

ARTIGO TÉCNICO

PREDIÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE SOMBRAS DE ÁRVORES EM PASTAGENS PARA BOVINOS¹

ROBERTO G. DA SILVA²

RESUMO: São propostas equações para a determinação da orientação, comprimento e área da sombra projetada por árvores destinadas ao plantio em pastagens para bovinos, considerando o local, a época do ano e a hora do dia. As equações abrangem árvores com os seguintes formatos de copa: esférica, lentiforme, cilíndrica, elipsóide, cônica e cônica invertida. Um exemplo é apresentado, discutindo-se a aplicação no sombreamento de pastagens.

PALAVRAS-CHAVE: sombra, climatologia animal, bovinocultura.

TREE SHADE EVALUATION AND PREDICTION IN CATTLE FEEDLOTS

ABSTRACT: Equations to estimate orientation, length and surface area of shades projected by trees in cattle feedlots are presented, considering location, year season, and time of the day. The equations refer to six types of tree canopy shape: spherical, lentil-like, cylindrical, ellipsoid, cone, and inverted cone. A worked example is given and discussed.

KEYWORDS: shade, animal climatology, cattle.

INTRODUÇÃO

É sabido de há muito que a presença de sombras no campo é importante para o conforto dos animais, principalmente em regiões quentes e com alta incidência de radiação solar, nas quais os bovinos da maioria das raças tendem a sofrer estresse térmico, reduzindo o seu desempenho econômico.

Por exemplo, quando vacas leiteiras têm acesso a sombras adequadas, a produção de leite melhora (ROMAN-PONCE et al., 1977; INGRAHAM et al., 1979; BUFFINGTON et al., 1983; IGONO, 1986; SILVER, 1987; DAVISON et al., 1988). De fato, tem sido observado que mesmo em uma região subtropical, tal como a Flórida, a exposição crônica à radiação solar em um local quente causa depressão de 1,5 a 3,3 kg por vaca na produção diária de leite de vacas Holandesas (HANSEN, 1990).

No caso do gado de corte, o problema é, provavelmente, mais sério, uma vez que esses animais são quase sempre mantidos exclusivamente no pasto, enquanto as vacas leiteiras têm, muitas vezes, acesso a instalações cobertas, ao menos durante parte do tempo. McDANIEL & ROARK (1956) verificaram que, durante o verão na Louisiana, o uso de sombra nas pastagens levava ao aumento na taxa de ganho de peso de animais Hereford e Angus. Em experimento realizado por McILVAIN & SHOOP (1970), novilhos de sobreano da raça Hereford com acesso à sombra (2,8 m² por animal) ganharam 8,6 kg a mais do que aqueles sem acesso à sombra.

O efeito da sombra está associado à capacidade de os animais suportarem a radiação solar intensa. Estudos realizados no Tropical Beef Centre, em Queensland, Austrália (BENNETT et al.,

¹ Desenvolvimento do tema de uma conferência apresentada pelo autor no I Simpósio sobre Sombreamento na Bovinocultura Tropical, Jaboticabal - SP, 20 de outubro 2004.

² Professor Titular, Departamento de Zootecnia, UNESP, Jaboticabal - SP, robertogs@terra.com.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 10-8-2005

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 13-3-2006

1984-1985) mostraram que novilhos Shorthorn tendiam a buscar mais a sombra (3,48 horas por dia em média) do que os zebuínos (1,64 hora por dia), considerando que o ambiente local apresentava temperatura radiante média de 73 °C ao sol e 53 °C sob a sombra mais densa; resultados similares têm sido observados no Brasil (PARANHOS DA COSTA, 2004, informação pessoal).

A quantidade de radiação solar que chega à superfície terrestre depende muito da latitude, isto é, da posição geográfica do local. Na Figura 1, mostra-se que o máximo de radiação é recebido na linha do equador, na maior parte do ano. Note-se que há pouca diferença na intensidade de radiação solar ao longo do ano em uma região equatorial, onde é mais elevada por ocasião dos equinócios de primavera (22 de setembro) e de outono (21 de março).

No limite da zona intertropical, o Trópico de Capricórnio (paralelo de 23°27' latitude sul, o qual passa pela cidade de São Paulo), a quantidade de radiação solar é alta apenas durante os meses de verão, reduzindo-se bastante (para 800 W m⁻² ou menos) no resto do ano. Em uma região temperada típica, a 40° de latitude, a radiação solar é mais baixa ainda.

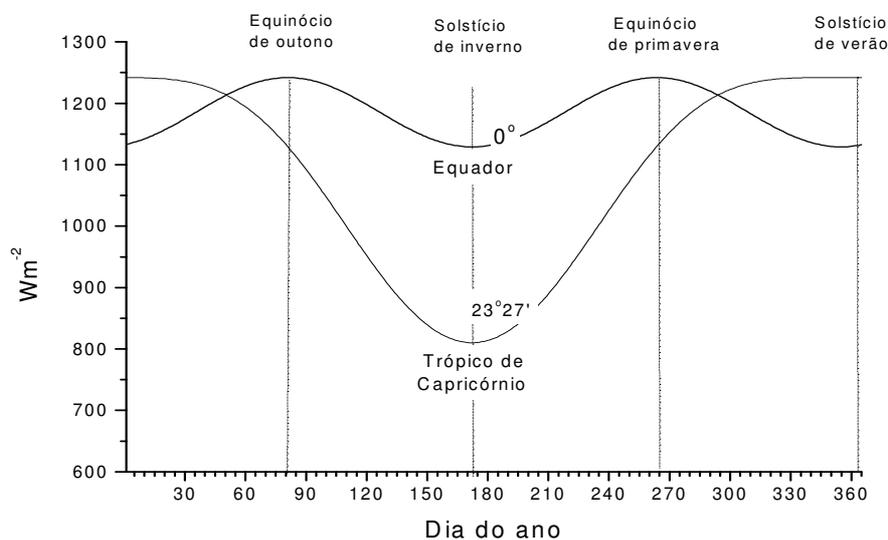


FIGURA 1. Estimativa da variação da intensidade da radiação solar que atinge a superfície terrestre na faixa intertropical do Hemisfério Sul no nível do mar, considerando um valor $m = \sec\psi$ para a massa atmosférica, ausência de nuvens e coeficiente de turbidez atmosférica $t = 0,1$.

