

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 2, p. 131-142, 1994.

Aprovado para publicação em 15/06/94.

MODIFICAÇÕES FÍSICAS CAUSADAS PELO MULCHING

PHYSICAL MODIFICATIONS CAUSED BY MULCHING

Nereu Augusto Streck¹, Flavio Miguel Schneider² e Galileo Adeli Buriol²

-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-

RESUMO

O "mulching" consiste na aplicação de qualquer cobertura na superfície do solo e que constitui uma barreira física à transferência de energia e vapor d'água entre o solo e a atmosfera. Esta revisão analisa as principais modificações no balanço de energia, na temperatura e na umidade do solo promovidas pelo uso do mulching. Mulchings opacos (plásticos preto, branco e coloridos em geral, papel, resíduos de petróleo, asfalto e cobertura vegetal morta) aumentam o fluxo de calor sensível acima do mulching e diminuem a amplitude térmica diária do solo. Mulchings transparentes e translúcidos proporcionam maior radiação líquida na superfície do solo e fluxo de calor para o solo e, como consequência, as temperaturas mínima e máxima do solo são superiores. O mulching, independente da sua natureza, reduz a evaporação e como consequência aumenta a conservação da umidade do solo.

Palavras-chave: mulching, balanço de energia, temperatura, umidade do solo.

SUMMARY

¹Engº Agrº, Aluno do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - 97.119-900 - Santa Maria, RS. Bolsista do CNPq.

²Engº Agrº, Professor Titular, Departamento de Fitotecnia, CCR, UFSM. Bolsista do CNPq.

Mulching is defined as the application or creation of any soil cover that constitutes a barrier to energy and water vapor transfer between the soil and the atmosphere. A review is presented to analyse energy balance, temperature, and soil moisture modifications caused by soil mulching. Opaque mulches (black, white and colored plastics, paper, petroleum, bitumen and straw) increase sensible heat flux above the mulching and reduce the daily amplitude of soil temperature. Clear and translucent mulches promote a relatively large net radiation at the soil surface and increase soil heat flux and in consequence minimum and maximum soil temperature are increased. Soil mulching reduces surface evaporation and as a consequence soil moisture conservation is improved, regardless mulch material.

Key words: mulching, energy balance, temperature, soil moisture.

INTRODUÇÃO

Denomina-se "mulching" a aplicação de qualquer cobertura na superfície do solo e que constitui uma barreira física à transferência de energia e vapor d'água entre o solo e a atmosfera (ROSENBERG, 1974).

Existem vários tipos de materiais utilizados na técnica do mulching. Entre os materiais naturais têm-se os diferentes tipos de resíduos culturais (cobertura vegetal morta ou viva). Entre os materiais sintéticos, os primeiros a serem utilizados como mulching foram o papel e resíduos de petróleo (SHAW, 1926; SMITH, 1931). Com o surgimento da indústria petroquímica, a partir da década de 50, materiais mais baratos, como o filme de polietileno opaco preto, foram propostos para utilização como mulching (EMMERT, 1957; CLARKSON & FRAZIER, 1957; GLINIECKI, 1959; CLARKSON, 1960; FRITSCHEN & SHAW, 1960). Materiais plásticos transparentes, brancos e coloridos (translúcidos e opacos) são hoje disponíveis no mercado e utilizados com diferentes objetivos na agricultura (INADA, 1973; KATAN et al, 1976; CHOPRA & CHAUDHARY, 1980; SILVA, 1980; BERTON, 1981; MAURYA & LAL, 1981; GURNAH & MUTEA, 1982; HAYNES, 1987). O mulching de petróleo também tem sido usado em muitas situações. Consiste de uma emulsão de água e resinas de petróleo, aplicado na forma de "spray" sobre o solo, formando assim um filme aderente em íntimo contato com o solo (TAKATORI et al, 1964; ADAMS, 1967). Apresenta como vantagem, em relação aos filmes plásticos, a característica de ser facilmente atravessado pelas plântulas e metabolizado por microorganismos após alguns meses de utilização, não sendo necessário sua retirada da área (ADAMS, 1967). O asfalto também é usado como mulching, com as mesmas vantagens do petróleo (PHIPPS & COCHRANE, 1975).

Entretanto, os materiais provenientes de petróleo apresentam resíduos com grupos fenólicos altamente poluentes, sendo extremamente combatidos na Europa por serem lixiviados para o lençol freático.

A técnica do mulching é utilizada para reduzir a infestação de invasoras, diminuir as perdas de água do solo e modificar o microclima do solo. Aumentos na precocidade e no rendimento de várias culturas têm sido relatados quando filmes plásticos e outros materiais foram usados como mulching. Na Tabela 1 estão sintetizados alguns trabalhos que evidenciam o aumento no rendimento de algumas culturas devido a técnica do mulching. Muitos fatores estão envolvidos na resposta positiva das plantas ao mulching como a modificação na temperatura do solo e do ar próximo ao mulching, conservação da umidade do solo, manutenção das propriedades físicas e químicas do solo, menor compactação, controle de invasoras e diminuição de doenças (CLARKSON & FRAZIER, 1957; EMMERT, 1957; GLINIECKI, 1959; CLARKSON, 1960; COURTER & OEBKER, 1964; HOPEN, 1965; HAWTHORNE, 1975; BRUNINI et al, 1976; LAL, 1978; HAYNES, 1987; SHEKOUR et al, 1987; SOWERS & WELTERLEN, 1988; KATAN & DEVAY, 1991).

Esta revisão analisa as modificações no balanço de energia, no regime térmico e no teor de umidade do solo causadas pela técnica do mulching.

