

CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM SUPERFÍCIES IRRIGADAS, COM DIFERENTES EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES

BRUNO HENRIQUE SILVEIRA MAZARON¹; JOSÉ EDUARDO PITELI TURCO² E VANESSA LORENCINI DA SILVA³

¹Eng^o Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo, FCAV/UNESP – Jaboticabal – SP
brunomazaron@yahoo.com.br

²Eng^o Eletricista, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Rural, UNESP – Jaboticabal - SP,
jepturco@fcav.unesp.br

³Eng^o Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, FCAV/UNESP – Jaboticabal – SP vanlorencini@yahoo.com.br

1 RESUMO

Compreender os padrões espaciais das culturas, baseada em informações topográficas e suas interações com fatores ambientais, podem fornecer oportunidades de aplicações específicas de manejo, e assim, explorar o potencial produtivo das plantas. Diante disso, o objetivo desse estudo foi avaliar a influência da exposição, da declividade e da irrigação sobre o crescimento da cana-de-açúcar em uma “Bacia Hidrográfica Experimental”, utilizando superfícies com exposições norte e sul, e inclinações com 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de declividade. Foram avaliados parâmetros biométricos, a produtividade e suas interações com a radiação e a presença de irrigação. Foi concluído que o crescimento da cultura é influenciado positivamente pela exposição e pela disponibilidade hídrica. A exposição norte, correlacionada com a PAR e a presença de irrigação, influenciaram positivamente o crescimento da planta, o diâmetro do colmo e a produtividade final.

Palavras-chave: manejo, superfícies inclinadas, *Saccharum* spp., radiação solar.

**MAZARON, B. H. S.; TURCO, J. E. P.; SILVA, V. L.
SUGARCANE GROWTH IN SURFACES IRRIGATED WITH DIFFERENT
EXPOSITIONS AND DECLIVITIES**

2 ABSTRACT

Understanding the spatial patterns of cultures, based on topographic information and their interactions with environmental factors, can provide opportunities for specific management applications, and thus exploit the productive potential of plants. Thus, the objective of this study was to evaluate the influence of exposure, slope and irrigation on the growth of sugarcane in a "Experimental River Basin" using surfaces with north and south exposures and slopes with 0% 10%, 20%, 30%, 40% and 50% slope. Were evaluated biometric parameters, productivity and their interactions with radiation and the presence of irrigation. It was concluded that crop growth is positively influenced by exposure and water availability. The north exposure correlated to the PAR and the presence of irrigation positively influenced the growth of the plant, the stem diameter and the final yield.

Keywords: manage, inclined surfaces, *Saccharum* spp., solar radiation.

3 INTRODUÇÃO

Com o iminente aumento da demanda por produtos provindos da agricultura, grandes esforços e investimentos em mecanização, biotecnologia e manejo de água e solos vêm sendo desenvolvidos, buscando o aprimoramento da produtividade das culturas que atualmente atingem patamares abaixo de seu potencial. As pesquisas por diferentes respostas das culturas a diferentes manejos e ambientes tem se tornado indispensável na busca por elevados potenciais produtivos (MAZARON, 2013).

A produção agrícola vem se difundindo em diferentes tipos de solo, os quais expressam o resultado da interação de inúmeros fatores como material de origem, clima, relevo, compartimentos geológicos entre outros (CORTEZ et al., 2011). Conhecer a interação desses fatores e como influenciam a variabilidade do solo e de seus atributos é fundamental para o planejamento agrícola sustentável (BARBIERI et al., 2008), e a implantação de novas tecnologias que viabilizem estes estudos são cada vez mais requeridas (PELUCO, 2013).

A cana-de-açúcar destaca-se como uma das principais culturas de interesse econômico para o Brasil, fornecendo matéria-prima para a produção de açúcar, etanol e energia. Neste cenário, grandes esforços e investimentos em tecnologia vêm sendo desenvolvidos no melhoramento e aperfeiçoamento da produtividade da cana (JUNIOR, 2011), que está diretamente relacionada aos aspectos agrônômicos (MARCHIORI, 2004), a variabilidade meteorológica (PICOLI et al., 2009) e estresses ambientais, incluindo temperaturas inadequadas e principalmente déficit hídrico (FARIAS, 2008).

As medidas dos componentes do balanço de radiação e de energia em condições de campo têm aplicabilidade no planejamento racional da irrigação, no uso adequado do solo, no zoneamento agrícola regional, no impacto das variações meteorológicas sobre os cultivos agrícolas, na proteção de plantas (BOUHID et al., 2010), pois atuam nos processos de fotossíntese e transpiração, sendo fundamental na produtividade da cultura (TRENTIN et al., 2011).

A irrigação da cana-de-açúcar é uma das alternativas tecnológicas em busca da verticalização da produção (FARIAS et al., 2008), promovendo o plantio em áreas antes consideradas marginais, sobremaneira por deficiência hídrica, influenciando no desenvolvimento da cultura (BARBOSA et al., 2012), pois a resposta de produtividade depende de um conjunto de fatores, dentre eles: da quantidade de água e de fertilizantes aplicados, do manejo de irrigação da cultivar, idade de corte e do tipo de solo e do clima (GAVA et al., 2011).

Pesquisas têm utilizado variáveis topográficas para explicar os padrões aleatórios da variação da produtividade e qualidade de diferentes culturas (BENINCASA, 1976; TURCO, 1997; TURCO et al., 2006; COAN et al., 2012). Neste contexto, a melhor compreensão dos padrões espaciais das culturas, baseada em informações topográficas, pode fornecer aos agricultores oportunidades de aplicação de sítios específicos de manejo (SANCHEZ et al., 2012).

A hipótese deste estudo é que há influência da declividade e da irrigação no crescimento da cultura de cana-de-açúcar, e que tal efeito pode auxiliar na busca por manejos que acarretem um aumento na produtividade das plantas. Portanto, o presente trabalho objetivou quantificar e relacionar a influência da exposição, declividade e da irrigação sobre o crescimento da cana-

de-açúcar, possibilitando a utilização dessas ferramentas como estratégia de manejo agrônomo para a cultura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no município Jaboticabal/SP, situada a 22°15'22" de latitude sul, 48°18'58" de longitude oeste, e altitude de 575 m, em uma estrutura denominada "Bacia Hidrográfica Experimental", descrita com detalhes por Turco (1997).

