadas em locais adequados às suas exigências climáticas, possibilitando um melhor desenvolvimento da cultura e a programação racional das épocas de colheita.

No presente trabalho pretende-se correlacionar o desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar com as unidades de calor acumuladas, bem como desenvolver uma metodologia simples para estudos dos efeitos da temperatura no desenvolvimento vegetal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

É sabido que as condições climáticas tem profundas influências sobre o crescimento e a produção das culturas. Todavia os conhecimentos são tais que não se sabe que elementos de clima controlam as várias fases da cultura, resultando em produção. Isto ocorre não porque este conhecimento seja desnecessário, mas porque o problema é complexo e sua solução depende de um grande número de observações realizadas regularmente durante anos.

Há uma grande variação na produção vegetal de ano para ano e de local para local. Esta variação pode ser atribuída principalmente: a) à diferenças nas condições meteorológicas; b) à fertilidade do solo e outras características; c) à uma exigência intrínseca da variedade.

O crescimento da cana-de-açúcar é governado por complexos fatores internos e externos. *DILLEWIJN (1952)* deparou com consideráveis dificuldades, pois nem sempre é fácil isolar o efeito de um único fator. A

importância dos fatores depende das condições climáticas de diferentes regiões. Nos trópicos, como em Java, as flutuações na temperatura e no comprimento do dia são pequenas mas são caracterizadas pela alternância de estações secas e úmidas e o crescimento da cana-de-açúcar é grandemente governado pela quantidade e distribuição de chuvas. Nas regiões subtropicais a situação é um pouco mais complicada, visto que invernos frios alternam-se com verões quentes. Dessa forma é possível que em uma época a chuva seja o fator limitante e em outra seja a temperatura ou o comprimento do dia.

Muitos pesquisadores tem procurado desenvolver modelos que relacionem a influência dos elementos de clima sobre o comportamento da cana-de-açúcar. *STENDER (1924)*, citado por Humbert (1968) encontrou uma boa correlação entre o crescimento do colmo e seu diâmetro com a temperatura. Suas medidas mostravam que o crescimento dos colmos primários, no inverno, foi reduzido a um terço do crescimento no verão.

RYKER e EDGERTON (1931), citados por Dillewijn (1952), relataram que a temperatura mínima para o crescimento da cana-de-açúcar é de aproximadamente $12,2^{\circ}\text{C}$, embora o brotamento possa ocorrer com temperaturas inferiores a $6,1^{\circ}\text{C}$. *WALTER (1910)*, citado por Ayyar et alii (1965), considerou 21°C como a temperatura abaixo da qual não haveria crescimento apreciável da cana-de-açúcar, utilizou somente a somatória de graus considerando a diferença entre a temperatura média diária e a temperatura base de 21°C .

SREENIVASAN e BANERJEE (1957) estudando o efeito dos elementos de clima sobre o desenvolvimento da cana-de-açúcar, desde o plantio até a colheita, concluíram que a temperatura tem grande influência na fase de crescimento. *MALLIK (1959)* trabalhou com duas variedades de cana-de-açúcar e notou que a cultura é afetada por um grande número de elementos de clima e suas interações, e que a percentagem de germinação aumenta com a máxima temperatura diária.

Temperatura, luz e umidade são os principais elementos climáticos que controlam o crescimento da cana-de-açúcar. Ela é uma planta tropical que se desenvolve melhor em áreas quentes e ensolaradas. *MANGELSDORF (1950)*, citado por Humbert (1968), caracteriza um clima ideal para a produção de cana-de-açúcar como sendo seguinte: a) um período de crescimento com verão longo e quente e precipitação adequada; b) fase de amadurecimento e colheita razoavelmente seca, ensolarada e fria, mas livre de geada; c) ausência de furacão e tempestades.

GANGOPADHYAYA e SARKER (1964a) realizaram um estudo da relação entre produção de cana-de-açúcar e as características da cultura. Determinaram uma série de curvas para prever a produção dois a três meses antes da colheita. Encontraram que as relações exponenciais tem permitido obter curvas, as quais podem ser usadas para prever a produção de maneira muito mais precisa que o método de regressão linear. *GANGOPADHYAYA e SARKER (1946b)* estabeleceram uma correlação exponencial dos efeitos de fatores meteorológicos sobre o desenvolvimento da cana-de-açúcar, observaram que os valores ótimos de temperaturas máximas e mínimas que mais influenciaram a

elongação foram: $30,8^{\circ}\text{C}$ e $20,0^{\circ}\text{C}$ respectivamente. *GLASZIOU et alii* (1965) estudando os efeitos da temperatura sobre o crescimento e maturação da cana-de-açúcar relataram que no estágio juvenil a temperatura ótima para o crescimento da planta e do colmo era de 30°C . Para plantas próximas ao estágio adulto a área foliar por colmo tende a um valor constante; a taxa de produção de novas folhas é balanceada pela senescência de folhas velhas. Neste estágio a taxa de desenvolvimento dos colmos também tende a um valor constante, o qual é independente da temperatura. Assim colmos mantidos a 22°C entram no estágio adulto com aproximadamente 200 dias, atingindo a taxa de crescimento entre 200 e 300 dias, a qual é aproximadamente igual a máxima taxa atingida a 30°C . Comparações diretas com dados de 106 a 209 dias, mostram um aparente deslocamento descendente na temperatura ótima para crescimento com aumento da idade das plantas. Assim o efeito parece ser inteiramente devido ao uso mais intenso de épocas cronológicas que fisiológicas.

Em Formosa, *SUN e CHOW* (1969), citado por Dillewijn (1952), encontraram coeficientes de correlação positivos, significativos entre elongação do colmo e temperaturas máximas e mínimas médias mensais. Os coeficientes de correlação parcial de primeira e segunda ordem entre taxa de elongação e temperatura mínima média mensal foram muito maiores que aqueles entre a taxa de elongação da cana-de-açúcar e a temperatura máxima média mensal. Em consequência disso concluíram que a temperatura mínima média foi o principal fator de controle da elongação da cana.

Estudando o crescimento da cana-de-açúcar *BORDEN et alii* (1924), citado por Humbert (1968), concluíram que há uma boa correlação entre o crescimento e a temperatura efetiva medida por graus dia. Este trabalho evidenciou claramente a influência que os elementos de clima tem sobre a produção. *AYYAR et alii* (1965) relataram que a idade da cultura é importante no estudo da influência de graus-dia sobre a elongação do colmo. A aplicação do princípio de graus-dia no Havai tem dado uma série de resultados interessantes e muitos agricultores tem adotado o método.

Em Mauritius, *HALAIS* (1935), citado por Dillewijn (1952), obteve resultados satisfatórios com o seguinte método: inicialmente para uma temperatura base de 15°C ele tomou o número de graus Celsius, o qual a temperatura máxima diária excedia a esse valor e contou o número de graus dia acima de 21°C como dobrados. Encontrou um coeficiente de correlação entre elongação média e graus dia no valor de $0,95 \pm 0,012$.

BURR et alii (1957) citado por Wilsie (1966) estudaram a resposta da cana-de-açúcar à temperatura e verificaram que o sistema radicular tinha o crescimento limitado quando a temperatura era inferior a 21°C ao passo que 26,7°C, pareceu ser a temperatura ótima para o crescimento e absorção de nutrientes. As noites frescas também limitaram o crescimento da cana; para uma temperatura média noturna de 14°C o crescimento foi somente à metade do alcançado à 23°C. A temperatura mínima para brotação é cerca de 21°C, estando à ótima compreendida entre 32,2°C e 37,8°C. *DAS* (1947), citado por Willians (1974), encontrou uma correlação inversa entre as temperaturas médias mensais e o conteúdo de açúcar no caldo da cana.