A razão pela qual a intensidade da radiação solar diminui à medida que aumenta a latitude, é que os raios solares atingem a Terra na faixa do equador com maior elevação média em relação ao plano do horizonte. Desse modo, os mesmos atravessam uma camada mínima de atmosfera antes de atingir a superfície terrestre. Porém, à medida que o local é mais afastado do equador, a altura do Sol sobre o horizonte se reduz e os raios solares percorrem um trajeto mais longo na atmosfera antes de chegar ao solo; acima dos 66° de latitude, nas regiões polares, a intensidade da radiação é mínima e mesmo nula em grande parte do ano.

A região intertropical é aquela faixa entre os 23°27' de latitude sul (Trópico de Capricórnio) e 23°27' de latitude norte (Trópico de Câncer), na qual o Sol se posiciona no zênite, isto é, perpendicularmente sobre a superfície terrestre, em alguma época do ano. Devido a essa característica, as regiões nela localizadas – constituindo a maior parte do território brasileiro – são aquelas que apresentam maior intensidade de radiação solar. Nessas regiões, há necessidade de abrigo para os animais em campo aberto, sombras sob as quais encontrem proteção contra a radiação solar quando a mesma é excessiva.

Existem diversos trabalhos publicados a respeito da predição da sombra projetada por abrigos artificiais, mas não há na literatura abordagens similares para o sombreamento proporcionado por árvores, exceto a menção no livro de MONTEITH & UNSWORTH (1990) sobre o fator de conformação de árvores de copa cônica. Da mesma forma que no caso de abrigos artificiais, técnicas desse tipo podem ser importantes para projetos de sombreamento de pastagens, de paisagismo, de parques e jardins.

No caso presente, é abordado o caso de árvores em pastagens visando à oferta de sombra suficiente e adequada para os animais, ao mesmo tempo em que seriam evitados problemas decorrentes de distribuição imprópria das árvores.

ASPECTOS TEÓRICOS

Posição do Sol

A quantificação de uma área de sombra depende não apenas das dimensões do anteparo que a produz, como também do ângulo de incidência da radiação. Considerando os raios solares atingindo a superfície terrestre, esse ângulo pode ser medido com respeito ao horizonte (ângulo de elevação do Sol, θ) ou com respeito a uma linha perpendicular ao solo, o zênite (ângulo zenital do Sol, ψ), conforme ilustra a Figura 2.

O ângulo de incidência da radiação solar é uma consequência da posição do Sol na abóbada celeste e depende da latitude do local, da época do ano e da hora do dia. Na Figura 3A, mostram-se as posições do Sol sobre a cidade de Ribeirão Preto - SP ($21^{\circ}10'42''$ latitude sul, $47^{\circ}48'24''$ longitude oeste), no dia 22 de dezembro, quando o Sol se acha na sua declinação máxima ao sul (solstício de verão). Os pontos sobre a curva representam as horas de observação (6 às 18 h), podendo-se notar que, ao meio-dia, o Sol se acha em posição perfeitamente perpendicular sobre o ponto central, que representa a localização do observador; isso significa que esse se acha recebendo a máxima intensidade de radiação. Conforme o Sol vai caminhando para o poente, desvia-se progressivamente para o sul.

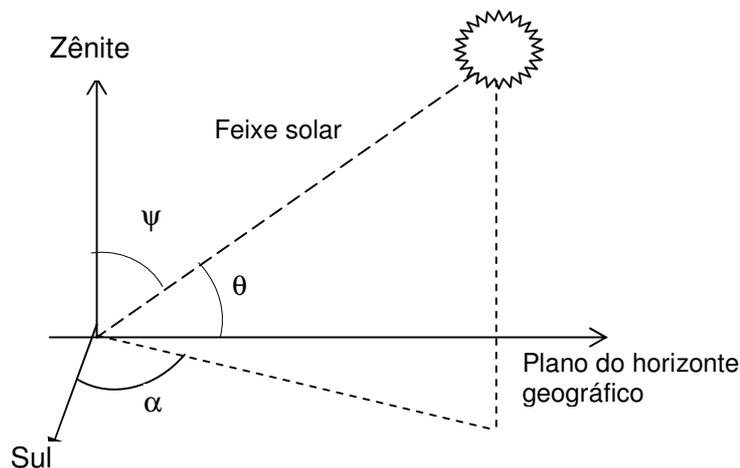


FIGURA 2. Ângulos zenital (ψ), de elevação (θ) e azimutal (α) do Sol.

A situação no inverno é diferente, conforme a Figura 3C, a qual mostra o trajeto do Sol no céu no dia 21 de junho, quando está na sua posição máxima ao norte. Nessa época, a radiação atinge o local sempre em ângulo bastante baixo e em nenhum momento o Sol se aproxima do zênite. Entre esses dois extremos, no outono e na primavera (Figuras 3B e 3D, respectivamente), o Sol percorre um caminho intermediário e praticamente igual.