Nessa estrutura foi realizado o experimento no período de Fevereiro de 2011 a Maio de 2012, utilizando superfícies, com os seguintes tratamentos: HI (superfície horizontal, com irrigação), HNI (superfície horizontal, sem irrigação), N10 (superfície com 10% de declividade e exposição norte), N20 (superfície com 20% de declividade e exposição norte), N30 (superfície com 30% de declividade e exposição norte), N40 (superfície com 40% de declividade e exposição norte), N50 (superfície com 50% de declividade e exposição norte); S10 (superfície com 10% de declividade e exposição sul), S20 (superfície com 20% de declividade e exposição sul), S30 (superfície com 30% de declividade e exposição sul), S40 (superfície com 40% de declividade e exposição sul), S50 (superfície com 50% de declividade e exposição sul). O espaçamento entre as superfícies é de 3,00 m, entre exposições, e de 5,00 m, entre declividades.

O tipo de solo da área experimental é o LE1, Vermelho-Escuro, eutrófico, A moderado, caulínítico, hipoférrico, textura argilosa, relevo suave ondulado (ANDRIOLI & CENTURION, 1999). O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa, isto é, subtropical com estiagem no inverno.

Para a obtenção dos dados meteorológicos, foi instalada próxima à área experimental uma estação meteorológica automatizada do modelo *Vantage Pro* (Davis *Instruments*, Hayward, CA, USA).

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB855453 que possui como destaque a maturação precoce e o elevado teor de sacarose. Foram realizados os procedimentos de pré-plantio iniciando-se pelo e preparo do terreno deixando o solo em condições de ser explorado, abertura dos sulcos de plantio com espaçamento de 1,5 m entrelinhas e adubação. O plantio foi realizado no dia 25 de fevereiro de 2011, onde foram depositados sete toletes m⁻¹ a uma profundidade de sulco de 30 cm e cobertura de cinco centímetros de terra, buscando-se obter entre 15-18 gemas m⁻¹.

Foram utilizadas doze superfícies, sendo os tratamentos constituídos pelas combinações de duas exposições (norte e sul), com seis declividades em casa exposição, (sendo duas na declividade 0% e uma delas sem a presença de irrigação). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições. Os resultados foram submetidos, através do software estatísticos AgroEstat (BARBOSA & MALDONADO, 2011), à análise de variância e correlação. Para comparação de médias, foi utilizado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade

A quantidade de água aplicada em cada superfície foi função dos valores da ET₀, obtidos pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), sendo calculada pela seguinte equação:

$$ET_0(PM) = \frac{0,409 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) V (e_s - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 V)}$$

Em que,

$ET_{0(PM)}$ = evapotranspiração de referência pelo método de PM (Penman-Monteith), em gramado, mm d^{-1} ; R_n = radiação líquida, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; G = fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; T = temperatura média do ar a 2 m de altura, $^{\circ}\text{C}$; V = velocidade média do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ; $(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor, kPa ; Δ = tangente à curva de pressão de vapor, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; γ = constante psicrométrica, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$, e 900 = fator de conversão.

Os valores foram corrigidos para cada superfície segundo a metodologia descrita por Turco et al. (2012), que analisou e correlacionou o saldo de radiação incidente em diferentes superfícies, ajustando o modelo de Penman-Monteith para cada situação proposta.

Para a determinação da evapotranspiração da cultura foi utilizada a seguinte equação:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c$$

Em que,

ET_c = evapotranspiração da cultura, expressa em mm dia^{-1} ; ET_0 = evapotranspiração de referência, expressa em mm dia^{-1} ; K_c = coeficiente de cultura da cana-de-açúcar.

Os valores de K_c para a cana-de-açúcar, estão descritos na Tabela 1, e foram obtidos de acordo com Doorenbos & Kassam (1994).

Tabela 1. Valores do coeficiente da cultura da cana-de-açúcar (K_c) descritos por Doorenbos & Kassam (1994).

Período de desenvolvimento	Dias do Ciclo	Coefficiente de cultura (K_c)
Do Plantio até 25% de cobertura	30 a 60 dias	0,40 a 0,60
De 25 a 50% de cobertura	30 a 40 dias	0,75 a 0,85
De 50 a 75% de cobertura	15 a 25 dias	0,90 a 1,00
De 75% a cobertura completa	45 a 55 dias	1,00 a 1,20
Utilização Máxima	180 a 330 dias	1,05 a 1,30
Início da senescência	30 a 150 dias	0,80 a 1,05
Maturação	30 a 60 dias	0,60 a 0,75

Foi instalado no centro de cada superfície três tensiômetros a 20 cm de profundidade e três a 40 cm de profundidade. A irrigação foi realizada sempre no final da tarde, com um turno de rega a cada três dias ou quando a soma da evapotranspiração da cultura foi de 50% do total de água disponível (CAD) (FARIAS et al., 2012). Durante o período não foi verificado estresse hídrico em nenhuma das parcelas.

A capacidade de água disponível no solo (CAD, em mm), foi obtida pela seguinte equação:

$$CAD = (\theta_{CC} - \theta_{pmp})$$

Em que,

θ_{CC} = umidade do solo $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ à capacidade de campo; θ_{pmp} = umidade do solo $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ no ponto de murchamento permanente.

A irrigação por gotejamento foi realizada com seis mangueiras, com gotejadores a cada 20 cm, em toda a sua extensão. O conjunto possuía uma vazão de 90 l h⁻¹. A Tabela 2 apresenta as características físico-hídricas do solo da área experimental.

Tabela 2. Características físico-hídricas médias para as camadas de 0–0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade do solo da área experimental.