FAUCONNIER e BASSEREAU (1975) afirmaram que o crescimento da cana-de-açúcar é nulo a 18°C e normal acima de 20°C; e que o comprimento dos internódios, seu diâmetro e seu número aumentam consideravelmente à medida que a temperatura média eleva-se acima de 20°C, deste modo o comprimento da cana e o volume do talo são quatro vezes mais efetivos a 25°C que a 21°C.

LEGENDRE (1975) descreveu uma associação natural da maturação da cana com luz solar, temperatura e chuva para um período de cinco anos utilizando-se de cinco híbridos interespecíficos. Correlações parciais mostraram a independência da maturação com relação a incidência de luz solar e que as associações de maturação com temperaturas não foram muito boas. O efeito iterativo da incidência de luz solar e temperatura sobre a maturação variou com a cultivar.

DEMÉTRIO (1978) ajustou aos dados de graus dia acumulados a curva de Função Logística, concluindo que as mesmas correlacionavam-se perfeitamente aos dados de crescimento do colmo, constituindo-se em importante elemento para estimar tal característica e conseqüentemente o potencial de produção de uma região com relação ao seu valor térmico.

O método de unidades de calor vem sendo utilizado há mais de duzentos anos e representa um esquema para o estudo das relações planta e temperatura, por acúmulo da temperatura média diária acima de uma temperatura limite, durante a estação de crescimento. A soma térmica requerida por uma determinada variedade é considerada constante e denominada cons

tante varietal. Conhecendo-se esta constante pode-se prever a data na qual uma determinada cultura deve ser colhida. Esta relação linear conhecida como "método do índice residual" deu origem às expressões como graus dia, unidades de calor, unidades de crescimento e muitas outras.

O trabalho mais antigo foi realizado por Reaumur (1730), no qual a simples soma das temperaturas médias diárias era um valor aproximadamente constante para o período de desenvolvimento da planta, de ano para ano. Neste método somente eram somadas as temperaturas médias acima de zero graus centígrados.

Segundo WANG (1960), outros pesquisadores adotaram a idéia de Reaumur. Boussingault (1834) determinou que a duração do período que vai da germinação a qualquer estágio de desenvolvimento da planta é inversamente proporcional à soma das temperaturas médias diárias acima de zero grau Celsius, durante o período considerado. Fritsch (1852-1871) elaborou a seguinte constante térmica:

$$X = t + \left(\frac{ht}{12} \right) - C$$

onde X representa uma constante térmica, t é o número total de dias, C a soma total das temperaturas médias diárias, h é o número médio de horas do nascer ao por do sol para o período considerado e C a soma de temperatura do plantio a germinação. Linsser (1867-1869) publicou resultados usando as funções de Bessel e concluiu que uma determinada espécie de planta atinge o mesmo estágio de desenvolvimento vegetativo de ano para ano no momento em que a mesma temperatura diária média é atingida.

KATZ (1952), estudou as relações entre unidades de calor e crescimento de ervilhas, usando dois índices para a medida do total de calor exigido pela planta, o índice de soma direta e o índice exponencial. O primeiro é baseado na acumulação de temperatura média diária de uma temperatura base para o período de crescimento e o segundo na suposição de que as taxas de crescimento da planta segue o modelo de Van't Hoff e Arrhenius, duplicando-se com cada aumento de temperatura de 18°C . A diferença obtida por esses dois métodos foi muito pequena.

THOM (1954), citado por *HOLMES e ROBERTSON (1959)* e *PASCALE e DAMÁRIO (1971)* introduziu uma equação para o cálculo de graus dia, utilizando-se da temperatura média do mês e do desvio padrão das médias mensais. Este modelo não apresenta restrições para valores térmicos extremos.

HOOVER (1955) citado por *ARNOUD (1959)* usou um método baseado na relação entre a temperatura média e a somatória de unidades de calor. Neste método a equação de regressão é calculada usando a temperatura média como variável independente e a somatória de unidades de calor como variável dependente. O coeficiente de regressão em tal equação mostrava ser positivo se a temperatura base usada fosse muito elevada, negativo se ela fosse muito baixa e zero se a temperatura base fosse a correta.

WENT (1953) fazendo uma revisão sobre os efeitos da temperatura no crescimento das plantas disse que o método mais empregado é a soma de temperaturas médias acima de uma temperatura mínima fixa, e que certas plantas como ervilha e trigo seguem este método, mas outras como tomate e

batata onde há predominância de temperaturas noturnas para frutificação e formação de tubérculos o uso deste método não é conveniente.

Muitos trabalhos tem sido desenvolvidos sobre previsão de florescimento e maturação em várias culturas com o uso de dados de temperatura base; *WIGGANS (1956)* relatou que havia pequena variação de ano para ano no número de unidades de calor exigidas para uma variedade específica de aveia atingir a maturação. Este sistema de computação de unidades de calor foi baseado na acumulação de temperaturas acima de $4,4^{\circ}\text{C}$. *ANDREW et alii (1956)* usou unidades térmicas acumuladas para comparar estágios de maturação de dois híbridos de milho em duas localidades diferentes. Eles calcularam que as unidades térmicas acumuladas acima de uma temperatura base de 10°C foram aproximadamente iguais, em eficiência para os dois locais, na previsão da maturação. *GILMORE e ROGERS (1958)* estudaram quinze métodos para cálculo de unidades de calor acumulados em milho, mostraram que as correções para temperaturas altas e baixas poderiam aperfeiçoar o método comumente usado para computação de graus dia, isto é temperatura média menos a temperatura base. Concluíram que graus dia ou graus efetivos foram muito mais dignos de confiança que o uso de dias para previsão de datas de florescimento para diferentes datas de plantio.

O desenvolvimento fisiológico e estrutural da planta pode variar grandemente, dependendo da temperatura do ambiente. Muitas culturas crescem em condições onde a temperatura flutua amplamente *HOLMES e ROBERTSON (1959)*, relataram que além dessas oscilações de temperatura, nota-se

com relação as fases de desenvolvimento das plantas, diferenças quanto aos valores de temperaturas máximas, mínimas e ótimas. *JAWORSKI e VALLI (1964)* trabalharam com tomates e concluíram que a germinação é retardada por baixas temperaturas. Quanto a acumulação de graus dia para uma temperatura base de $7,2^{\circ}\text{C}$ usando a temperatura média do solo; $29,4^{\circ}\text{C}$ foi a temperatura média do solo mais eficiente, produzindo máxima altura de plantas e diâmetro do caule.

WANG (1960) em sua crítica sobre o método de unidades de calor resumiu as vantagens do sistema, por indicação de resposta da planta para uma mesma temperatura durante o ciclo de vida. As plantas desenvolvem-se por fase e cada fase de desenvolvimento tem a sua própria exigência, por isso um índice de crescimento para ser simples e útil deve considerar exigências médias de todos os estágios de crescimento. *WARNOCK et alii (1969)* utilizando o método de unidades de calor em tomate, tomou como base a temperatura de $7,2^{\circ}\text{C}$, mas considerando que esta não é fixa para todo o ciclo da cultura mas adapta-se bem ao cálculo do tempo necessário para a maturação. *VALLI (1965)* investigando fatores biometeorológicos para a previsão de maturação em amendoim considerou que o crescimento não é uma função linear da temperatura acima de uma base e que não existe nenhum efeito depressivo da temperatura quer ela seja alta ou baixa. Apesar da temperatura ser um elemento essencial para se computar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, o crescimento é um produto do ambiente como um todo. *HAUN (1975)* estabeleceu um modelo relacionando o crescimento da batata e o meio ambiente; concluiu que este modelo pode ser usado no estabelecimento de áreas comerciais na avaliação do potencial de novas áreas adequadas à produção de batatas.