HISTÓRICO

A utilização de mulching em escala comercial foi feita pela primeira vez em 1914 por Eckart, gerente de uma empresa açucareira, no Hawaii, com a aplicação de mulching de papel sobre as linhas de plantio de cana-de-açúcar (SHAW, 1926; SMITH, 1931). O primeiro efeito benéfico relatado neste trabalho foi o controle de invasoras. O uso do mulching na cultura da cana-de-açúcar naquela época, porém, não teve êxito. Ao contrário, o mulching foi intensamente incentivado na cultura do abacaxi, onde em 1931 aproximadamente 80% das lavouras no Hawaii apresentavam mulching de papel (SMITH, 1931).

Até 1926, só existiam relatos empíricos da modificação no ambiente do solo proporcionado pelo mulching, em trabalhos apresentados no "Annual Short Courses in Pineapple Production" da Universidade do Hawaii e em jornais populares da época que circulavam nas ilhas (SHAW, 1926). O primeiro trabalho em que foram medidas modificações na temperatura e umidade do solo devido ao uso do mulching foi realizado em 1924, em Berkeley, EUA, por SHAW (1926). Evidenciou-se, neste trabalho, um aumento na temperatura média e diminuição na amplitude térmica, assim como maior conservação da umidade no solo com mulching de papel.

Em 1926 a "Society of Manufacturers of Roofing Paper" conduziu testes com mulching de papel em vinte e cinco estações experimentais na Alemanha (SMITH, 1931). Estes testes mostraram que o papel sobre o

solo manteve a estrutura inicial do solo e aumentou sua temperatura média em 2,2 a 2,8°C em relação ao solo desnudo.

De 1928 a 1931 foram conduzidos experimentos em Nova Iorque, EUA, para avaliar o mulching de papel nas culturas da beterraba, do feijoeiro, da couve, do tomate, do pimentão e do melão (THOMPSON & PLATENIUS, 1931). Nestes ensaios obteve-se aumentos de 12%, 17%, 57% e 13% no rendimento de feijoeiro, tomate, pimentão e melão, respectivamente, não havendo efeito sobre o rendimento da beterraba e da couve. Evidenciou-se também a conservação da umidade do solo e o maior teor de N-nitrato no solo com mulching.

Tabela 1 - Aumentos no rendimento de culturas devidos ao uso da técnica do mulching.

Cultura	Aumento*	Referência
Abóbora	0-57	COURTER & OEBKER (1964)
Alface	200	GLINIECKI (1959)
Batata	16	SMITH (1931)
Batata doce	0-210	KNAVEL & MOHR (1970)
Feijoeiro	12	THOMPSON & PLATENIUS (1931)
	3-103	EMMERT (1957)
	30-50	GLINIECKI (1959)
	22-49	BERTON (1981)
Feijão-vagem	23-48	KNAVEL & MOHR (1970)
Melão	13	THOMPSON & PLATENIUS (1931)
	55-230	CLARKSON & FRAZIER (1957)
	375	GLINIECKI (1959)
Milho	8-10	FRITSCHEIN & SHAW (1960)
	6-28	MAURYA & LAL (1981)
	34	PHIPPS & COCHRANE (1975)
Milho doce	19-73	HOPEN (1965)
	75	SHEKOUR et al (1987)
Morango	7-58	GLINIECKI (1959)
	95-247	CAMARGO & IGUE (1973)
	43-75	HAYNES (1987)
Pepino	27-119	COURTER & OEBKER (1964)
Pimentão	57	THOMPSON & PLATENIUS (1931)
Tomate	17	THOMPSON & PLATENIUS (1931)
	7-30	EMMERT (1957)
	125-250	GLINIECKI (1959)
	73-86	KNAVEL & MOHR (1970)
	34-67	VANDENBERG & TIESSEN (1972)

*% de aumento em relação à testemunha.

Vários outros experimentos foram feitos durante as décadas de 20 e 30 para testar o mulching de papel sobre várias culturas (Rowe-Dutton, 1957 apud COURTER & OEBKER, 1964). Nesses experimentos ocorreram aumentos de rendimento em várias culturas como pepino, melão, berinjela, tomate e pimentão, devido ao uso do mulching de papel. Na década de 40 não houveram avanços nos trabalhos com mulching, possivelmente em função da recessão imposta pela segunda guerra mundial.

A década de 50 abriu novas fronteiras no estudo do mulching, principalmente na busca de materiais para substituir o mulching de papel, material caro e pouco durável, que necessitava de aumentos substanciais no rendimento das culturas para obter retorno econômico que justificasse o seu uso (CLARKSON & FRAZIER,

1957; GLINIECKI, 1959; CLARKSON, 1960; FRITSCHEN & SHAW, 1960). Os materiais plástico foram os principais materiais utilizados nos novos estudos, destacando-se os filmes de polietileno opaco preto, transparente e translúcido. Os efeitos benéficos sobre as culturas bem como as modificações no ambiente do solo proporcionadas pelo seu uso foram identificadas ao longo das décadas de 50 e 60 (CLARKSON & FRAZIER, 1957; CLARKSON, 1960; FRITSCHEN & SHAW, 1960; GLINIECKI, 1959; COURTER & OEBKER, 1964; LIPPERT et al, 1964; HOPEN, 1965; EKERN, 1967).

Na década de 70, ao intensificar-se a utilização de plásticos na agricultura com o objetivo de cultivo em regiões e épocas não adequadas através de ambientes parcialmente modificados, aumentou a oferta de materiais plásticos no mercado. Em Israel, onde a técnica do mulching é utilizada para diminuir a perda de água irrigada, foi proposto o uso do polietileno transparente sobre o solo úmido durante os meses de verão para aumentar a temperatura do solo a níveis de inativação de patógenos do solo (KATAN et al, 1976). O novo método físico de erradicação de patógenos do solo, conhecido como solarização do solo, constitui-se na mais recente forma de utilização de mulching, sendo já utilizado em várias regiões do Globo (KATAN & DEVAY, 1991; SCHNEIDER et al, 1993).