Profundidade (m)	θ_{CC}	θ_C	θ_{pmp}	θ_s	θ_r	ds
	(cm ³ cm ⁻³)					(g cm ⁻³)
0,00 - 0,20	0,38	0,339	0,3	0,539	0,297	1,13
0,20 - 0,40	0,27	0,239	0,21	0,506	0,209	1,04

θ_{cc} – umidade do solo a capacidade de campo; θ_c – umidade crítica do solo; θ_{pmp} – umidade do solo no ponto de murchamento permanente; ds – densidade do solo; θ_s – umidade do solo saturado; θ_r – umidade residual do solo.

Foi estimada a radiação fotossinteticamente ativa incidente nas superfícies pela equação de Gerolineto (2005), descrita a seguir:

$$PAR = -0,257 + 0,4237S_s$$

Em que,

PAR = radiação fotossinteticamente ativa, MJ.m⁻² dia⁻¹, e S_s = radiação solar global incidente, MJ.m⁻² dia⁻¹.

As avaliações foram realizadas a 122, 183, 210, 267, 287, 336, 365, 394, 420 dias após o plantio na linha central de todas as superfícies em três plantas, com três repetições, abrangendo todos os estádios fenológicos da cultura e suas variações no decorrer do período.

A escolha do local da planta utilizado na mensuração seguiu a numeração proposta por Rodrigues (1995), que consiste em designar como +1 a primeira folha de cima para baixo, que se apresenta inserida com a aurícula (colarinho) bem visível. As folhas de baixo passariam a receber a numeração +2, +3, etc.

O crescimento da cultura no período foi observado através das seguintes variáveis, altura da planta (altura da planta da base até a folha + 1), diâmetro do colmo (medido, com paquímetro digital, abaixo da folha +1).

Ao final do experimento, foi realizada a colheita onde todas as plantas foram pesadas por meio de uma balança tipo célula de carga (modelo Toledo 2124, São Bernardo do Campo, SP, Brasil) e a produtividade (t.ha⁻¹) foi calculada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os aspectos biométricos e de produtividade foram influenciados pela radiação e pela presença de irrigação. A exposição norte se mostrou eficiente em alterar positivamente o crescimento da planta, o diâmetro do colmo e a produtividade da cultura.

Na Tabela 3, estão apresentados os dados de precipitação ao longo do ano de cultivo e as irrigações mensais, corrigidas para cada superfície, segundo Turco et al. (2012). O acumulado das precipitações no período totalizou 1.516 mm.

Tabela 3. Precipitação mensal (mm) e irrigação mensal (mm) de fevereiro de 2011 a maio de 2012. Jaboticabal, SP, 2011/2012.

Data	Precipitação (mm)		Irrigação (mm)									
	HI	N10	N10	N20	N30	N40	N50	S10	S20	S30	S40	S50
fev/11	65,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mar/11	433,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
abr/11	75,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mai/11	4,00	22,40	24,73	25,85	26,98	28,11	29,24	17,77	15,45	13,13	10,81	8,49
jun/11	27,31	57,82	63,83	66,74	69,66	72,58	75,49	45,88	39,89	33,90	27,91	21,91
jul/11	-	77,00	85,01	88,89	92,77	96,66	100,54	61,11	53,13	45,15	37,17	29,18
ago/11	14,00	92,90	102,61	107,31	112,01	116,72	121,43	73,65	63,98	54,30	44,64	34,96
set/11	6,30	105,31	116,64	122,14	127,63	133,14	138,63	83,04	72,13	61,22	50,31	39,40
out/11	131,60	73,88	75,55	73,66	71,76	69,86	67,96	67,50	66,46	65,42	64,37	63,33
nov/11	155,50	86,50	88,46	86,23	84,01	81,78	79,58	79,05	77,85	76,65	75,45	74,24
dez/11	189,60	45,38	46,54	45,23	43,98	42,74	41,49	41,19	40,50	39,82	39,13	38,45
jan/12	157,00	46,69	47,89	46,53	45,16	43,79	42,43	42,09	41,34	40,61	39,89	39,18
fev/12	98,80	82,86	84,88	82,59	80,31	78,01	75,72	75,17	73,91	72,65	71,39	70,13
mar/12	29,00	85,54	87,46	85,32	83,19	81,04	78,90	78,56	77,04	76,05	74,79	73,53
abr/12	78,80	55,59	56,82	55,43	54,04	52,65	51,26	50,92	50,16	49,40	48,63	47,87
mai/12	50,40	38,21	39,04	38,09	37,15	36,21	35,27	35,04	34,52	34,00	33,48	32,96
Total	1516,51	870,08	919,46	924,01	928,65	933,29	937,94	750,97	706,36	662,30	617,97	573,63

5.1. Altura da planta

A interação entre a exposição e a declividade foi significativa até 287 DAP (Tabela 4), observando após esse período apenas a variável exposição como fator de diferença no crescimento em altura da planta. Fato ocorrido, pois o período de inverno possui características climáticas que reduzem o desenvolvimento fisiológico da cultura e as inclinações favoreceram as plantas na captação de radiação e calor, acarretando as diferenças citadas. Após o período, o aumento na disponibilidade de radiação possibilitou o maior crescimento das plantas na exposição norte.

Observa-se que em todo o período houve diferenças significativas entre as exposições, e entre declividades apenas até 210 DAP. A exposição N foi superior a S durante todo o ciclo da cultura, conforme apresentado na Figura 1, que demonstra o crescimento das plantas, comparando a influência do fator exposição sobre cada uma das declividades. Tal diferença foi significativa em todas as análises para as declividades 20 e 40%; a partir de 394 DAP para a declividade 10%; e a partir de 210 DAP para a declividade 30% e 50%, comprovando a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, sendo responsiva a maior presença de radiação PAR (Figura 4).