Para o cálculo de graus dia muitos métodos tem sido desenvolvidos, com o estabelecimento de tabelas e equações para a estimativa dos valores acumulados. *BOUGHNER e KENDALL (1959)* trabalharam com graus dias no Canadá e utilizaram-se de dois métodos; um é o método usual que emprega a diferença entre a temperatura média e a temperatura base, método este também citado por *DETHIER e VITTUM (1963)*; o outro é proposto por *THOM (1954)*, o qual utiliza temperaturas médias mensais e desvios padrões das mesmas, a temperatura base usada foi 42°F. *ARNOULD (1959)* concluiu que alguns pesquisadores tem usado temperaturas bases consideradas muito altas, e sugeriu que esta temperatura para um sistema linear de unidades de calor não pode ser idêntica a todas as necessidades fisiológicas das plantas.

MILLS (1964) citado por *VALLI (1965)* definiu um sistema efetivo de unidades de calor (EHU) como sendo:

$$EHU = \frac{T_m + T_{lc} + \Delta T_{lc}}{2} - T_{lc} - \Delta T_{oc}$$

onde: T_m = temperatura máxima diária
 T_{lc} = temperatura base inferior (56°F)
 ΔT_{lc} = $T_{min.} - T_{lc}$ (somente valores positivos)
 T_{min} = temperatura mínima diária
 T_{oc} = temperatura base superior (76°F)
 T_{oc} = $T_m - T_{oc}$ (somente valores positivos).

BASKERVILLE e EMIN (1969) supõe que a curva de temperatura diária é semelhante a curva senoidal trigonométrica e calcularam o total de graus dia através da integral da área sob a curva dentro dos limites consi

derados como base, o erro admitido é de 5 %. *CROSS e ZUBER (1972)* realizaram três experimentos em dois anos diferentes e com diferentes datas de plantio para cada experimento. Estudaram vinte e dois métodos de computação de unidades térmicas para testar qual o mais apto para a previsão de florescimento; usaram dados de temperaturas diárias e horárias nas equações. Em geral as medidas diárias foram aproximadamente tão precisas quanto as medidas horárias. Concluíram que a melhor equação para previsão de datas de florescimento com base em unidades térmicas foi a que se utilizou da temperatura base de 10°C , e temperatura ótima de 30°C . Supondo uma variação linear na distribuição da temperatura do ar desde a máxima até a mínima *VILLA NOVA et alii (1972)* obtiveram geometricamente uma fórmula para o computo de graus dia, quando a temperatura base fosse menor que a temperatura mínima e uma outra quando a temperatura base fosse menor que a máxima e maior que a mínima.

FORNSTROM e POCHOP (1974) desenvolveram um modelo que relacionava a emergência da beterraba como função das unidades de calor do solo e testaram duas fórmulas para o cálculo de unidades térmicas. *STIRM e SMITH (1968)* citado por *FORNSTROM e POCHOP (1974)* indicaram que a germinação do milho iniciou-se quando a temperatura mínima do solo atingiu 50 a 52°F .

Desenvolvendo um método para a estimativa do número de horas abaixo de uma temperatura limite *ARON (1975)* desenvolveu três equações empíricas para a estimativa de graus dia considerando como temperatura ba-

se 45°C ; os coeficientes de correlação dessas equações foram: 0,979, 0,988 e 0,989. *MAJOR et alii* (1975) estudaram os efeitos do comprimento do dia e da temperatura no desenvolvimento da soja. Testaram três métodos de previsão de desenvolvimento: Análise de Regressão Iterativa (IRA), dias e graus dia. Concluíram que o método IRA é mais preciso na previsão do desenvolvimento que os demais métodos estudados.

MOTA et alii (1977) estabeleceram a soma de graus dia para temperaturas base inferior de 5°C , 10°C , $12,8^{\circ}\text{C}$ e 15°C para algumas localidades brasileiras através do método de *THOM* (1954). Concluíram que houve perfeita concordância entre as somas mensais de temperaturas calculadas a partir de resíduos diários e as calculadas pelo método de *THOM* (1954).

IDSO et alii (1978) combinaram a aproximação clássica de graus dia para previsão de estágios de desenvolvimento com uma recente aproximação de stress de graus dia para determinação de stress hídrico em plantas. Segundo eles, esta é uma contribuição mais precisa aos estudos de fisiologia vegetal. *TYLDESLEY* (1978) estabeleceu uma série de relações para avaliar os efeitos da temperatura sobre um organismo quando a resposta não é linear; o método consiste do cálculo de temperaturas acumuladas onde a onda de temperatura diária é representada por uma senoide.

NEWMAN et alii (1970) trabalhando com previsão de maturação em laranjas, concluíram que o balanço de radiação de onda curta sobre uma superfície vegetada é o melhor índice climático correlacionado com a maturação das mesmas. Outros modelos baseados em radiação solar foram desenvol

vidos, *WALTER (1969)* correlacionou graus hora com radiação de onda curta, a curva ajustada foi um polinômio ortogonal de terceira ordem com um bom grau de ajuste ($r = 0,984$); ao passo que *HUXLEY (1973)* trabalhando em Kampala, não encontrou boa correlação entre valores diários de graus hora e radiação solar de onda curta. *GOMES (1977)* estudou correlações entre valores de balanço de radiação de onda curta acumulado, graus dia acumulados e duração de cada fase de desenvolvimento de soja. Considerou os valores acumulados em cada fase definidos como índices de desenvolvimento. O autor concluiu que o índice de desenvolvimento que melhor se ajusta para equações de estimativa é o que envolve balanço de radiação de onda curta. *HARTZ et alii (1978)* combinaram efeitos de temperatura durante a estação de crescimento com a variável insolação, combinação esta que forneceu uma boa estimativa da produção de batatas. O modelo foi altamente significativo, com um coeficiente de correlação igual a 0,93.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Material

Os ensaios foram conduzidos em duas localidades: Usina São José, município de Macatuba, situado numa latitude de $22^{\circ}30'22''\text{S}$ e longitude de $48^{\circ}42'45''\text{W}$ e Usina São Martinho, município de Pradópolis, localizado a uma latitude de $21^{\circ}15'22''\text{S}$ e longitude de $48^{\circ}18'58''\text{W}$. Nos dois locais foram plantadas nove variedades de cana-de-açúcar, em canteiros com 15 metros de comprimento e 10 metros de largura cada um, num solo classificado como Latossol Roxo.

As variedades utilizadas foram as seguintes Usina São José: CB 47-355; CB 41-76; CB 40-13; IAC 52-326; IAC 51-205; CO-740, NA 56-62 ; CB 46-47; CB 45-155; Usina São Martinho: CB-47-355; CB 46-47; CB 41-76 ; CO-740; NA 56-62; CO-775; CB 56-126; CB 49-260; CB 52-326.

O espaçamento de plantio foi o usual, 1,50 metros entre sulcos. Os toletes foram plantados a uma profundidade de 20 centímetros, para evitar o acamamento das touceiras.