Deve ser notado que as posições do Sol indicadas na Figura 3 referem-se a um ponto localizado no centro do gráfico, sendo bastante claro que essas posições relativas variam também na horizontal, isto é, conforme a orientação dos pontos cardeais. Portanto, um terceiro ângulo deve ser introduzido, o ângulo azimutal do Sol (α), que é definido como o posicionamento da projeção do Sol sobre o plano horizontal, deslocando-se em relação a um ponto dado com respeito à direção sul, num sentido anti-horário (Figura 3).

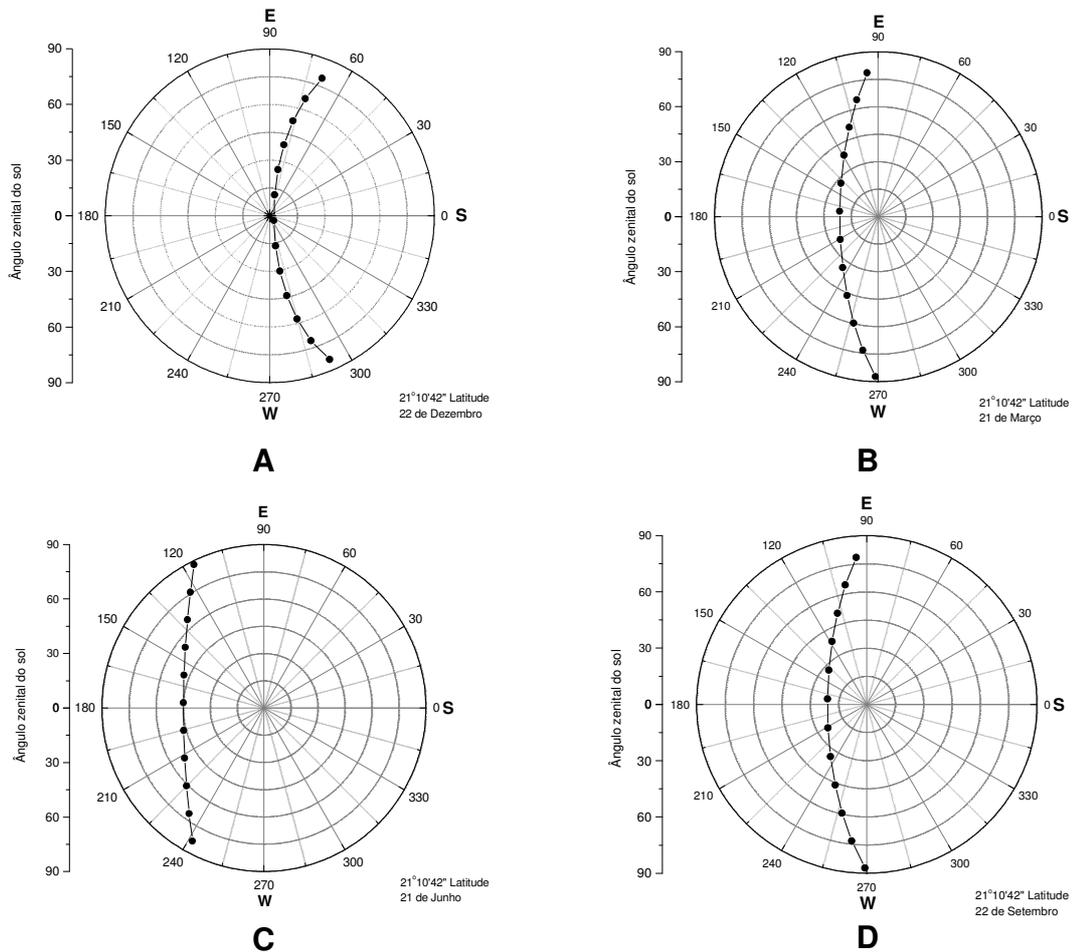


FIGURA 3. Trajetória do Sol na abóbada celeste nos dias de solstício e equinócio, sobre a cidade de Ribeirão Preto - SP (21°10'42'' latitude sul). Os pontos nas curvas representam as horas do dia.

A determinação dos ângulos solares requer as seguintes informações: (1) latitude do local, (2) longitude do local, (3) data e (4) hora do dia. Quanto a essa última, a hora indicada no relógio não serve para uma determinação astronômica, uma vez que a mesma se refere à hora legal (t) que, na maior parte do Brasil, corresponde à do meridiano de 45° oeste. Para obter a hora local, calcula-se a correção:

$$c_h = \frac{L - 45}{15} \tag{1}$$

em que, L é a longitude do local, em graus decimais.

(1) Ângulo zenital do Sol:

$$\cos \psi = \cos \varphi \cos \delta \cos \eta + \sin \varphi \sin \delta \quad (2)$$

em que,

$$\delta - \text{declinação estacional do Sol} = 23,45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365,242} (284 + k) \right]; \quad (3)$$

k - dia do ano (1= 1^o de janeiro);

$$\eta - \text{ângulo horário do Sol} = 15(t - c_h - 12), \text{ e} \quad (4)$$

t - hora legal, em valor decimal.

(2) Ângulo de elevação do Sol:

$$\theta = 90 - \psi \quad (5)$$

(3) Ângulo azimutal do Sol:

$$\alpha = 180 - \operatorname{arc-sen} \left[-\frac{\cos \delta \operatorname{sen} \eta}{\operatorname{sen} \psi} \right] \quad (6)$$

Deve-se lembrar que o valor de k precisa ser sempre acrescentado de uma unidade quando o ano for bissexto, e o mês, posterior a fevereiro.

PREDIÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DA SOMBRA

Para fins de determinação da forma e da posição de uma sombra, são necessários as dimensões da árvore e o formato geométrico aproximado da sua copa. Serão aqui considerados os seguintes formatos básicos de copa: esférico, lentiforme, cilíndrico, cônico, cônico invertido e elipsóide.

Árvores de copa esférica

A área da sombra projetada por uma árvore de copa aproximadamente esférica (Figura 4) é dada por:

$$A_s = \frac{\pi r^2}{\operatorname{sen} \theta} \text{ (m}^2\text{)},$$

em que, r é o raio da copa (m).

Quanto menor o ângulo θ , mais comprida é a forma elíptica da sombra projetada no solo.

O comprimento da sombra é dado por:

$$c = \frac{2r}{\operatorname{sen} \theta} \quad (8)$$

e a distância maior da sombra em relação ao tronco da árvore por:

$$s = \frac{r + y}{\tan \theta} + \frac{r}{\operatorname{sen} \theta} \quad (9)$$

em que, y é a altura do tronco (m), do solo à base da copa.

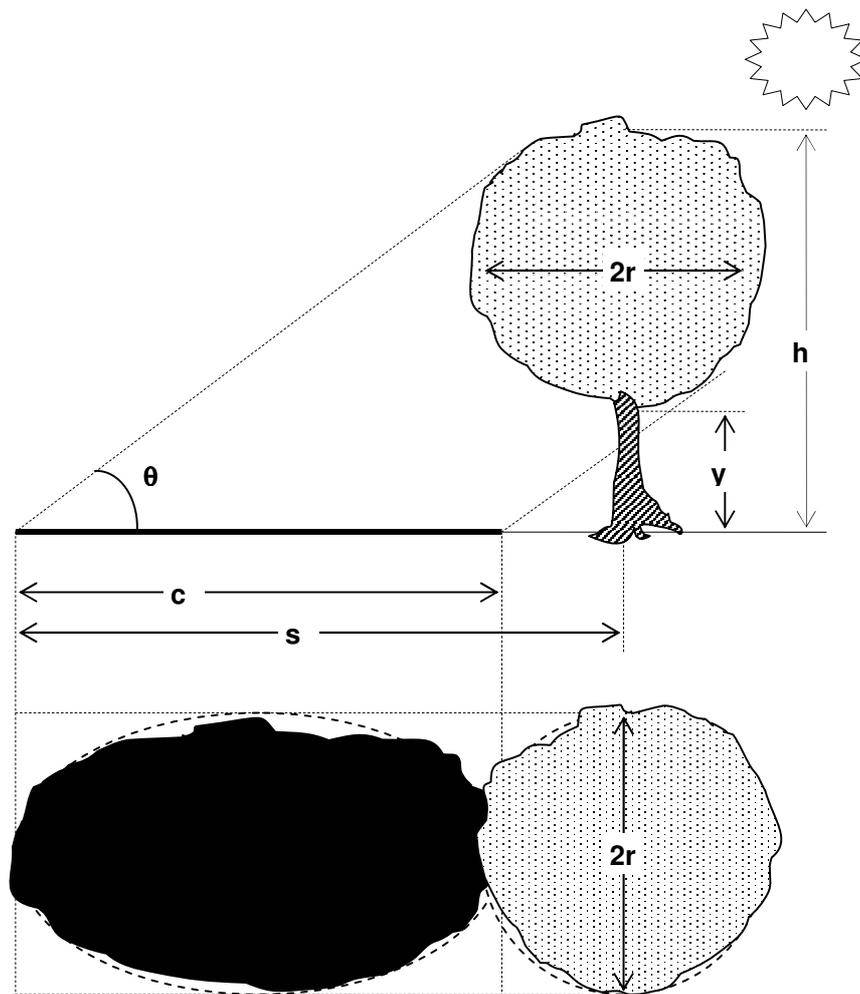


FIGURA 4. Esquema da projeção da sombra de uma árvore de copa esférica.

Árvores de copa lentiforme

A copa é redonda, mas achatada na vertical, com o formato de um grão de lentilha, conforme Figura 5. A sombra projetada por uma árvore desse tipo apresenta comprimento:

$$c = 0,6(h - y) \left(\frac{1}{\text{sen}\theta} - 1 \right) + 2R \quad (10)$$

enquanto a distância da sombra em relação ao tronco é dada por:

$$s = \frac{h - r}{\tan\theta} + 0,3(h - y) \left(\frac{1}{\text{sen}\theta} - 1 \right) + R \quad (11)$$

A área da sombra é estimada pela fórmula:

$$A_s = \frac{\pi r R}{\text{sen}\theta} \text{ , m}^2 \quad (12)$$

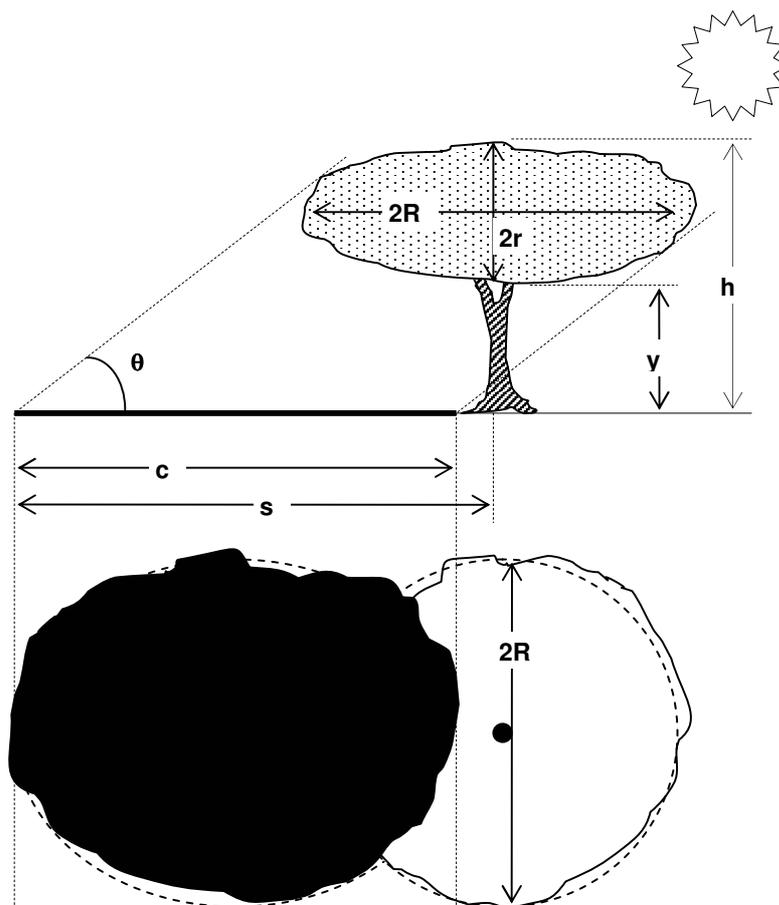


FIGURA 5. Esquema da projeção da sombra de uma árvore de copa lentiforme.

Árvores de copa cilíndrica

Diversas espécies, tais como os eucaliptos e mesmo as coníferas, às vezes podem apresentar copas estreitas e alongadas, assemelhando-se a cilindros com extremos arredondados (Figura 6).

A área da sombra projetada é:

$$A_s = \frac{\pi r^2}{\text{sen } \theta} + \frac{2r(h - y - 2r)}{\text{tan } \theta} \quad (13)$$

O comprimento da sombra é dado por:

$$c = \frac{2r}{\text{sen } \theta} + \frac{h - y - 2r}{\text{tan } \theta} \quad (14)$$

e o deslocamento da sombra em relação ao tronco por:

$$s = \frac{h - r}{\text{tan } \theta} + \frac{r}{\text{sen } \theta} \quad (15)$$

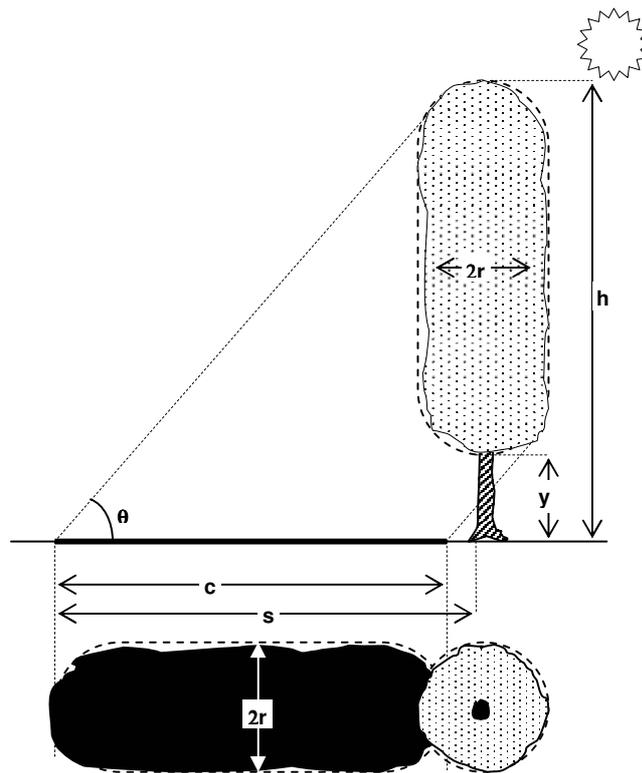


FIGURA 6. Esquema da projeção da sombra de uma árvore de copa cilíndrica.

Árvores de copa cônica

Muitas espécies arbóreas apresentam copa de formato cônico além de, naturalmente, as coníferas. Aliás, nem sempre estas últimas são realmente cônicas, podendo ser freqüentemente cilíndricas ou até mesmo com outras formas. Para o caso de árvores com forma realmente cônica, consideramos as dimensões especificadas na Figura 7.

Para esse tipo de árvore, o comprimento da sombra projetada é dado por:

$$c = \frac{h - y}{\tan\theta} + r \quad (\text{m}) \quad (16)$$

e o deslocamento da sombra em relação ao tronco por:

$$s = \frac{h}{\tan\theta} \quad (\text{m}) \quad (17)$$

Quanto à área da sombra, pode ser calculada como:

$$d = r \cos\beta \quad (18)$$

$$a = c - r - d \quad (19)$$

$$b = d \tan\beta \quad (20)$$

$$e = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (21)$$

$$x = \frac{a + b + e}{2} \quad (22)$$

$$A_s = 2\sqrt{x(x - a)(x - b)(x - e)} + \pi r^2 - \beta r^2 - d^2 \tan\beta \quad (23)$$