A presença de irrigação proporcionou maior crescimento da planta em todo o período (Figura 1a), fato comprovado também por Oliveira et al. (2010) que concluiu que a disponibilidade hídrica promovida pela irrigação plena durante as fases de crescimento da cana-de-açúcar proporcionou diferença no perfilhamento, crescimento em altura e acúmulo de matéria seca. Também Dantas Neto et al. (2006), obteve resultados semelhantes analisando a influência da irrigação na fase inicial de crescimento da cana e no início do máximo desenvolvimento e Shigaki (2003), que verificou a disponibilidade de água no solo como sendo o principal fator responsável pelo alongamento dos entrenós.

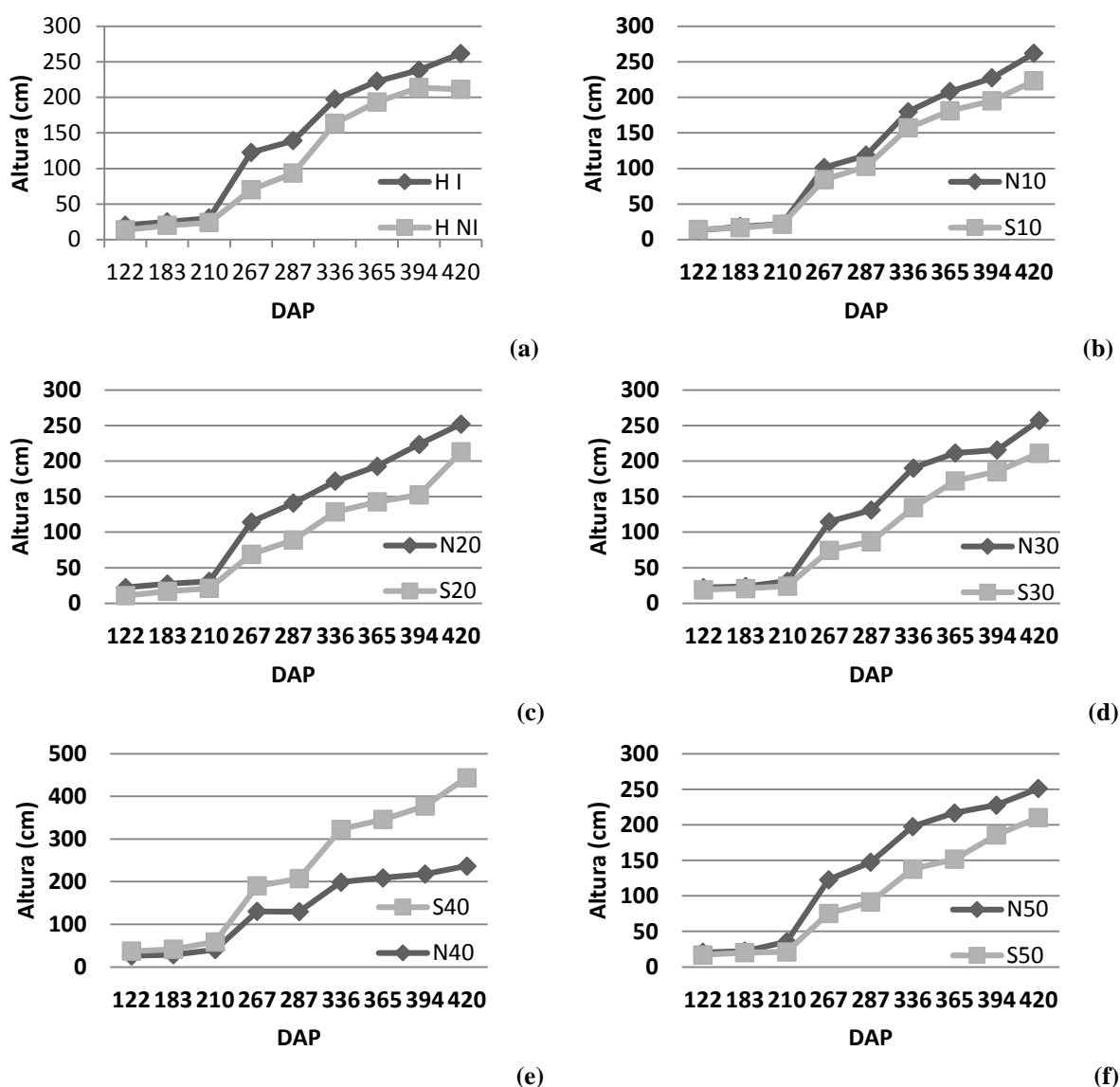
Nos meses de maior precipitação (Novembro de 2011 a Março de 2012), descritos na Tabela 3, a diferença entre altura das plantas nos tratamentos com e sem irrigação diminuiu deixando de ser significativa em 365 e 394 DAP, porém após o período a diminuição das chuvas acarretou em aumento significativo na altura das plantas irrigadas e consequente maior produtividade final (Figura 3).

Tabela 4. Análise de variância (quadrados médios) e médias de altura das plantas (cm), submetidas a diferentes exposições e declividade. Jaboticabal, SP, 2011/2012.

Causas da Variação	122 DAP	183 DAP	210 DAP	267 DAP	287 DAP	336 DAP	365 DAP	394 DAP	420 DAP
Declividade (A)	5,1 **	3,03 *	4,65 **	0,38 ^{ns}	2,13 ^{ns}	0,98 ^{ns}	2,44 ^{ns}	1,86 ^{ns}	0,75 ^{ns}
Exposição (B)	33,87 **	41,05 **	71,73 **	112,43 **	143,06 **	61,30 **	54,51 **	46,67 **	26,15 **
Interação A x B	7,61 **	7,30 **	8,17 **	4,17 *	3,92 *	1,81 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Entre Trat. Adic. (I x NI)	7,51 *	4,67 *	5,09 *	32,18 **	30,57 **	5,41 *	3,82 ^{ns}	2,56 ^{ns}	8,80 **
C.V (%)	17,07	13,46	13,10	11,96	9,00	10,87	9,80	9,23	8,91
Média Geral	17,54	21,05	26,69	95,00	112,32	165,16	186,64	203,57	233,11
Média Tratamentos Adi.	16,88	22,38	26,89	96,33	116,16	180,50	208,05	226,05	236,50
Exposição Norte	20,85 a	24,09 a	32,06 a	116,75 a	133,64 a	187,77 a	207,71 a	222,53 a	251,84 a
Exposição Sul	14,49 b	17,46 b	21,24 b	72,73 b	89,46 b	136,42 b	157,02 b	175,62 b	213,04 b
Declividade 0% - Irrigado	20,23 a	24,89 a	30,11 a	122,66 a	139,00 a	197,55 a	222,66 a	238,33 a	261,66 a
Declividade 0% - Não Irrigado	13,53 b	19,88 b	23,66 b	70,00 b	93,33 b	163,44 b	193,44 a	213,77 a	211,33 b

^{NS} não significativo, * significativo ao nível de 5%, ** significativo ao nível de 1%. Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 1. Médias de altura das plantas (cm), submetidas a diferentes exposições e declividades.