Na região Centro-Sul do Brasil temos duas épocas de plantio: setembro-outubro para cana de ano, situação em que se enquadra a Usina São José, e janeiro-março para cana de ano e meio, caso da Usina São Martinho.

Na primeira época o tolete encontra boas condições de calor e umidade e em 20 dias dá-se a emergência. Até o mês de abril ocorre um crescimento rápido. A partir daí torna-se lento, criando-se condições para o início da maturação. A colheita inicia-se no mês de agosto.

Na segunda época o tolete germina e tem um desenvolvimento vegetativo que tende a diminuir com a chegada dos meses de baixa temperatura (abril-julho). A partir de setembro a planta aproveitando-se da abundância de calor e umidade recomeça o seu desenvolvimento vegetativo, atingindo a maturação nos meses de julho-agosto do ano seguinte. A colheita é realizada em setembro.

Como todas as plantas, a cana-de-açúcar necessita além de umidade e temperatura, um bom preparo de solo, para que ocorra boa germinação, condições de maior contato do tolete com o solo e um sistema radicular mais profundo.

Nesta pesquisa o preparo do solo foi realizado conforme o método convencional, o qual constou de uma subsolagem, pois os solos em questão sendo argilosos poderiam estar sujeitos a compactação mecânica, após uma aração seguida de gradagem.

Nas duas localidades, as estações agrometeorológicas onde foram coletados os dados, estavam localizadas próximas as áreas de plantio.

Obteve-se dados referentes a: temperaturas diárias máximas e mínimas do ar em abrigo termométrico, num conjunto de termômetros Fuess graduados em $0,2^{\circ}\text{C}$, e precipitação total de 24 horas em pluviômetro instalado a 1,50 metros do solo.

Quanto a análise de crescimento, coletou-se dados relativos a cultura de cana-de-açúcar para que pudessemos estabelecer correlações entre o desenvolvimento da cultura e graus dia acumulados.

Os dados obtidos mensalmente, a partir do plantio até próximo a época de maturação foram: comprimento e largura média da folha para fins de cálculo de área foliar; altura da planta medida da superfície à inserção da primeira folha (Dew lap) e altura do colmo.

3.2. Métodos

3.2.1. Estimativa de graus dia

Graus dia acumulados foram calculados utilizando-se de temperaturas máxima e mínima diária do ar, obtidas em abrigo meteorológico e acumuladas para cada uma das épocas de amostragem, utilizando-se três modelos.

Modelo (A) utilizado por *BOUGHNER e KENDALL (1959)*, *DETHIER e VITTUM (1963)* e *MAJOR et alii (1975)*. Emprega apenas a diferença entre temperatura média do ar e a temperatura base, aquela abaixo da qual a cultura tem o seu desenvolvimento sensivelmente afetado.

$$GD = \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - T_b$$

onde: GD = Graus Dia Acumulado

$T_{\max}$ = Temperatura máxima diária do ar

$T_{\min}$ = Temperatura mínima diária do ar

T_b = Temperatura base

A temperatura base escolhida para a cultura de cana-de-açúcar foi de 20°C conforme *WALTER (1910)* citado por *AYYAR et alii (1965)* e *BACCHI et alii (1977)*.

Neste modelo quando a temperatura média diária era menor que a temperatura base, considerou-se a diferença como sendo de valor zero, para que não se computasse valor negativo de graus dia.

Modelo (B) proposto por *VILLA NOVA et alii* (1972):

$$GD = T_m - T_B + \frac{T_M - T_m}{2} \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$GD = \frac{(T_M - T_B)^2}{2(T_M - T_m)} \quad \text{-----} \quad (2)$$

onde: GD = Graus Dias Acumulados

T_M = Temperatura máxima diária do ar

T_m = Temperatura mínima diária do ar

T_B = Temperatura base

(1) = Equação usada quando $T_B \leq T_m$

(2) = Equação usada quando $T_M \geq T_B > T_m$

Modelo (C) baseado na fórmula de *THOM* (1954) citado por *HOLMES* e *ROBERTSON* (1959) e *PASCALE* e *DAMÁRIO* (1971):

$$D = N (\bar{t} - b) + L \delta \quad N$$

onde: D = Graus Dia Acumulados para o período

$\bar{t}$ = Temperatura média do período

- N = Número de dias do período
 b = Temperatura base
 δ = Desvio padrão da temperatura média
 L = Coeficiente de proporcionalidade obtido da tabela (8), o qual
 é função de H:

$$H = \frac{(\bar{t} - b)}{\delta N}$$

3.2.2. Análise de distribuição da precipitação e da variação da temperatura do ar

A precipitação de 24 horas foi observada durante o tempo de duração do trabalho e plotada como total semanal de maneira a permitir uma análise das condições hídricas do solo.

O comportamento térmico do ar foi analisado com base em observações diárias através de temperaturas máximas e mínimas, plotadas através de médias semanais, durante o tempo de duração do ensaio para as duas localidades.

3.2.3. Análise de crescimento

A altura do colmo foi medida a partir da base da planta à extremidade inicial do palmito.

A altura da planta foi obtida medindo-a a partir da superfície do solo até a inserção da primeira folha (Dew lap).

O método para a estimativa da área foliar foi baseado em FRANCIS *et alii* (1969) citado por CASTRO *et alii* (1977) os quais utilizaram a seguinte equação: $(0,75 \times \text{comprimento da folha} \times \text{largura média foliar})$.

3.2.4. Análise estatística

O autor estimou o grau de correlação entre altura da planta, altura do colmo, área foliar e graus dia acumulados pelos três modelos propostos.

O coeficiente de correlação "r" e o teste de significância "t" são obtidos da seguinte forma:

$$r = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sqrt{\hat{V}(x) \cdot \hat{V}(y)}}$$

$$t = \frac{r}{\sqrt{1 - r^2}} \cdot \sqrt{N-2}$$

onde: r = coeficiente de correlação
 cov(x,y) = covariância de x em relação a y
 $\hat{V}(x)$ = variância de x
 $\hat{V}(y)$ = variância de y
 t = teste de significância
 N = número de dados do teste.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos neste trabalho são apresentados nas Tabelas e Figuras a seguir.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os valores de graus dia acumulados utilizando-se três métodos nas duas localidades.

As Tabelas de 3 a 8 mostram os valores dos coeficientes de correlação para Macatuba e Pradópolis.

As Figuras 1 e 2 apresentam para as duas localidades, a variação das precipitações e das médias semanais de temperaturas máximas e mínimas do ar.

Nas Figuras de 3 a 8 são mostradas as curvas de crescimento da cana-de-açúcar em função da época de amostragem e as curvas de graus dia acumulados pelos três modelos.

As Figuras de 9 a 14 apresentam o desenvolvimento do colmo e graus dia acumulados.

Área foliar e graus dia acumulados são mostrados nas Figuras de 15 a 20.

Tabela 1 - Total de graus dia por época e acumulados, considerando os três modelos.

Local: Macatuba.

Épocas	Modelo (A)		Modelo (B)		Modelo (C)	
	GD/época	GD acumulados	GD/época	GD acumulados	GD/época	GD acumulados
19/12/73	257,5	257,5	283,88	283,88	472,93	472,93
24/11/74	186,5	444,0	190,58	474,46	335,52	808,45
15/12/74	140,0	584,0	141,10	615,56	251,90	1060,35
18/04/74	330,5	914,5	340,90	956,46	627,65	1688,00
23/05/74	70,1	984,6	123,90	1080,36	153,14	1841,14
17/07/74	16,7	1001,3	66,60	1146,96	111,84	1952,98
23/08/74	13,8	1015,1	72,20	1219,16	65,90	2018,88

Tabela 2 - Total de graus dia por época e acumulados, considerando os três modelos.