Atualmente, utiliza-se mulching principalmente no revestimento de canais de irrigação, e de silos para silagem, na fruticultura, floricultura e olericultura convencional e em ambientes parcialmente modificados.

MODIFICAÇÕES FÍSICAS

O efeito de qualquer mulching na modificação do regime térmico e de umidade do solo é principalmente determinado pela modificação no balanço de energia sob o mulching. As duas equações básicas que descrevem o balanço de energia na superfície do solo desnudo e com mulching são (MAHRER, 1991):

$$K^* + L^* + H + LE + S = 0 \quad (1)$$

$$K_m^* + L_m^* + H_m + L E_m + S_m = 0 \quad (2)$$

Onde:

K^* = balanço de radiação de ondas curtas;

L^* = balanço de radiação de ondas longas;

H = fluxo de calor sensível;

LE = fluxo de calor latente;

S = fluxo de calor para o solo;

m = solo com mulching.

O balanço de ondas curtas e de ondas longas na superfície do solo desnudo e com mulching é determinado pelas suas propriedades óticas. Conforme MAHRER (1991), tem-se:

$$K^* = (1 - \alpha) K \downarrow \quad (3)$$

$$K_m^* = t_m (1 - \alpha) (1 + r_m) K \downarrow \quad (4)$$

$$L_m^* = \epsilon_s [1 + r_{Lm} (1 - \epsilon_s)] (t_{Lm} L \downarrow + \epsilon_m \sigma T_m^4) - (1 - r_{Lm} \epsilon_s) \epsilon_s \sigma T_s^4 \quad (5)$$

$$L^* = \epsilon_s (L \downarrow - \sigma T_s^4) \quad (6)$$

Onde:

α = albedo de onda curta da superfície do solo;

$K \downarrow$ e $L \downarrow$ = densidade de fluxo de radiação solar global e de onda longa, respectivamente, incidentes no mulching ou no solo desnudo;

t_m e r_m = coeficientes de transmissão e reflexão da radiação solar global pelo mulching, respectivamente;

t_{Lm} e r_{Lm} = coeficientes de transmissão e reflexão da radiação de ondas longas pelo mulching, respectivamente;

ϵ_s e ϵ_m = emissividade do solo e do mulching, respectivamente;

σ = constante de Stefan-Boltzmann;

T_s e T_m = temperaturas absolutas da superfície do solo e do mulching, respectivamente.

Na Tabela 2 estão apresentadas as principais propriedades óticas de alguns materiais sintéticos utilizados como mulching e do solo desnudo. A análise comparativa com o solo desnudo nos permite inferir que sobre o mulching preto (asfalto e plástico preto) existe menor densidade de fluxo de radiação solar refletida, enquanto que sobre o poliéster aluminizado este fluxo é maior. O plástico transparente apresenta elevada transmissividade à onda curta e onda longa e reflexão similar ao solo desnudo. Assim, comparativamente ao solo desnudo, pode-se inferir que a radiação líquida (Q^*) durante o período diurno é maior sobre mulching opaco preto, similar sobre mulching transparente e menor sobre mulching aluminizado. Resultados obtidos por Waggoner et al (1960) apud ROSENBERG (1974) e por LIAKATAS et al (1986) e apresentados na Tabela 3, confirmam estas inferências. Menores valores de Q^* acima de mulching de cobertura morta estão associados a

Tabela 2 - Propriedades óticas de alguns materiais utilizados como mulching e do solo desnudo.

Propriedade	Solo desnudo	Asfalto	Poliéster aluminizado (23µm)	Poliétileno (125µm)	
				Preto	Transparente
Refletividade					
onda curta	0,14*	0,03	0,55	0,09	0,13
	0,24**				
onda longa	-	-	0,71	0,01	0,03
Transmissividade					
onda curta	-	-	0,00	0,02	0,82
onda longa	-	-	0,00	0,14	0,78

*solo úmido **solo seco
 Fontes: ROBLEDO & MARTIN (1981), TRIPATHI & KATIYAR (1984) e LIAKATAS et al (1986).

maior refletividade do material vegetal (WILLIS & AMENIYA, 1973; RADKE, 1982).

O mulching também promove modificações nos outros componentes do balanço de energia. Os fluxos de calor sensível (H), latente (LE) e para o solo (S) com e sem mulching, quantificados na superfície do solo, são dados por (MAHRER, 1991):

$$H = -rC_p h_o (T_s - T_{ae}) \quad (7)$$

$$H_m = -rC_p h(T_s - T_a) \quad (8)$$

$$LE = \rho C_p L h_o (q_s - q_{ae}) \quad (9)$$

$$LE_m = \rho C_p L h (q_s - q_a) \quad (10)$$

$$S = -K \left(\frac{\Delta T}{\Delta Z} \right) \quad (10)$$

Onde:

ρ = densidade do ar;

C_p = calor específico do ar;

h_o e h = coeficientes de transferência de calor sensível do ar externo e do ar da camada entre o solo e o mulching, respectivamente;

T_s , T_{ae} e T_a = temperaturas da superfície do solo, do ar externo e da camada de ar entre a superfície do solo e o mulching, respectivamente.

L = calor latente de vaporização;

q_s , q_{ae} e q_a = umidades específicas do ar nas temperaturas da superfície do solo, ar externo e da camada de ar entre o solo e o mulching, respectivamente.

K = condutividade térmica do solo;

$\Delta T/\Delta Z$ = gradiente de temperatura entre duas profundidades.

Tabela 3 - Valores instantâneos¹ do balanço de radiação (Q^*) sobre a superfície do mulching e do solo desnudo.

Cobertura	Q^* ($ly \cdot min^{-1}$)	
	Dia 12/10/58	Dia 11/06/59
Solo desnudo	0,64	0,92
Polietileno preto	0,72	1,02
Polietileno translúcido	0,64	-
Cobertura morta	-	0,87
Papel aluminizado	0,40	-

¹Medidas realizadas às 12h10min (12/10/58) e 11h44min (11/06/59).