5.2. Diâmetro do colmo

Não houve interação entre exposição e declividade. Seguindo a tendência das análises referentes à altura da planta, a influência do fator exposição foi significativa a 122 DAP, 183 DAP, 210 DAP, 336 DAP, 365 DAP, 394 DAP e 420 DAP (Tabela 5). A Figura 2 mostra que o maior crescimento ocorreu nas exposições norte e no tratamento N50. O menor crescimento dos colmos, em diâmetro, foi visualizado na superfície não irrigada (HNI).

Por ser uma planta C4, a cana-de-açúcar possui grande eficiência fotossintética e elevado ponto de saturação luminosa, ou seja, quanto maior a radiação solar, mais fotossíntese será realizada, e por consequência maior será o crescimento e o acúmulo de açúcar. Em presença de maior radiação solar os colmos são mais grossos, apresentando elevada produtividade e em luz deficiente ou com redução na radiação solar (SANTOS, 1977; AUDE, 1992) os colmos tornam-se mais finos.

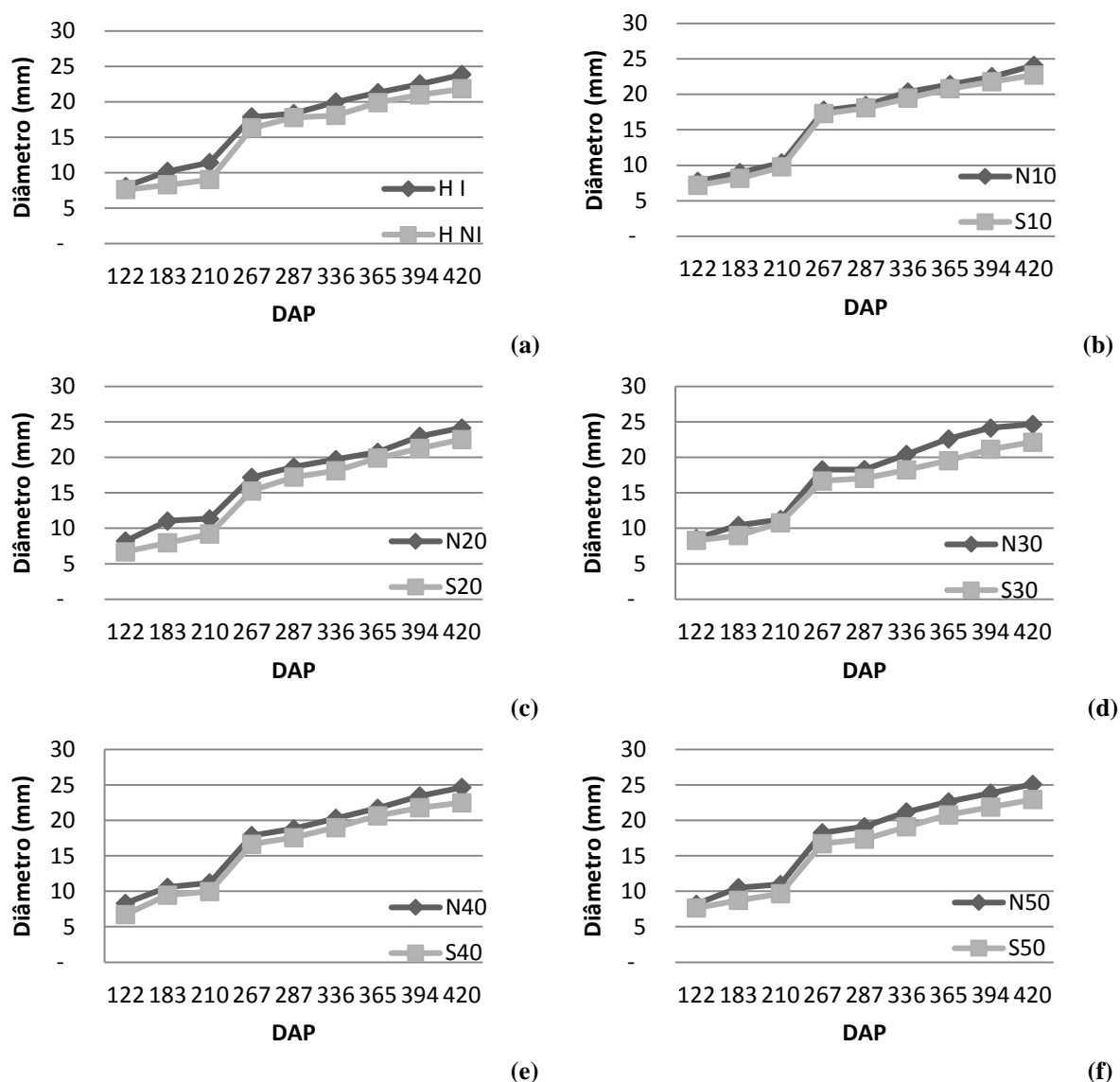
Quanto à presença de irrigação, apenas no início houve diferenças significativas, após o início das chuvas os valores não foram significativamente diferentes. Fato mostrado também por Rodrigues (1995) que afirmou que o pico de desenvolvimento das variedades plantadas entre janeiro e março, acontece com o início das precipitações e aumento das temperaturas; e Oliveira et al. (2010) que concluiu que a disponibilidade hídrica promovida pela irrigação plena durante as fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar, proporciona diferença no perfilhamento, crescimento em altura e acúmulo de matéria seca entre variedades; contudo, pouca influência é observada no diâmetro do colmo.