Local: Pradópolis.

Épocas	Modelo (A)		Modelo (B)		Modelo (C)	
	GD/época	GD acumulados	GD/época	GD acumulados	GD/época	GD acumulado
21/05/74	71,5	71,5	133,97	133,97	294,38	294,38
19/06/74	0,0	71,5	7,58	141,25	4,41	298,79
16/07/74	0,0	71,5	14,76	156,01	0,20	298,99
14/02/75	366,5	43,8	586,21	742,22	2072,86	2371,85
25/03/75	107,2	545,2	123,34	865,56	199,90	2571,75
30/04/75	50,0	595,2	94,20	959,76	54,25	2626,00
28/05/75	0,5	595,7	19,46	979,22	13,03	2639,03
13/06/75	3,5	598,9	21,65	1000,87	12,13	2651,16

Tabela 3 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (A) e as interações de graus dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar.

Local: Macatuba.

Variedades	Comprimento da planta	Graus dia acumulados	Altura do colmo	Graus dia x acumulados	Área foliar	Graus dia x acumulados
CB 47-355	0,8886			0,9455		0,8886
CB 46-47	0,9973			0,9586		0,9973
CB 45-155	0,9951			0,9595		0,9951
CB 40-13	0,9026			0,9599		0,9026
CB 41-76	0,9914			0,9922		0,9914
IAC 52-326	0,9855			0,9811		0,9855
IAC 51-205	0,9595			0,8160		0,9595
CO 740	0,9019			0,9399		0,9019
NA 56-62	0,9964			0,9443		0,9964

Tabela 4 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (A) e as interações de graus dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar.

Local: Pradópolis.

Variedades	Comprimento da planta	Graus dia x acumulados	Altura do colmo	Graus dia x acumulados	Área foliar	Graus dia x acumulados
CB 47-355		0,9959		0,9168		0,9865
CB 46-47		0,9971		0,8808		0,9755
CB 41-76		0,9974		0,9279		0,9808
CO 740		0,9859		0,8553		0,9919
NA 5662		0,9917		0,9173		0,9836
CO 775		0,9784		0,9007		0,9851
CB 56-326		0,9963		0,8687		0,9818
CB 49-260		0,9917		0,9007		0,9928
CB 52-326		0,9920		0,8793		0,9737

Tabela 5 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (B) e as interações de graus dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar.

Local: Macatuba.

Variedades	Comprimento da planta	Graus dia x acumulados	Altura do colmo	Graus dia x acumulados	Área foliar	Graus dia x acumulados
CB 47-355	0,9348			0,9963		0,7970
CB 46-47	0,9950			0,9986		0,6670
CB 45-155	0,9961			0,9988		0,9145
CB 40-13	0,9443			0,9974		0,6664
CB 41-76	0,9945			0,9995		0,7205
IAC 52-326	0,9926			0,9982		0,8482
IAC 51-205	0,9851			0,9013		0,7977
CO 740	0,9438			0,9936		0,7325
NA 56-62	0,9799			0,9958		0,7126

Tabela 6 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (B) e as interações de graus dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar.

Local: Pradópolis.

Variedades	Comprimento x da planta	Graus dia acumulados	Altura do colmo	Graus dia x acumulados	Área foliar x	Graus dia acumulado
CB 47-355	0,9924			0,9768		0,9908
CB 46-47	0,9993			0,9560		0,9815
CB 41-76	0,9985			0,9824		0,9861
CO 740	0,9895			0,9362		0,9950
NA 56-62	0,9955			0,9728		0,9886
CO 775	0,9821			0,9616		0,9898
CB 56-126	0,9986			0,9471		0,9874
CB 49-260	0,9956			0,9664		0,9952
CB 52-326	0,9957			0,9553		0,9800

Tabela 7 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (C) e as interações de graus dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar.

Local: Macatuba.

Variedades	Comprimento da planta	Graus dia x acumulados	Altura do colmo	Graus dia x acumulados	Área foliar	Graus dia x acumulados
CB 47-355		0,9207		0,9745		0,8302
CB 46-47		0,9984		0,9910		0,6957
CB 45-155		0,9985		0,9958		0,9324
CB 40-13		0,9322		0,9875		0,6963
CB 41-76		0,9957		0,9960		0,7455
IAC 52-326		0,9932		0,9967		0,8759
IAC 51-205		0,9772		0,8631		0,8297
CO 740		0,9314		0,9828		0,7613
NA 56-62		0,9796		0,9872		0,7449

Tabela 8 - Valores dos coeficientes de correlação para cada variedade, considerando-se o modelo (C) e as interações de graus dia com comprimento da planta, altura do colmo e área foliar.

Local: Pradópolis.

Variedades	Comprimento da planta	Graus dia x acumulados	Altura do colmo	Graus dia x acumulado	Área foliar	Graus dia x acumulados
CB 47-355		0,9842		0,9068		0,9868
CB 46-47		0,9906		0,8698		0,9749
CB 41-76		0,9838		0,9182		0,9820
CO 740		0,9668		0,8372		0,9921
NA 56-62		0,9781		0,8972		0,9839
CO 775		0,9558		0,8893		0,9854
CB 56-126		0,9856		0,8582		0,9828
CB 49-260		0,9934		0,8791		0,9923
CB 52-326		0,9777		0,8639		0,9733

Figura 1 - Variação das precipitações e das temperaturas máximas e mínimas semanais do ar. (Período: 01 de outubro de 1973 a 19 de agosto de 1974).

Local: Macatuba.

Figura 2 - Variação das precipitações e das temperaturas máximas e mínimas semanais do ar.
 (Período: 01 de março de 1974 a 27 de junho de 1975).
 Local: Pradópolis.

Figura 3 - Curva de graus dia acumulados comparada com a do crescimento das variedades CB 47-355; CB 40-13; CB 41-76.

Local: Macatuba.

Figura 4 - Curva de graus dia acumulados comparada com a do crescimento das variedades CB 46-47; CB 45-155; IAC 52-326.

Local: Macatuba.

Figura 5 - Curva dos graus dia acumulados comparada com a do crescimento das variedades CO-740; IAC 51-205; NA 56-62.

Local: Macatuba.

Figura 6 - Curva dos graus dia acumulados comparada com a do crescimento das variedades: CB 47-355; CB 46-47; CB 56-126.

Local: Pradópolis.

Figura 7 - Curva de graus dia acumulados, comparada com a do crescimento das variedades: CB 49-260; CB 41-76; CB 52-326.

Local: Pradópolis.

Figura 8 - Curva de graus dia acumulados, comparada com a do crescimento das variedades: CO 775; CO 740; NA 56-62.

Local: Pradópolis.

Figura 9 - Curva de graus dia acumulados, comparada com desenvolvimento do colmo das variedades: CB 47-355; CB 40-13; CB 41-76.
Local: Macatuba.

Figura 10 - Curva de graus dia acumulados, comparada com desenvolvimento do colmo das variedades *CB 46-47*; *CB 45-155*; *CO 740*.
Local: Macatuba.

Figura 11 - Curva de graus dia acumulados, comparada com desenvolvimento do colmo das variedades: *IAC 51-205*; *IAC 52-326*; *NA 56-62*.
Local: Macatuba.