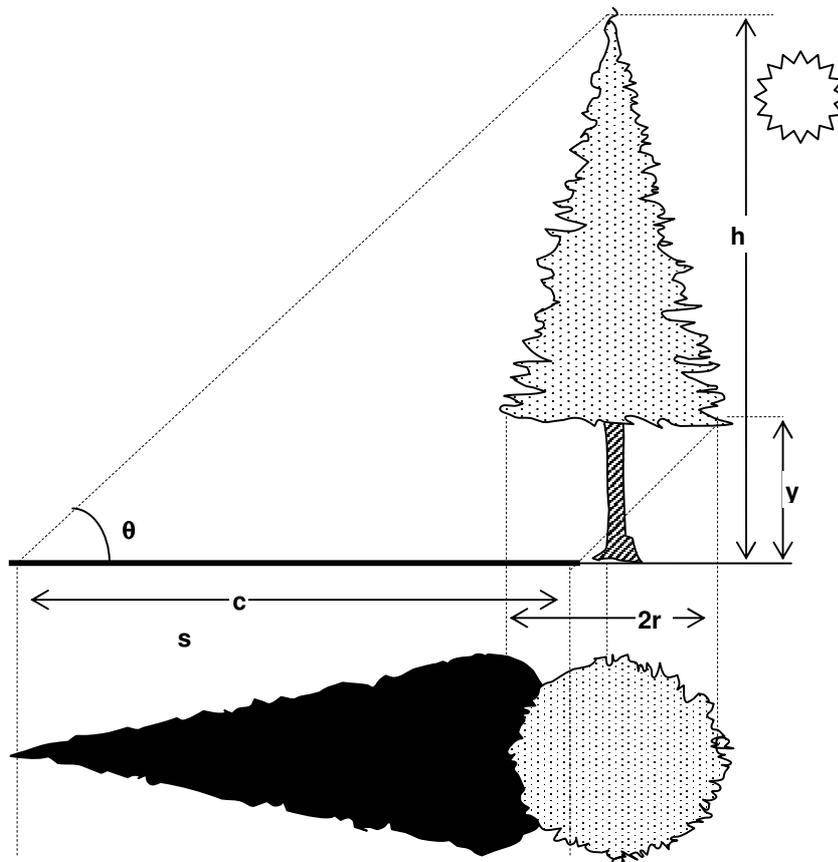


FIGURA 7. Esquema da projeção da sombra de uma árvore de copa cônica.

Árvores de copa elipsóide

Algumas espécies, entre as quais os eucaliptos, podem apresentar copa com o formato de um elipsóide oblato, conforme o esquema da Figura 8. Nesses casos, o comprimento da sombra é dado por:

$$c = \frac{h - y}{\tan\theta} \quad (\text{m}) \quad (24)$$

O deslocamento da sombra com respeito ao tronco é calculado como:

$$s = \frac{h}{\tan\theta} \quad (\text{m}) \quad (25)$$

e a área de superfície da sombra como:

$$A_s = 0,5\pi c r \text{ m}^2 \quad (26)$$

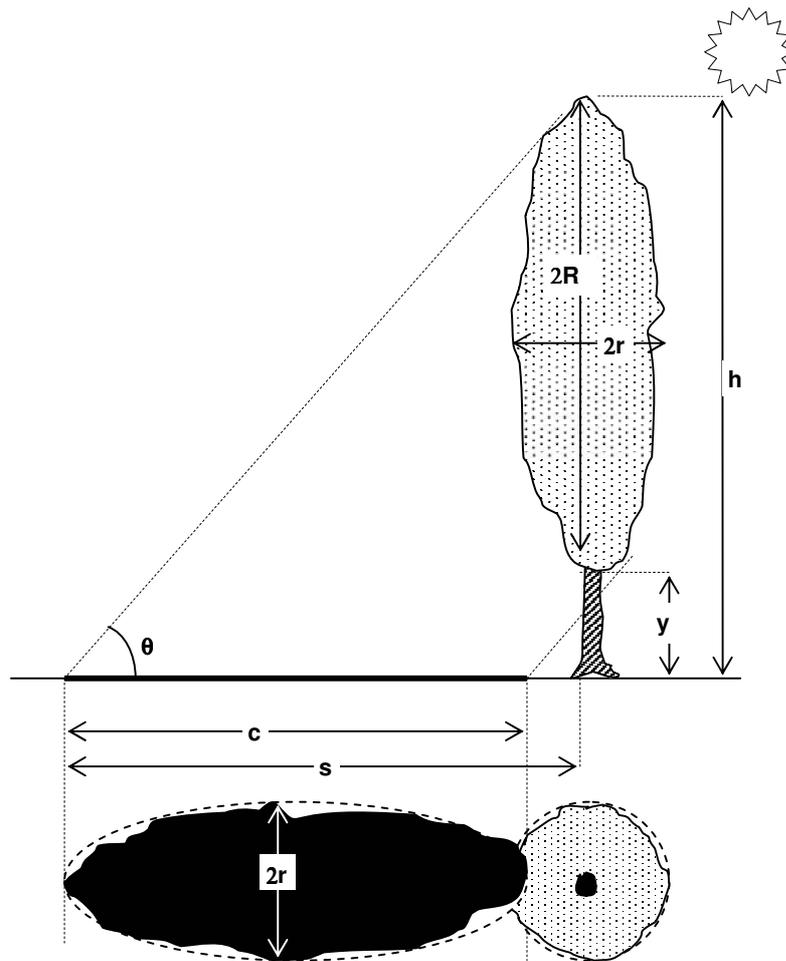


FIGURA 8. Esquema da projeção da sombra de uma árvore de copa elipsóide.