Tabela 5. Análise de variância (quadrados médios) e médias de diâmetro dos colmos (mm), submetidas a diferentes exposições e declividades. Jaboticabal, SP, 2011/2012.

Causas da Variação	122 DAP	183 DAP	210 DAP	267 DAP	287 DAP	336 DAP	365 DAP	394 DAP	420 DAP
Declividade (A)	3,25 *	1,2 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,80 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Exposição (B)	17,82 **	14,50 **	10,69 **	3,57 ^{ns}	2,02 ^{ns}	11,23 **	12,73 **	16,49 **	18,69**
Interação A x B	1,68 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Entre Trat. Adic. (I x NI)	0,86 ^{ns}	3,82 ^{ns}	9,43 **	0,94 ^{ns}	0,18 ^{ns}	3,09 ^{ns}	2,27 ^{ns}	2,37 ^{ns}	3,97 ^{ns}
C.V (%)	7,45	12,57	9,22	11,26	9,06	6,74	5,40	5,45	5,31
Média Geral	7,77	9,44	10,40	17,17	18,06	19,49	21,00	22,35	23,42
Média Tratamentos Adi.	7,83	9,23	10,22	17,09	18,07	19,02	20,58	21,75	22,83
Exposição Norte	8,20 a	10,30 a	11,01 a	17,85 a	18,66 a	20,38 a	21,82 a	23,38 a	24,53 a
Exposição Sul	7,31 b	8,65 b	9,87 b	16,52 a	17,46 a	18,78 b	20,34 b	21,57 b	22,57 b
Declividade 0% - Irrigado	8,05 a	10,18 a	11,42 a	17,85 a	18,35 a	19,96 a	21,28 a	22,52 a	23,84 a
Declividade 0% - Não Irrigado	7,61 a	8,29 a	9,01 b	16,32 a	17,79 a	18,08 a	19,89 a	20,99 a	21,82 a

^{NS} não significativo, * significativo ao nível de 5%, ** significativo ao nível de 1%. Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 2. Médias de diâmetro dos colmos (mm), submetidas a diferentes exposições e declividades.



5.3. Produtividade

Aos 465 DAP, foi realizado a colheita, pesagem e cálculo da produtividade para todas as superfícies. Os resultados da análise de variância e comparação de médias da produtividade encontram-se na Tabela 6 e mostram que não houve interação entre declividade e exposição, porém a exposição norte influenciou significativamente um aumento da produtividade em relação à exposição sul. Fato apresentado na Figura 3, que demonstra produtividades superiores em de todos os tratamentos da exposição norte, quando comparado à exposição sul.

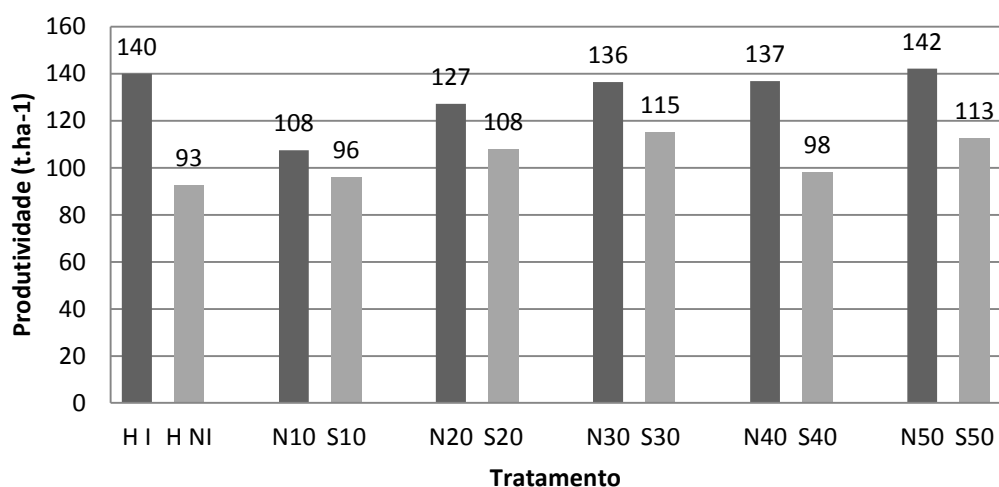
A presença da irrigação influenciou significativamente o crescimento na superfície HI, com uma produtividade de 140,00 t.ha⁻¹, ou seja, um aumento de 51% comparado à parcela não irrigada. O incremento na produtividade com o uso da irrigação também foi verificado por Wiedenfeld et al. (2008); Gava et al. (2011); e Sanchez Roman et al. (2015).

Tabela 6. Análise de variância (quadrados médios) e médias das produtividades ($t \cdot ha^{-1}$), submetidas a diferentes exposições e declividades. Jaboticabal, SP, 2011/2012.