Fonte: Waggoner et al (1960) apud ROSENBERG (1974)

O balanço de energia na superfície de alguns mulchings e do solo desnudo é apresentado na Tabela 4. O mulching de polietileno preto absorve grande parte da energia solar incidente, aquecendo-se e, como consequência, maior parte da radiação líquida é utilizada em fluxo de calor sensível para aquecimento da camada de ar próximo a superfície do mulching. Na Figura 1 pode-se observar que, próximo ao meio dia, a camada de ar adjacente ao mulching preto apresenta temperatura maior do que nos outros mulchings. FRITSCHEN & SHAW (1960) mediram a temperatura do ar em vários níveis acima de parcelas de milho com e sem mulching de polietileno preto. A 5cm, a temperatura do ar foi 0,6 a 2,8°C superior nas parcelas com plástico preto durante o período diurno. CLARKSON (1960) também verificou maior temperatura do ar (2,8 a 11,1°C) durante o período diurno a 5,2cm acima do mulching de polietileno preto em relação ao solo desnudo. O mulching de polietileno opaco preto é bastante utilizado na cultura do morango, com o objetivo de evitar o impacto direto da chuva no solo, controlar invasoras, diminuir a incidência de doenças e a perda de nutrientes por lixiviação e escoamento superficial, além de proteger os frutos do contato direto com o solo (EMMERT, 1957; LIPPERT et al, 1964; CAMARGO & IGUE, 1973; HAYNES, 1987). Quanto maior a área com mulching, maior será seu efeito na temperatura do ar e do solo (TAKATORI et al, 1964; Shadbott et al, 1962 apud WILLIS & AMENIYA, 1973). Portanto, pode-se esperar benefício adicional pelo aumento da temperatura diurna próximo ao mulching, principalmente em extensas áreas, contribuindo para maior precocidade da cultura. Este aquecimento junto ao mulching preto pode ser significativo também em ambientes fechados como estufas plásticas, onde a renovação do ar é menor e mais lenta.

A diminuição da perda de água do solo é outro aspecto positivo importante proporcionado pelo mulching de qualquer material e muito explorado em regiões áridas e semi-áridas, onde a água é um insumo caro (GLINIECKI, 1959). A magnitude da redução da evaporação pelo mulching depende da natureza do material. Os materiais impermeáveis ao vapor d'água, como o polietileno e o papel aluminizado reduzem drasticamente o fluxo de calor latente, como pode ser observado na Tabela 4. EKERN (1967) verificou que, em comparação ao solo desnudo, a evapotranspiração real de um cultivo de abacaxi foi 15,5% e 21% menor com mulching de papel e plástico, respectivamente. O plástico é uma barreira mais eficiente na diminuição da perda de água do solo do que o papel, pois a permeabilidade ao vapor d'água foi de 15% para o papel e 0,5% para o plástico. O efeito do mulching sobre a evaporação da água do solo em culturas também é evidenciado no trabalho de BENNETT et al (1966). Estes autores encontraram redução na evapotranspiração máxima (ET_m) do algodão durante os subperíodos iniciais de desenvolvimento da cultura com mulching, o que diminuiu a lâmina de água irrigada em

115,8 e 152,9 mm em dois experimentos. No entanto, no subperíodo reprodutivo, a ETm do algodão com e sem mulching foi similar. Como consequência do efeito sobre o fluxo de calor latente, há maior conservação da umidade do solo com o uso de mulchings sintéticos, aspecto evidenciado em vários trabalhos (SHAW, 1926; THOMPSON & PLATENIUS, 1931; CLARKSON & FRAZIER, 1957; GLINIECKI, 1959; COURTER & OEBKER, 1964; LIPPERT et al, 1964; KNAVEL & MOHR, 1970; CHOPRA & CHAUDHARY, 1980; MAURYA & LAL, 1981; VARADAN & RAO, 1983; MAHRER et al, 1984; HAYNES, 1987).

Tabela 4 - Valores instantâneos dos componentes do balanço de energia ($\text{ly}\cdot\text{min}^{-1}$) na superfície de alguns mulchings e no solo desnudo.

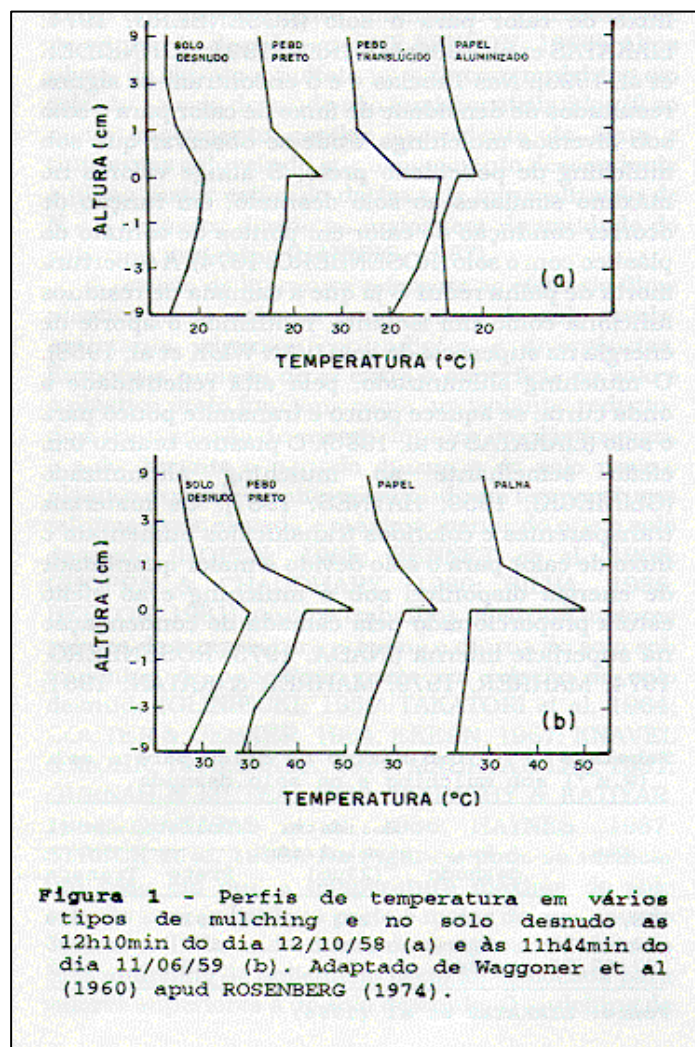
Fluxo	Solo desnudo	Polietileno		Papel aluminizado	Cobertura vegetal morta
		preto	translúcido		
Dia 12/10/58 (12h10min)					
Q*	0,64	0,72	0,64	0,40	-
H	-0,40	-0,65	-0,47	-0,38	-
LE	-0,10	0,0	0,0	0,0	-
S	-0,14	-0,07	-0,16	-0,02	-
Dia 11/06/59 (11h44min)					
Q*	0,92	1,02	-	0,62	0,87
H	-0,52	-0,91	-	-0,50	-0,70
LE	-0,28	0,0	-	-0,06	-0,12
S	-0,12	-0,11	-	-0,06	-0,05