Figura 12 - Curva de graus dia acumulados, comparada com desenvolvimento do colmo das variedades: CB 49-260; CB 41-76; CB 52-326. Local: Pradópolis.

Figura 13 - Curva de graus dia acumulados comparada com desenvolvimento do colmo das variedades: CB 47-355; CB 46-47; CB 56-126. Local: Pradópolis.

Figura 14 - Curva de graus dia acumulados, comparada com desenvolvimento do colmo das variedades: CO 775; CO 740; NA 56-62.
Local: Pradópolis.

Figura 15 - Curva de graus dia acumulados, comparada com área foliar das variedades: CB 47-355; CB 40-13; CB 41-76.

Local: Macatuba.

Figura 16 - Curva de graus dia acumulados comparada com área foliar das variedades: CB 46-47; CB 45-155; CO 740.

Local: Macatuba.

Figura 17 - Curva de graus dia acumulados, comparada com área foliar das variedades: IAC 51-205; IAC 52-326; NA 56-62.

Local: Macatuba.

Figura 18 - Curva de graus dia acumulados comparada com área foliar das variedades: CB 49-260; CB 41-76; CB 52-326.

Local: Pradópolis.

Figura 19 - Curva de graus dia acumulados, comparada com área foliar das variedades: CB 47-355; CB 46-47; CB 56-126.
Local: Pradópolis.

Figura 20 - Curva de graus dia acumulados, comparada com área foliar das variedades: CO 775; CO 740; NA 56-62.

Local: Pradópolis.

5. DISCUSSÃO

A discussão dos resultados visa o esclarecimento quanto as condições de utilização de um método simples e que leve em consideração uma variável de fácil obtenção em qualquer posto de observação meteorológica.

Quanto aos métodos utilizados neste trabalho, podemos salientar que são todos de uso corriqueiro nas atividades agrometeorológicas, seja para a previsão de florescimento, maturação ou zoneamento agrícola.

Os valores de graus dia acumulados obtidos através dos três modelos diferem grandemente entre si em valor absoluto, como se pode ver nas Tabelas 1 e 2.

O modelo (A) é o de mais fácil emprego, e também aquele que no final do ciclo das culturas apresentou o menor valor de graus dia acumulados, pois não se levou em consideração temperaturas médias abaixo da considerada base.

Com relação ao modelo (B) desenvolvido por *VILLA NOVA et alii* (1972) e testado no presente trabalho, foi utilizado temperaturas médias abaixo da temperatura base, desprezando-se apenas os valores de temperaturas máximas abaixo do valor base estipulado, dessa forma a somatória total de graus dia acumulados foi maior que o modelo anterior.

Quanto ao modelo (C) citado por *THOM* (1954), o mesmo apresentou um total de unidades de calor acumuladas para as duas localidades, muito mais elevadas que os outros modelos A e B, por utilizar nos cálculos todas as temperaturas do período em estudo; sem restrições de valores.

No que tange a amplitude térmica média para as duas localidades constatou-se pelas Figuras 1 e 2 que a maior foi a do município de Macatuba, durante o período considerado, apesar da localidade de Pradópolis apresentar os menores valores de temperaturas mínimas do ar.

Em ambos os locais a precipitação foi bem distribuída durante o ciclo da cultura, sendo razoável nas épocas de desenvolvimento vegetativo e reduzida próximo à maturação e colheita o que nos levou a crer que o regime hídrico não afetou o desenvolvimento da cultura.

Nas Tabelas 3 e 4 os coeficientes de correlação obtidos para as duas localidades, foram altamente significativos quanto ao índice comprimento da planta para Macatuba, com um nível de significância de 0,1 % para as variedades *CB 41-76*, *IAC 52-326*, *IAC 51-205*, *CO 740* e *NA 56-62* e 1 % para *CB 47-355*, *CB 46-47* e *CB 45-155*. Comprimento da planta e área foliar em

Pradópolis foram os Índices que apresentaram correlações mais significativas a nível de 0,1 % e 1 % respectivamente para todas as variedades estudadas.

Altura de colmo e área foliar apresentaram valores altos de correlação para Macatuba mas com um nível de significância baixo e muito variado, quando graus dia foram calculados pelo modelo (A). Ao passo que na localidade de Pradópolis apenas a altura do colmo apresentou baixo coeficiente de correlação para o mesmo modelo.

O modelo (B) apresentou para as duas localidades correlações mais uniformes aos Índices analisados (Tabelas 5 e 6), sendo que em Macatuba tivemos um nível de significância de 0,1 % e 1 % para comprimento da planta e altura do colmo respectivamente, o mesmo ocorrendo em Pradópolis. Para a primeira localidade os coeficientes de correlação entre área foliar e graus dia acumulados foram baixos e desuniformes quanto ao nível de significância, os quais variaram de 5 % a 10 %.

Os coeficientes de correlação apresentados nas Tabelas 7 e 8 referem-se ao modelo (C) onde encontrou-se valores altamente significativos para comprimento da planta nas duas localidades.

Em Macatuba a área foliar apresentou correlação desuniforme e valores baixos, o mesmo ocorrendo com altura de colmo em Pradópolis, onde o nível de significância esteve em torno de 10 %.

Dos índices de crescimento estudados, o que apresentou melhores coeficientes de correlação e altos níveis de significância foi comprimento da planta, com exceção para o município de Macatuba onde as variedades *CB 47-355*, *CB 40-13* e *CO 740* apresentaram baixa correlação e significância quando comparadas com as demais no mesmo local.

Analisando as curvas de crescimento das variedades para os locais estudados, Figuras 3 a 8, notamos que no início do desenvolvimento não há correlação satisfatória entre a temperatura e a planta, isto ocorreu após a mesma ter atingido uma altura de aproximadamente 30 centímetros, estágio no qual há maior interação planta-ambiente.

Para Macatuba as variedades que apresentaram maiores relações com temperatura no final do ciclo foram *CB 41-76*, *CB 45-155*, *IAC 52-326* e *NA 56-62*. Na localidade de Pradópolis foram: *CB 41-76*, *CB 46-47*, *CB 47-355*, *CB 56-123*. Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com os de *HALAIS (1935)* citado por *DILLEWIJN (1952)* e *BORDEN et alii (1924)* citado por *HUMBERT (1968)*.

Quanto ao índice altura do colmo (Figuras 9 a 14), os valores dos coeficientes de correlação estão de acordo com *STENDER (1924)* citado por *HUMBERT (1968)* com exceção à localidade de Pradópolis quando se utilizou para o computo de graus dia os modelos (A) e (C).

Com relação à área foliar (Figuras 15 a 20) notou-se que para Macatuba inicialmente o desenvolvimento foi normal, aumentando com o decorrer do tempo; em certo instante houve um decréscimo até certo ponto repentino seguido de um novo aumento, isto ocorreu para todas as variedades com exceção à CO 740 que manteve a área foliar constante, fato este que está de acordo com GLASZIOU *et alii* (1968). Isto ocorreu numa época de temperaturas baixas e de pouca precipitação, o que talvez tivesse favorecido esse fenômeno.

Para a localidade de Pradópolis não houve restrições quanto à área foliar, apesar do número reduzido de épocas de amostragem os resultados concordaram com a literatura.