Árvores de copa cônica invertida

Há grande número de espécies de árvores comuns nos campos, principalmente leguminosas, que apresentam amplas copas de formato cônico invertido (Figura 9). As fórmulas usadas são as mesmas para o caso da copa cônica.

Exemplo

Seja um eucalipto localizado em uma pastagem a $20^{\circ}15'$ de latitude sul e $47^{\circ}22'$ de longitude oeste, apresentando copa de formato cilíndrico de 13,5 m de altura e 4,5 m de diâmetro. O tronco mede 2,5 m entre a parte inferior da copa e o solo. Deseja-se saber a orientação e a área da sombra projetada pela árvore às 13h30 do dia 11 de março de 2005.

Solução:

- $h = 13,5 \text{ m}$
- $r = 4,5/2 = 2,25 \text{ m}$
- $y = 2,5 \text{ m}$
- $\phi = -20^{\circ}15' = -20,25^{\circ}$
- $L = 47^{\circ}22' = 47,3667^{\circ}$
- $k = 70$ (o ano não é bissexto, caso em que $k=71$)
- $t = 13:30 = 13,5 \text{ h}$

$$\begin{aligned}\delta &= 23,45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365,242} (284 + k) \right] \\ &= 23,45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365,242} (284 + 70) \right] = -4,50687^\circ\end{aligned}$$

$$c_h = \frac{L - 47,81}{15} = \frac{47,3667 - 45}{15} = 0,157778^\circ$$

$$\eta = 15(t - c_h - 12) = 15[13,5 - 0,157778 - 12] = 20,133333^\circ$$

$$\begin{aligned}\cos \psi &= \cos \varphi \cos \delta \cos \eta + \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta \\ &= \cos(-20,25) \cos(-4,50687) \cos(20,133333) + \operatorname{sen}(-20,25) \operatorname{sen}(-4,50687) \\ &= 0,905336\end{aligned}$$

$$\psi = \arccos(0,905336) = 25,131416^\circ$$

$$\theta = 90 - \psi = 90 - 25,131416 = 64,868584^\circ$$

$$\begin{aligned}\alpha &= 180 - \arcsen \left[-\frac{\cos \delta \operatorname{sen} \eta}{\operatorname{sen} \psi} \right] \\ &= 180 - \arcsen \left[-\frac{\cos(-4,50687) \operatorname{sen}(20,133333)}{\operatorname{sen}(25,131416)} \right] = 233,9^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{\pi r^2}{\operatorname{sen} \theta} + \frac{2r(h - y - 2r)}{\tan \theta} \\ &= \frac{\pi(2,25)^2}{\operatorname{sen}(64,868584)} + \frac{2(2,25)(13,5 - 2,5 - 4,5)}{\tan(64,868584)} = 31,29 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$c = \frac{2r}{\operatorname{sen} \theta} + \frac{h - 2r - y}{\tan \theta} = \frac{4,5}{\operatorname{sen}(64,868584)} + \frac{13,5 - 4,5 - 2,5}{\tan(64,868584)} = 8,02 \text{ m}$$

$$s = \frac{h - r}{\tan \theta} + \frac{r}{\operatorname{sen} \theta} = \frac{13,5 - 2,25}{\tan(64,868584)} + \frac{2,25}{\operatorname{sen}(64,868584)} = 7,76 \text{ m}$$

Os resultados são ilustrados pelo gráfico da Figura 10.

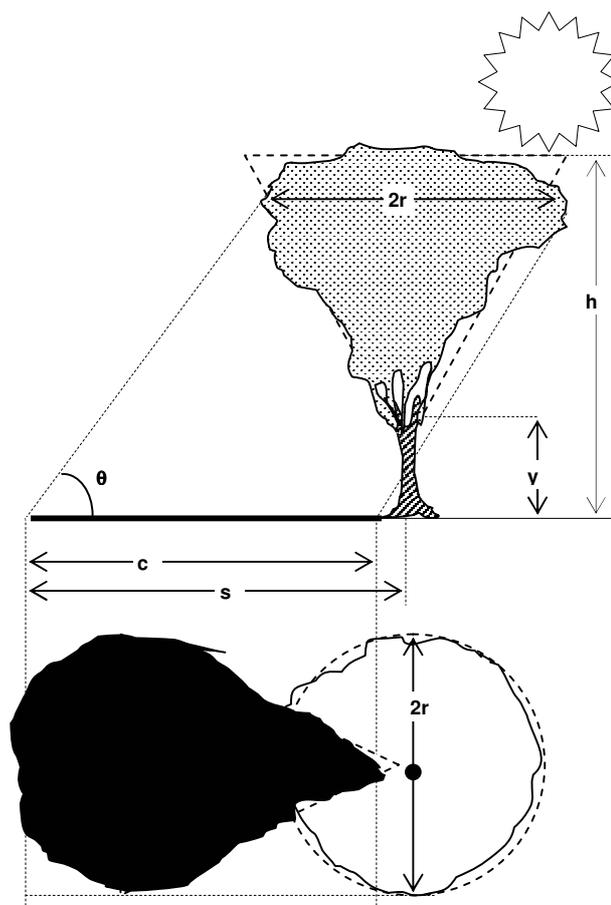


FIGURA 9. Esquema da projeção da sombra de uma árvore de copa cônica invertida.