Fonte: Waggoner et al (1960) apud ROSENBERG (1974)

KNAVEL & MOHR (1970), por exemplo, mostraram que a umidade do solo com mulching foi de 6 a 10% maior do que no solo desnudo ao longo do ciclo de cultivo. No trabalho de MAURYA & LAL (1981) é relatado que a umidade do solo foi, em média, 2 a 3% superior nos diversos tipos de mulching estudados em relação ao solo desnudo na camada de 0-10cm. A conservação da umidade do solo pelo mulching torna-se mais importante nas épocas e/ou regiões de baixa precipitação pluviométrica (HAYNES, 1987). Resultados obtidos por LIPPERT et al (1964) demonstraram que a largura do mulching influencia na conservação da umidade do solo, aspecto importante quando aplicado parcialmente na linha das plantas. Os autores sugerem larguras maiores que 15cm para se obter conservação da umidade do solo. O maior teor de umidade no solo com mulching explica, em parte, a distribuição mais superficial do sistema radicular de tomate, melão e abóbora em relação ao solo sem mulching obtida por KNAVEL & MOHR (1970).

A cobertura morta de palha seca reduz menos a evaporação da água do solo que os materiais sintéticos (Tabela 4), possivelmente porque o vapor d'água difunde-se através da camada de resíduos. Mas como o processo de difusão é bem mais lento do que o fluxo de massa e a cobertura reduz a energia disponível junto ao

solo, o mulching natural de cobertura vegetal morta também é eficiente em conservar a umidade do solo (VAN WIJK et al, 1959; BRASIL SOBRINHO & MELLO, 1960; ONDERDONK & KETCHESON, 1973; WILLIS & AMENIYA, 1973; LAL, 1974; LAL, 1978; MAURYA & LAL, 1981; SHEKOUR et al, 1987). Bond & Willis (1969) apud BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990) verificaram que a taxa constante de evaporação de 8mm.dia^{-1} no solo desnudo foi reduzida para menos de 2mm.dia^{-1} com 6.720Kg.ha^{-1} de palha de centeio sobre o solo. BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990) obtiveram 8 a 10% mais umidade no solo com palha de trigo do que no solo desnudo e 4 dias após a irrigação, a umidade do solo desnudo já se encontrava no ponto de murcha permanente enquanto que o solo coberto com palha (5 e $7,5\text{t.ha}^{-1}$) ainda se encontrava na faixa de água disponível.



O fluxo de calor para o solo (S) nos mulchings opacos geralmente é menor do que no solo desnudo enquanto que materiais transparentes aumentam o fluxo de calor para o solo (ROSENBERG, 1974; LIAKATAS et al, 1986; MAHRER, 1991; SCHNEIDER et al, 1993). Nas Tabelas 4 e 5 encontram-se alguns resultados de

densidade de fluxo de calor para o solo sob diversos mulchings. Pode-se observar que sob mulching de polietileno preto, S atinge valores no máximo similares ao solo desnudo, em função de ocorrer condução de calor em pontos de contato do plástico com o solo (ROSENBERG, 1974). A cobertura morta de palha reduz S já que a camada de resíduos funciona como um isolante, reduzindo o aporte de energia na superfície do solo (VAN WIJK et al, 1959). O mulching aluminizado, pela alta refletividade a onda curta, se aquece pouco e transmite pouco para o solo (LIAKATAS et al, 1986). O plástico branco tem efeito semelhante ao mulching aluminizado (GLINIECKI, 1959; HAYNES, 1987). Os materiais transparentes e coloridos translúcidos aumentam o fluxo de calor para o solo devido à maior quantidade de energia disponível sob o mulching e ao efeito estufa proporcionado pela camada de condensação na superfície interna (INADA, 1973; ROSENBERG, 1974; MAHRER, 1979; MAHRER & KATAN, 1981; TRIPATHI & KATIYAR, 1984; LIAKATAS et al, 1986; AVISSAR et al, 1986a; MAHRER, 1991; SCHNEIDER et al, 1993).

A temperatura do solo é uma função do balanço de energia na superfície e das suas propriedades térmicas. Várias práticas podem ser utilizadas para modificar o regime térmico do solo, como confecção de camalhões e sulcos, exposição do terreno ao sol, sistemas de preparo do solo, irrigação, drenagem e o uso do mulching (ADAMS, 1967; WILLIS & AMENIYA, 1973; ROSENBERG, 1974; DECICO, 1974).