Causas da Variação	465 DAP
Declividade (A)	1,42 ^{ns}
Exposição (B)	10,02 **
Interação A x B	0,37 ^{ns}
Entre Trat. Adic. (I x NI)	7,81 *
C.V (%)	17,68
Média Geral	117,69
Média Tratamentos Adic.	116,25
Exposição Norte	130,02 a
Exposição Sul	105,95 b
Declividade 0% - Irrigado	140,00 a
Declividade 0% - Não Irrigado	92,50 b

^{NS} não significativo, * significativo ao nível de 5%, ** significativo ao nível de 1%. Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

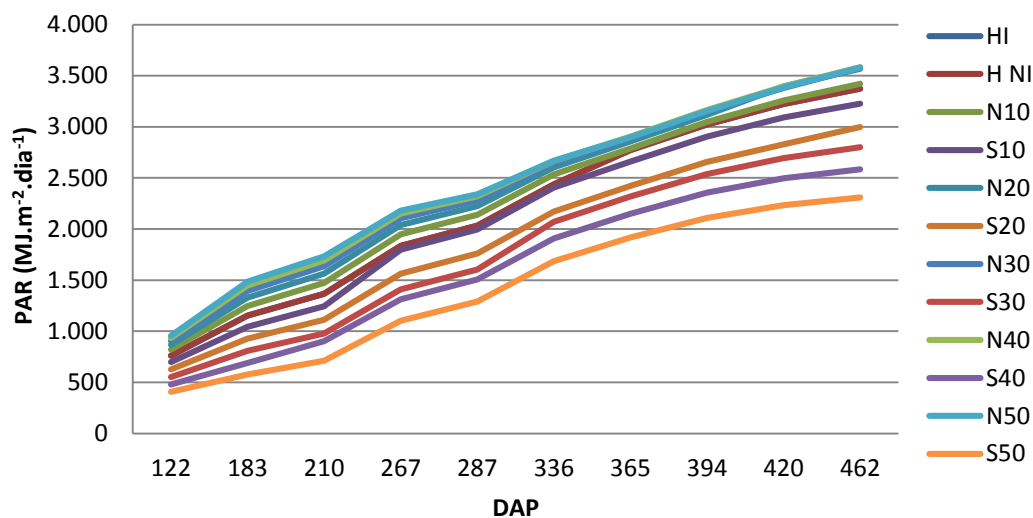
Figura 3. Médias das produtividades ($t \cdot ha^{-1}$) nas diferentes exposições e declividades.



5.4. Produtividade comparada com a par e irrigação

A Figura 4 mostra a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) acumulada em cada superfície e as Figuras 5 e 6 demonstram o comportamento da produtividade em função da PAR acumulada e da quantidade de água disponibilizada para a cultura durante todo ciclo, respectivamente.

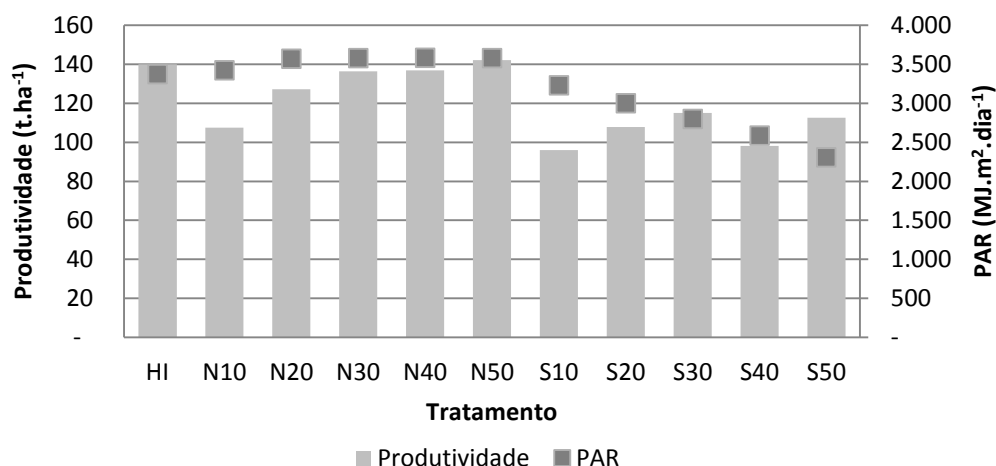
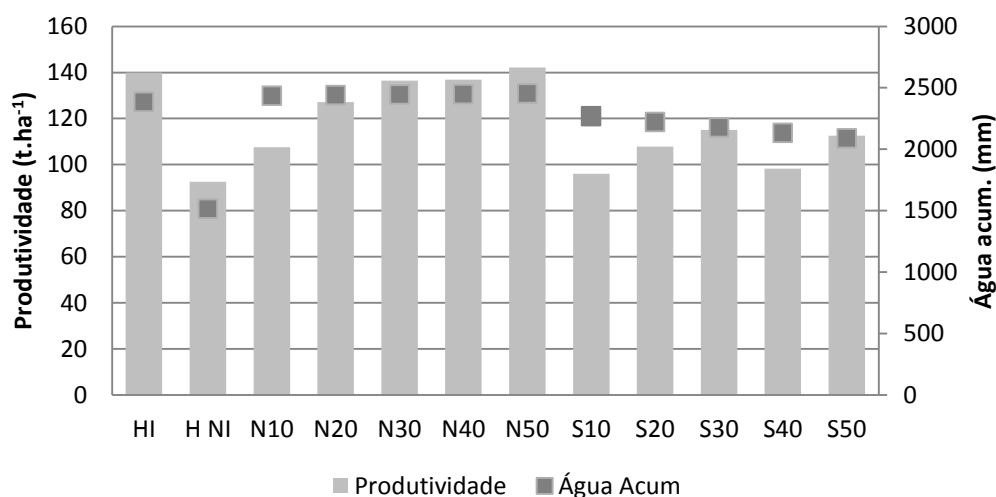
Figura 4. Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) acumulada até a data de cada amostragem em cada tratamento.



Os dados das Figuras 5 e 6 mostram que a produtividade da exposição N foi superior a exposição S, influenciado pelo aumento da PAR e pela disponibilidade de água, fato que confirma com os resultados obtidos por Coan et al. (2012) estudando o crescimento de grama esmeralda em diferentes exposições; Ferreira Junior et al. (2012) estudando variáveis biométricas e meteorológicas no crescimento da cana-de-açúcar; Barbosa et al. (2012) estudando fertirrigação em cana-de-açúcar e Silva et al. (2011) analisando a eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada.

O resultado é explicado pela correlação entre a produtividade da cultura e as variáveis ambientais: PAR e disponibilidade hídrica (Tabela 7). Os estudos realizados por Marin (2008) que considerou que os fatores climáticos explicam 43% da variabilidade da eficiência produtiva da cana-de-açúcar, sendo a radiação solar e a deficiência hídrica os mais impactantes, e de Gouvêa (2008) que afirmou que disponibilidade de água para a cultura é o principal fator climático causador da variabilidade da produtividade, comprovam essa correlação.