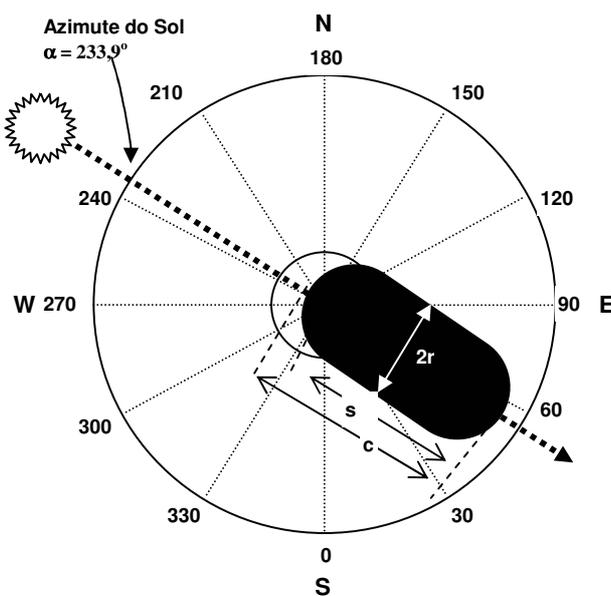


FIGURA 10. Orientação da sombra projetada pelo eucalipto do exemplo dado.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As equações apresentadas permitem a caracterização da sombra projetada por diversos tipos de árvores, conforme locais, épocas e horários especificados. Seu emprego no planejamento da arborização de uma pastagem resulta no plantio do número de árvores exatamente necessário para dar área de sombra suficiente para abrigar todos os animais de uma pastagem, evitando não apenas carência de sombras, como também excesso de árvores, o qual pode ser prejudicial às plantas forrageiras.

No que se refere à aplicação da área de sombra em termos práticos, os diversos autores apresentam valores que variam bastante, podendo-se citar 5,6 m² por animal (BOND et al., 1958), 4,2 m² por animal (BUFFINGTON et al., 1983) e 1,8-2,5 m² por animal (HAHN, 1985). Os valores propostos por esse último autor não são adequados para região tropical, pois envolvem excessiva aglomeração dos animais e - como os mesmos procuram evitá-la para não aumentar o desconforto térmico - provavelmente, a área de sombra torna-se insuficiente para abrigar a todos.

Finalmente, a função da sombra é proteger os animais da exposição aos pontos de maior temperatura radiante do ambiente e ao mesmo tempo favorecer sua exposição aos pontos que apresentam temperatura mais baixa que a da superfície corporal dos animais. Dessa forma, esses tendem a perder e não a ganhar energia térmica por radiação. Tendo esse fato em vista, é altamente recomendável que os animais abrigados à sombra de uma árvore estejam expostos à grande área de céu aberto, cuja temperatura é quase sempre muito baixa, mesmo em um dia de verão ensolarado e muito quente. Nesses casos, a temperatura radiante média à sombra é bem inferior àquela medida fora da sombra; inclusive, é inferior à registrada à sombra de uma árvore de copa baixa, embora ampla e densa. Esse fato pode ser facilmente comprovado por meio de um radiômetro de infravermelho.

O exemplo apresentado na Figura 10 mostra uma sombra de tipo desejável, que é produzida por árvores de copa alta. A esse respeito, as árvores mais adequadas são aquelas de copas amplas, elevadas e com o formato de um cone invertido.

REFERÊNCIAS

- BENNETT, I.L.; FINCH, V.A.; HOLMES, C.R. Time spent in shade and its relationship with physiological factors of thermoregulation in three breeds of cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, Amsterdam, v.13, p.227-36, 1985.
- BOND, T.E.; KELLY, C.F.; HEITMAN, Jr. H. Improving livestock environment in high-temperature areas. *Journal of Heredity*, Washington, v.49, p.75-9, 1958.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLIER, R.J.; CANTON, G.H. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.26, p.1798-802, 1983.
- DAVISON, T.M.; SILVER, B.A.; LISLE, A.T.; ORR, W.N. The influence of shade on milk production of Holstein-Friesian cows in a tropical upland environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Melbourne, v.28, p.149-54, 1988.
- HAHN, G.L. Management and housing of farm animals in hot environments. In: YOUSEF, M.K. (Ed.). *Stress physiology of livestock*. Boca Raton: CRC Press, 1985. v.2, p.151-74.
- HANSEN, P.J. Effects of coat colour on physiological responses to solar radiation in Holsteins. *Veterinary Record*, London, v.127, p.333-4, 1990.

IGONO, M.O. Effect of a humid temperate climate and environmental modifications with shade, spray and fan, on milk production, thermal balance and hormone function of dairy cows. *Dissertation Abstracts International. Section B, Sciences and Engineering*, Ann Arbor, v.46, p.3645, 1986.

INGRAHAM, R.H.; STANLEY, R.W.; WAGNER, W.C. Seasonal effects of tropical climate on shaded and non-shaded cows as measured by rectal temperature, adrenal cortex hormones, thyroid hormone, and milk production. *American Journal of Veterinary Research*, Chicago, v.40, p.1792-7, 1979.

McDANIEL, A.H.; ROARK, C.B. Performance and grazing habits of Hereford and Aberdeen-Angus cows and calves on improved pastures as related to types of shade. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.15, p.59-63, 1956.

McILVAIN, E.H.; SHOOP, M.C. Shade for improving cattle gains and rangeland use. *Journal of Range Management*, Denver, v.24, p.181-4, 1970.

MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. *Principles of environmental physics*. 2nd ed. London: Edward Arnold, 1990. 291 p.

ROMAN-PONCE, H.; THATCHER, W.W.; BUFFINGTON, D.E.; WILCOX, C.J.; HORN, H.H. Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v.60, p.424-31, 1977.

SILVER, B.A. Shade is important for milk production. *Queensland Agricultural Journal*, Brisbane, v.113, p.95-6, 1987.