De acordo com as propriedades óticas do mulching, seu efeito será de aumentar ou diminuir a temperatura do solo. Sob mulching opaco (polietileno preto, branco e colorido, papel, asfalto, resíduos de petróleo, cobertura morta de palha seca, etc) os valores máximos de fluxo de calor para o solo são menores. Em adição, pela maior conservação da umidade do solo devido ao mulching, as propriedades térmicas fundamentais, calor específico volumétrico (C_v) e condutividade térmica (K), serão elevados (WILLIS & AMENIYA, 1973). Resultados obtidos por MOENCH & EVANS (1970) mostraram que os valores de K para um solo de textura barro-arenosa variaram de $0,60 \times 10^{-3} \text{ cal.cm}^{-1}.\text{°C}^{-1}.\text{s}^{-1}$, quando seco, a $5,95 \times 10^{-3} \text{ cal.cm}^{-1}.\text{°C}^{-1}.\text{s}^{-1}$, quando saturado. Este acréscimo na condutividade térmica do solo permite que o menor fluxo de calor para o solo sob mulching opaco seja melhor distribuído para as camadas inferiores. Já o maior calor específico do solo demanda mais energia para seu aquecimento.

Em função das modificações na disponibilidade de energia e nas propriedades térmicas, a onda diária de temperatura do solo sob mulching opaco tende a ser amortecida, independente da cor e natureza do material (SHAW, 1926; SMITH, 1931; VAN WIJK et al, 1959; TAKATORI et al, 1964; HOPEN, 1965; BENNET et al, 1966; CERVellini & SALATI, 1971; ONDERDONK & KETCHESON, 1973; DECICO, 1974; LAL, 1974; ROSENBERG, 1974; BRUNINI et al, 1976; DECICO & SANTOS, 1976; LAL, 1978; CHOPRA & CHAUDHARY, 1980; SILVA, 1980; BERTON, 1981; MAURYA & LAL, 1981; GURNAH & MUTEA,

1982; VARADAN & RAO, 1983; TRIPATHY & KATIYAR, 1984; LIAKATAS et al, 1986; SIDIRAS & PAVAN, 1986; HAYNES, 1987; BRAGAGNOLO & MIELNICZUK, 1990; VIEIRA et al, 1991). A temperatura máxima, na camada superficial, não se eleva tanto em relação ao solo desnudo e a temperatura mínima é superior à ocorrida no solo desnudo. O aumento na temperatura mínima sob plástico preto proporcionou uma antecipação na emergência de 7 a 10 dias em plantas de algodão no trabalho de BENNET et al (1966).

Tabela 5 - Fluxo máximo de calor para o solo ($W.m^{-2}$) sob mulching e no solo desnudo.

Dia	Solo desnudo	Poliéster aluminizado (23 μ m)	Poliétileno (125 μ m)	
			Preto	Transparente
25/06/76	205	183	192	319
13/06/76	223	115	177	295
27/07/76	224	126	169	209

Fonte: LIAKATAS et al (1986)

A Tabela 6 confirma as colocações acima. Analisando-se um dia típico, por exemplo dia 12/05, a amplitude térmica no solo desnudo foi de 21,1°C, enquanto que no solo com mulching foi de 10,5°C. A Tabela 7 também mostra menor amplitude térmica no solo com mulching opaco. Nota-se uma tendência da cobertura morta com serragem de madeira ou grama seca amortecer mais a onda diária de temperatura do solo do que o polietileno preto. Comportamento semelhante foi obtido por LIAKATAS et al (1986) que encontraram amplitudes térmicas a 2cm de profundidade de 10°C, 8°C e 6°C no solo desnudo, sob polietileno preto e sob poliéster aluminizado, respectivamente. Mulchings opacos coloridos também amortecem a onda diária de temperatura do solo. SILVA (1980) obteve menor temperatura máxima (2,5 a 6,3°C), maior temperatura mínima (2,0 a 4,4°C) e menor amplitude térmica (0,7 a 3,0°C) sob polietileno opaco azul do que no solo desnudo. BERTON (1981) obteve resultados semelhantes. Mulching de plástico branco atua sobre a temperatura do solo como um mulching opaco (SILVA, 1980; HAYNES, 1987), mas pode aumentar a produtividade dos cultivos em relação ao polietileno preto por apresentar alta refletividade à radiação solar, permitindo melhor distribuição da energia no dossel vegetativo (PENDLETON et al, 1966).

Tabela 6 - Temperaturas extremas (°C), a 2,5cm de profundidade, no solo desnudo e com mulching de polietileno preto com 125µm de espessura. Adaptado de BENNET et al (1966).

Dia	Temperatura máxima		Temperatura mínima		Condições do dia
	Desnudo	Mulching	Desnudo	Mulching	
23/04/62	33,9	26,7	16,1	18,3	nublado
28/04/62	18,9	20,6	16,7	18,9	nublado/chuva
12/05/62	41,7	34,4	20,6	23,9	límpido
18/05/62	43,9	35,6	21,7	25,0	límpido
01/05/62	36,7	27,8	18,3	20,6	parc/nublado

A temperatura média do solo sob plástico opaco geralmente tende a ser levemente superior à do solo desnudo, conforme pode ser verificado na Tabela 7. CLARKSON (1960) relata valores de 0,6 a 2,8°C superiores no solo com mulching de polietileno preto em relação ao solo desnudo nas profundidades até 15cm, com maiores diferenças nas profundidades de 2,5 e 7,5cm. Outros autores também encontraram resultados semelhantes (SMITH, 1931; EKERN, 1967; BERTON, 1981; MAURYA & LAL, 1981; TRIPATHI & KATIYAR, 1984; LIAKATAS et al, 1986; HAYNES, 1987).