6. CONCLUSÕES

Considerando-se o material, os métodos utilizados e os resultados obtidos e analisados, podemos concluir:

- Os modelos expostos no presente trabalho mostraram ser viáveis para o cálculo de graus dia acumulados em diferentes épocas de amostragem.
- Existiu uma grande relação entre tamanho da planta e temperatura, fato verificado pelos altos coeficientes de correlação obtidos.
- Graus dia acumulados constituíram-se como elementos importantes para estimar o desenvolvimento da cana-de-açúcar e possivelmente o potencial de produção de uma localidade correlacionado ao índice térmico da mesma.
- A relação entre crescimento da planta e graus dia acumulados tornou-se mais satisfatória após a cana-de-açúcar ter atingido uma altura aproximada de 30 centímetros.

- Embora haja correlação entre graus dia e crescimento, a relação está longe de ser precisa; isto já era esperado visto ser a temperatura um dos muitos fatores que influenciam o crescimento da cana-de-açúcar. Dessa forma deve-se introduzir no computo de unidades de calor outras variáveis ou fatores de correção que possam torná-la mais real.
- Dentre os modelos analisados aquele que ^{se}apresentou-se mais correlato com o desenvolvimento da cultura foi o modelo (B).

7. SUMMARY

The objectives of the present work were to correlate sugarcane development with accumulated heat units and develop a methodology for studying temperature effects on plant growth.

The experiments were conducted at Usina São José, in Macatuba and Usina São Martinho, Pradópolis, both in the State of São Paulo.

Nine varieties of sugarcane were planted at each site, distributed as follows: Usina São José - CB 47-355; CB 41-76, CB 40-13, CB 46-47, CB 45-155, IAC 52-326, IAC 51-205, CO 740 and NA 56-62; Usina São Martinho - CB 47-355, CB 41-76, CB 46-47, CB 56-126, CB 49-260, IAC 59-326, CO 740, CO 775, NA 56-62.

In the South-Center region of Brazil are adapted two planting seasons: 1) September/October for one-year sugarcane, and 2) January/March for 1 1/2-year sugarcane. The experiment at Usina São José is in the first case and the experiment at São Martinho in the second.

Estimates of accumulated degree-days were made by utilizing three models: 1) Model A, which uses only the difference between mean air temperature and base temperature, below which the crop development is seriously affected. The base temperature in this work was 20°C; 2) Model B, proposed by *VILLA NOVA et alii* (1972) and 3) Model C, based on Thom's formula (1954).

From the results obtained, the following conclusions can be drawn: a) a marked relationship exists between plant size and temperature, which was evidenced by the high correlation coefficients obtained; b) accumulated degree-days is an important index to estimate sugarcane development and possibly the production potencial of an area corelated with this area's own thermal characteristic; c) the relationship between plant growth and accumulated degree-days became more satisfactory after the plants reached an approximate height of 30 cm; d) even though a correlation exists between degree-days and plant growth, the relationship is far from precise; this was expected, in view of the fact that temperature is one the factors which influence sugarcane growth. Thus, other variables or correction factors must be introduced when computing heat units, to make computation more real; e) model B showed to be the most closely correlated with crop development.

8. LITERATURA CITADA

ANDREW, R.P.; F.P. FERWERDA e A.M. STROMMEN. 1956. Maturation and yield of corn as influenced by climate and production technique. Agron. Journal 48, 231-236.

ARNOLD, C.Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 74: 430-445.

ARNOLD, C.Y. 1960. Maximum - Minimum temperature as a basis for computing heat units. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 76: 682-692.

ARON, R.H. 1975. A method for estimating the number of hours below a selected temperature threshold. J. Appl. Meteorol. 14(8): 1415-1418.

AYYAR, P.S.HARIHARA, G. RAMA RAO e J.R. BANERJI. 1965. Influence of day-degree on the elongation of sugarcane. The Indian Sugarcane Journal. Vol. IX 212-216.

BACCHI, O.O.S. e J.A.G.C. SOUSA. 1977. Minimum threshold temperature for sugarcane growth. In: XVI Congresso da ISSCT COPERSUCAR/STAB, Brasil.

BASKERVILLE, G.L. e P. EMIN. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperature. Ecology 50 (3): 514-517.

BOUGHNER, C.C. e G.R. KENDALL. 1959. Growing degree-day in Canada. Meteorological Branch-Canada.

CASTRO, P.R.C.; A.A. LUCCHESI; E. ALVES e S.B. PARANHOS. 1977. Análise de crescimento da cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro. 6: 26-30.

CROSS, H.Z. e M.S. ZUBER. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. Agron. Journal 64: 351-355.

DILLEWIJN, C. 1952. Botany of sugarcane. Walthman, Chronica Botanica.

DEMÉTRIO, V.A. 1978. Efeito da água do solo e temperatura ambiente no rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Tese de doutoramento 98 p.

DETHIER, B.E. e M.T. VITTUM. 1963. Growing degree days. Northeast regional research publication. Bulletin 801. 1-84.

FAUCONNIER, R. e D. BASSEREAU. 1975. La canã de azúcar. Barcelona, Editorial Blume. 433 p.

FORNSTROM, K.J. e L.O. POCHOP. 1974. An emergence temperature model for sugar beets. TRANSACTIONS of the ASAE 761-764.

GANGOPADHYAYA, M. e R.P. SARKER. 1964a. A curvilinear study of yield with reference to crop-characteristics-sugarcane. Indian Journal of meteorology and geophysics 15(2): 201-214.

GANGOPADHYAYA, M. e R.P. SARKER. 1964b. A curvilinear study on the effect of weather growth of sugarcane. Indian Journal of meteorology and geophysics 15(2): 215-226.

GILMORE, E.C. e J.S. ROGERS. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agron. Journal 50: 611-615.

GLASZIOU, K.T.; T.A. BULL; M.D. HATCH e P.C. WHITEMAN. 1965. Effects temperature, photoperiod duration and diurnal and seasonal temperature changes on growth and ripening. Aust. J. Biol. 18: 53-66.

GOMES, J. 1977. Estudos de unidades de calor em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Tese de Mestrado. 49 p.

HAUN, J.R. 1975. Potato growth - Environment relationships. Agricultural Meteorology 15:325-332.

HARTZ, T.K. e F.D. MOORE. 1978. Prediction of potato yield using temperature and insolation data. American Potato Journal 55: 431-436.

HOLMES, R.M. e G.W. ROBERTSON. 1959. Heat unit and crop growth Ottawa-Canada. Department of Agriculture Publ. n° 1042.

HUMBERT, R.P. 1968. The growing of sugarcane. Amsterdam, Elsevier.

HUXLEY, P.A. 1973. Incoming solar radiation and degree hours of temperature near Kampala, Uganda. Agricultural Meteorology 11: 437-443.

IDSO, J.B.; R.D. REGINATO. 1978. Extending the "Degree Day" concept of plant phenological development to include water stress effects. Ecology 59(3) 431-433.

JAWORSKI, C.A. e V.J. VALLI. 1964. Tomato seed germination and plant growth in relation to soil temperatures and phosphorus levels. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 77:177-183.

KATZ, Y.H. 1962. The relationship between heat unit accumulation and the planting and harvesting of canning peas. Agron. Journal 74-78.

LEGENDRE, B.L. 1975. Ripening of sugarcane: Effects of sunlight, temperature and rainfall. Crop Science. 15:349-352.

MAJOR, C.J.; D.R. JOHNSON; J.W. TANNER e I.C. ANDERSON. 1975. Effects of daylength and temperature on soybean development. Crop Science 15: 174-179.

MALLIK, A.K. 1959. Crop-weather observations on sugarcane. Indian of sugarcane research and development. Vol. III, Part 4, 207-214.