A fim de analisar a influência da PAR e da irrigação para o crescimento de todos os fatores foi realizada uma análise de correlação entre as variáveis (Tabela 7). A PAR e o volume total irrigado correlacionaram-se com o crescimento da planta em altura, diâmetro e produtividade final.

Figura 5. Comparação entre produtividade ($t \cdot ha^{-1}$) e Radiação PAR ($MJ \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$).**Figura 6.** Comparação entre produtividade ($t \cdot ha^{-1}$) e disponibilidade total de água (mm).**Tabela 7.** Análise de correlação entre as variáveis: produtividade, PAR acumulada, disponibilidade total de água, área foliar, diâmetro do colmo e altura da planta, submetidas a diferentes exposições e declividades. Jaboticabal, SP, 2011/2012.

	Produtividade	Altura	Diâmetro	PAR Acum.
PAR Acum.	0,61 *	0,75 **	0,65 *	-
Água Acum.	0,69 *	0,70 *	0,79 **	0,37 ^{ns}

^{NS} não significativo, * significativo ao nível de 5%, ** significativo ao nível de 1%. Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

6 CONCLUSÕES

O crescimento da cana-de-açúcar (variedade RB 855453) é influenciado positivamente pela exposição, sendo favorecido pela face norte.

As declividades são menos efetivas em alterar o crescimento da planta.

O manejo da irrigação foi eficiente em alterar positivamente o crescimento, apresentando correlação positiva entre o volume de água aplicado e a produtividade.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 27.; 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 1 CD-ROM.
- AUDE, M. I. S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 241-248, 1993.
- BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade 220 espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.645-653, 2008.
- BARBOSA, E. A. A., ARRUDA, F. B., PIRES, R. C. M., SILVA, T. J. A., SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: ciclo da cana-planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, 2012.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**, Versão 1.1.0.626, 2011.
- BENINCASA, M. **Efeitos de rampas com diferentes declividades e exposições Norte e Sul de uma bacia hidrográfica sobre o microclima e produtividade biológica do Sorghum bicolor (L.) Moench**. Jaboticabal, 1976. 103 f. Tese (Livre- Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1976.
- BOUHID, R.G.; MENDONÇA, J.C; PINHEIRO, F.M.A. MARQUES, V.; MARQUES, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Balanço de energia e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.4, 535 - 542, 2010.
- COAN, R. M.; TURCO, J. E. P.; PIVETTA, K. F. L.; COSTA, M. N.; MATEUS, C. M. Emerald zoyzia grass development regarding photosynthetically active adiation in different slopes. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 32, n. 3, 2012.
- CORTEZ, L. A.; MAR JR., J.; PELUCO, R. G.; TEIXEIRA, D. B.; SIQUEIRA, D. S. Suscetibilidade magnética para identificação de áreas de manejo específico em citricultura. **Energia na agricultura**, Botucatu, v.26, p.60-79, 2011.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEIREDO, J. L.; FARIAS, C. H.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de

cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, 2006.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de: GHEYI, H.R.; SOUZA, A.A. de; DAMASCO, F.A.V.; MEDEIROS, J.F. Campina Grande: UFPB, 1994. p.220-6 (Boletim, 33).

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R.. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, 2008.

FARIAS, M. T.; TURCO, J.E.; FERNANDES, E.J.; GUIRRA, A.M.; Resposta produtiva do feijoeiro comum a diferentes manejos de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 137-147, 2012.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; TEODORO, I. S.; PORFIRIO, A. C. S. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 11, 2012.

GAVA, G.C.; SILVA, M.A.; JERONIMO, E.M.; CRUZ, J.C.S.; KOLLN, O.T.; Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.3, p.250–255, 2011.

GEROLINETO, E. **Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa no município de Jaboticabal – SP**. 2005. 47 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP**. 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

JUNIOR, C. G. **Influência do clima na produtividade da cana-de-açúcar**. 2011. 55f. Trabalho de Graduação, Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, 2011.

MARCHIORI, L. F. S. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar**. 2004. 275f. Tese - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

MARIN, F. R. et al. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1449-1455, nov. 2008.

MAZARON, B. H. **Crescimento da cana-de-açúcar em superfícies irrigadas, com diferentes exposições e declividades**. 2013. 55 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2013.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA, J. M.; MACHADO, P. R.. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010 .

PELUCO, R. G. Técnicas indiretas na identificação de áreas de manejo específico para cana-de-açúcar. 2013. 78 p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2013.

PICOLI, M. C. A.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p.789–795, 2009.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Instituto de Biociência, 1995. 101 p. Apostila.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES J. J.; PEREIRA, G. T.; BARACAT, N.J.; SIQUEIRA, D. S.; ZIGOMAR, M. Mapeamento das formas do relevo para estimativa de custos de fertilização em cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, 2012.

SÁNCHEZ ROMÁN, R. M.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; RIBEIRO, P. H. P. Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio em dois ciclos. **Irriga**, Botucatu, p. 198-210, 2015.

SHIGAKI, F. **Variedades de cana-de-açúcar para alimentação bovina cultivadas sob condições de déficit hídrico**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2003.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; JUNIOR, W. F. G. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, 2011.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 6, 2011.

TURCO, J. E.; MILANI, A. P.; FERNANDES, E. J. Adequacy of the Penman-Monteith method to irrigated surfsasse with diferente exposures and declivity. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING. CIGR – AGENG 2012. 2012, Valencia. **Anais**. CD-ROM.

TURCO, J. E. P. **Modelo de crescimento da planta de soja para terrenos com diferentes exposições e declividades**. 1997. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

TURCO, J. E. P.; RIZZATTI, G.S. Avaliação de modelo matemático para estimar a radiação solar incidente sobre superfícies com diferentes exposições e declividades. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, 2006.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 665-671, 2008.