Em regiões frias, a presença de cobertura morta em sistemas conservacionistas que mobilizam pouco o solo (plântio direto, cultivo mínimo) retarda a emergência e o desenvolvimento inicial das plantas devido ao retardamento do aquecimento do solo (VAN WIJK et al, 1959; RADKE, 1982). A cobertura de palha tem menor condutividade térmica do que o solo (Hanks et al, 1961 apud GURNAH & MUTEA, 1982). Em regiões tropicais, com regime pluviométrico monssônico como a Índia, o mulching natural de palha diminui os efeitos da seca e da alta temperatura do solo, aumenta a infiltração de água e, durante o período chuvoso, diminui a erosão (VARADAN & RAO, 1983). Segundo estes autores, a temperatura máxima do solo desnudo alcançou 39-40°C, enquanto que no solo com mulching de palha chegou a 30-33°C na profundidade de 5cm, aspecto considerado benéfico para as plantas de pomares de coco e banana daquela região. Resultados semelhantes foram obtidos em condições tropicais do Brasil por SIDIRAS & PAVAN (1986), onde as temperaturas máximas a 3cm de profundidade freqüentemente excederam a 40°C no sistema de plântio convencional,

enquanto que no plantio direto sempre foram inferiores a 35°C. Resultados obtidos por BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990) evidenciam um decréscimo médio de 1,1°C na temperatura máxima do solo por t.ha⁻¹ de palha aplicada. Em regiões de precipitação freqüente ou onde é necessário irrigação freqüente, os mulchings plásticos atuam significativamente na redução da lixiviação e na manutenção da disponibilidade de nitrogênio ao longo do ciclo da planta, diminuindo a necessidade de adubação de cobertura (CLARKSON, 1960). Altos níveis de Nitrato e Sulfato no solo com mulching em relação ao solo desnudo são também atribuídos (i) ao maior movimento capilar ascendente de água e nutrientes solúveis do que o movimento descendente e (ii) ao maior estímulo da taxa de mineralização de N e S orgânico devido ao maior teor de umidade do solo com mulching (HAYNES, 1987).

A revisão de literatura referente ao efeito do filme plástico preto sobre a temperatura do solo revela, entretanto, algumas contradições e divergências. Embora a camada de ar entre a superfície do solo e o plástico preto funciona como um isolante, reduzindo a transmissão de energia térmica do plástico para o solo durante o período diurno e do solo para o plástico durante a noite, resultando em temperaturas mínima mais elevada e máxima menor do que o solo desnudo (HOPEN, 1965; BENNET et al, 1966; CHOPRA & CHAUDHARY, 1980; SILVA, 1980; BERTON, 1981), muitos trabalhos mostram maiores valores de temperatura máxima e diurna do solo sob mulching de polietileno preto em relação ao solo desnudo (GLINIECKI, 1959; TAKATORI et al, 1964; COUTER & OEBKER, 1964; EKERN, 1967; KNAVEL & MOHR, 1970; INADA, 1973; MAURYA & LAL, 1981; GURNAH & MUTEA, 1982; TRIPATHY & KATIYAR, 1984; LIAKATAS et al, 1986; HAYNES, 1987; STRECK et al, 1993). Na Figura 2 pode-se verificar um caso em que a temperatura

Tabela 7 - Valores observados de amplitude máxima (T₀) e temperatura média (T̄), em °C, do solo sob diferentes tipos de mulching. Adaptado de DECICO (1974) e DECICO & SANTOS (1976).

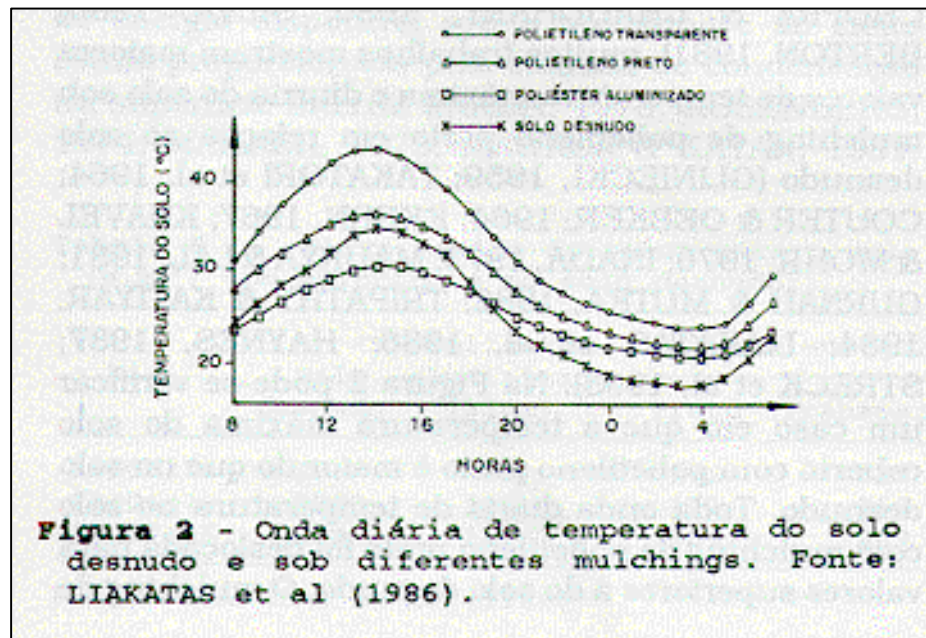
Dia	Profundidade (cm)	Solo desnudo		Poliestileno preto*		Serragem de madeira**		Gramma seca**	
		T ₀	T̄	T ₀	T̄	T ₀	T̄	T ₀	T̄
08/02/73	1	16,8	31,4	17,1	32,9	9,2	28,6	11,3	28,8
	3	15,3		13,1		6,9		7,4	
	9	8,1		7,1		2,9		3,4	
	27	1,8		1,8		2,0		2,3	
10/02/73	1	18,1	30,3	15,9	31,7	6,4	27,4	8,4	27,9
	3	15,0		12,8		4,7		6,9	
	9	8,7		7,1		2,5		3,3	
	27	0,0		2,2		1,5		1,1	
01/03/73	1	18,7	30,6	12,2	31,7	12,9	28,1	11,9	28,4
	3	15,4		9,4		10,3		8,6	
	9	9,2		5,4		5,6		4,7	
	27	1,4		1,6		0,8		0,6	
10/03/73	1	7,2	25,2	6,3	29,1	6,6	24,9	8,9	25,5
	3	5,3		5,5		5,1		6,7	
	9	4,1		3,0		2,0		2,3	
	27	2,0		0,0		0,9		0,6	
15/03/73	1	17,3	28,9	12,1	29,3	10,9	25,6	11,8	26,7
	3	14,9		10,3		5,7		8,2	
	9	8,7		5,0		2,2		2,2	
	27	1,0		1,2		0,6		0,6	