MOTA, F.S. da; M.J.C. ACOSTA; J. ELLIS e A. de S. VALENÇA. 1977. Disponibilidades térmicas para a Agricultura nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro. Ciência e Cultura 29(9): 1006-1020.

NEWMAN, J.E.; W.C. COOPER; W. REUTHER; G.A. CAHOON e A. PEYNADO. 1970. Orange fruit maturity and net heat accumulations. Ground Level Climatology 127-147.

PASCALE, A.J. e E.A. DAMÁRIO. 1971. Estimación de suma de temperaturas efectivas normales par estudios agroclimáticos. Revista de la Facultad de Agronomia y Veterinaria de Buenos Aires 19(3): 109-124.

SREENIVASAN, P.S. e J.R. BANERJEE. 1957. A preliminary study of the growth and yield of sugarcane crop en relation to weather at crop wether stations in India. Proceedings on the Third Biennial Conference of Sugarcane Research and Development Workers held at Pusa, Bihar (India), 9 p.

THOM, H.C.S. 1954. The rlational relationship between heating degree days and temperature. Monthly Weather Review, 82:1-6.

TYLDESLEY, J.B. 1978. A method of evaluating the effect of temperature on an organism when the response is Non-linear. Agricultural Meteorol. 19:137-153.

VALLI, J.Y. 1965. Biometeorological factors as predictors of Agronomic maturity of peanuts. Washington, USA, Technical note 6-AGMET-2. 5 p.

VILLA NOVA, N.A.; M.J. PEDRO Jr.; A.R. PEREIRA e J.C. OMETTO. 1972.

Estimativa de graus dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máximas e mínimas. 309 Caderno de Ciência da Terra 8 p. Instituto de Geografia, USP.

WALTER, A. 1969. A relation between incoming solar radiation and degree-hours of temperature. Agric. Meteorol. 6: 435-438.

WANG, J.Y. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. Ecology 41 (4): 785-790.

WARNOCK, S.J. e R.L. ISAACS. 1969. A linear heat unit system for tomatoes in California. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94(6): 677-678.

WENT, F.W. 1953. The effect of temperature on plant growth. Annual Review of Plant Physiology 4: 347-362.

WIGGANS, S.C. 1956. The effect of seasonal temperatures on maturity of oats planted at different dates. Agron. Journal 48: 21-25.

WILLIAMS, C.N. e K.T. JOSEPH. 1974. Climate, soil and crop production in the humid tropics. Oxford University Press, Ely House, London. 102 p.

WILSIE, C.P. 1966. Cultivos: Aclimatación y distribución, pag. 217-218. Editorial Acribia-Zaragoza (España).

APENDICE

Tabela 9 - Valores de POL: porcentagem de sacarose aparente; TPH: tonelada de pol por hectare e TCH: tonelada de cana por hectare.
Local: Macatuba.

Variedades		POL	PPH	TCH
CB	47-355	14,83	9,06	61,06
CB	46-47	15,20	8,90	58,89
CB	45-155	15,79	8,79	55,69
CB	40-13	14,68	7,91	53,91
CB	41-76	14,23	8,01	56,13
IAC	52-326	15,52	8,40	54,14
IAC	51-205	15,21	8,65	56,92
CO	740	16,16	10,03	62,00
NA	56-62	16,45	9,75	59,28

Tabela 10 - Valores de POL: Porcentagem de sacarose aparente; TPH: Tonelada de pol por hectare; TCH: Tonelada de cana por hectare.
Local: Pradópolis.

Variedades	POL	TPH	TCH
<i>CB 47-355</i>	14,66	14,70	100,37
<i>CB 46-47</i>	19,06	15,17	92,83
<i>CB 41-76</i>	13,66	14,50	106,04
<i>CO 740</i>	17,78	19,41	131,49
<i>NA 56-62</i>	15,76	18,64	119,08
<i>CO 775</i>	16,46	18,42	112,00
<i>CB 56-126</i>	14,27	17,56	123,16
<i>CB 49-260</i>	12,93	16,11	115,66
<i>CB 52-326</i>	15,33	20,12	131,08

Tabela 11 - Fatores H e L, para uso na computação de graus dia pelo modelo de Thom (C).

H	L	H	L	H	L	H	L	H	L
-0,70	0,70	-0,40	0,45	-0,10	0,25	0,20	0,11	0,50	0,03
-0,69	0,70	-0,39	0,44	-0,09	0,24	0,21	0,10	0,51	0,03
-0,68	0,69	-0,38	0,44	-0,08	0,24	0,22	0,10	0,52	0,03
-0,67	0,68	-0,37	0,43	-0,07	0,23	0,23	0,10	0,53	0,03
-0,66	0,67	-0,36	0,42	-0,06	0,23	0,24	0,09	0,54	0,03
-0,65	0,66	-0,35	0,41	-0,05	0,22	0,25	0,09	0,55	0,03
-0,64	0,65	-0,34	0,41	-0,04	0,22	0,26	0,09	0,56	0,02
-0,63	0,64	-0,33	0,40	-0,03	0,21	0,27	0,08	0,57	0,02
-0,62	0,63	-0,32	0,39	-0,02	0,20	0,28	0,08	0,58	0,02
-0,61	0,62	-0,31	0,38	-0,01	0,20	0,29	0,08	0,59	0,02
-0,60	0,61	-0,30	0,38	0,00	0,19	0,30	0,07	0,60	0,02
-0,59	0,60	-0,29	0,37	0,01	0,19	0,31	0,07	0,61	0,02
-0,58	0,59	-0,28	0,36	0,02	0,18	0,32	0,07	0,62	0,02
-0,57	0,58	-0,27	0,36	0,03	0,18	0,33	0,07	0,63	0,02
-0,56	0,58	-0,26	0,35	0,04	0,17	0,34	0,06	0,64	0,02
-0,55	0,57	-0,25	0,34	0,05	0,17	0,35	0,06	0,65	0,01
-0,54	0,56	-0,24	0,34	0,06	0,17	0,36	0,06	0,66	0,01
-0,53	0,55	-0,23	0,33	0,07	0,16	0,37	0,06	0,67	0,01
-0,52	0,54	-0,22	0,32	0,08	0,16	0,38	0,06	0,68	0,01
-0,51	0,53	-0,21	0,32	0,09	0,15	0,39	0,05	0,69	0,01
-0,50	0,53	-0,20	0,31	0,10	0,15	0,40	0,05	0,70	0,01
-0,49	0,52	-0,19	0,30	0,11	0,14	0,41	0,05	0,71	0,01
-0,48	0,51	-0,18	0,30	0,12	0,14	0,42	0,05	0,72	0,01
-0,47	0,50	-0,17	0,29	0,13	0,13	0,43	0,05	0,73	0,01
-0,46	0,50	-0,16	0,29	0,14	0,13	0,44	0,04	0,74	0,01
-0,45	0,49	-0,15	0,28	0,15	0,13	0,45	0,04	0,75	0,01
-0,44	0,48	-0,14	0,27	0,16	0,12	0,46	0,04	0,76	0,01
-0,43	0,47	-0,13	0,27	0,17	0,12	0,47	0,04	0,77	0,01
-0,42	0,47	-0,12	0,26	0,18	0,11	0,48	0,04	0,78	0,00
-0,41	0,46	-0,11	0,25	0,19	0,11	0,49	0,03		

Para $H > 0,78$, $L = 0$ e $H < -0,70$, $L = H$