*150µm de espessura

**Camada de aproximadamente 5cm

máxima do solo coberto com polietileno preto é maior do que no solo desnudo. Toda onda diária de temperatura no solo com mulching de polietileno preto foi deslocada para valores superiores à do solo desnudo. O mulching de poliéster aluminizado segue a tendência dos mulchings opacos descrita anteriormente, que é de diminuir a temperatura máxima e a amplitude térmica em relação ao solo desnudo.

Estas divergências a respeito do efeito do plástico preto sobre a temperatura do solo podem estar associadas à época do ano, à qualidade e à espessura do plástico (MAURYA & LAL, 1981). TAKATORI et al (1964) propõem ainda a largura do mulching como fator que influencia no seu efeito sobre a temperatura do solo. Segundo estes autores, mulching preto com largura acima de 15cm aumenta a temperatura diurna do solo, enquanto que larguras inferiores tem pouco efeito e até diminuem a temperatura, devido a perdas laterais por condução.



Pode-se propor algumas hipóteses para explicar este comportamento com o solo coberto com polietileno preto. Apesar da menor disponibilidade de radiação líquida na superfície do solo com mulching de plástico preto (LIAKATAS et al, 1986), diferentemente do solo desnudo a maior fração é utilizada para fluxo de calor para o solo (S), visto que os fluxos LE e H são bastante reduzidos. Concomitantemente, também ocorre transferência de energia térmica do plástico para o solo por condução, cuja magnitude é função da espessura da camada de ar entre o mulching e o solo, do teor de umidade do solo e dos pontos de contato plástico-solo (TAKATORI et al, 1964; LIAKATAS et al, 1986). Quanto maior a área de mulching em contato com o solo, maior é a transferência de energia. Corroborar com esta hipótese os resultados de TAKATORI et al (1964) que

encontraram maior temperatura do solo com mulching de petróleo em relação ao solo com polietileno preto, ambas maiores que no solo desnudo. O mulching de petróleo permite um contato mais íntimo entre o solo e o mulching do que o polietileno preto (TAKATORI et al, 1964; ADAMS, 1967; PHIPPS & COCHRANE, 1975). Corrobora também os resultados obtidos por THINDALL et al (1991) de temperatura do solo mais elevada sob plástico preto do que sob cobertura morta de palha, camada de resíduos que dificulta a transferência de energia. É recomendado, portanto, quando se deseja elevar a temperatura do solo com o uso do plástico preto, que o solo seja bem preparado e destorroado, aumentando o contato plástico-solo bem como a sua durabilidade.

Outra hipótese para as contradições do efeito do plástico preto sobre a temperatura do solo é a deficiência de referências sobre o teor de umidade do solo no momento das observações na maioria dos trabalhos. O mulching afeta o balanço de água do solo e, em condições normais, a umidade do solo tende a ser maior sob mulching do que no solo desnudo. Portanto é comprometedor comparar a temperatura do solo em tratamentos com diferentes condições de umidade, já que as propriedades térmicas do solo são função da umidade do solo, e atribuir as diferenças de temperatura apenas devido ao mulching. É difícil, senão impossível, manter o solo com mulching e desnudo nas mesmas condições de umidade. No entanto, se considerarmos que no solo desnudo com elevada disponibilidade de água, a maior parte da energia disponível é transferida para a atmosfera na forma de calor latente, a fração do fluxo de calor para o solo será pequena. Não foram encontrados resultados onde foi medido o fluxo de calor para o solo sob mulching preto e no solo desnudo em condições semelhantes de umidade. STRECK et al (1993) mantiveram a umidade do solo nos dois tratamentos o mais próximo possível durante as observações e estimaram o fluxo de calor para o solo. Os maiores valores da onda diária de temperatura a 2cm e a 5cm no solo com polietileno preto se associaram com menor fluxo de calor para o solo desnudo, corroborando com a hipótese acima. Estudos mais detalhados, nesse sentido, devem ser realizados.

Diferentemente dos mulchings opacos, sob mulching transparente ocorre maior fluxo de calor para o solo (Tabela 4, MAHRER, 1979; MAHRER & KATAN, 1981; LIAKATAS et al, 1986; MAHRER, 1991; SCHNEIDER et al, 1993). A amplitude térmica é similar ao solo desnudo e o que se verifica é um deslocamento de toda onda diária de temperatura do solo para valores mais elevados (Figura 2, LIAKATAS et al, 1986; SCHNEIDER et al, 1993). Durante o período diurno a temperatura se eleva mais do que no solo desnudo devido ao maior fluxo de calor para o solo. Como na face interna do filme persiste, de modo quase permanente, uma camada de vapor d'água condensada, as perdas radiativas do solo são menores e o efeito estufa maior (AVISSAR et al, 1986a). Em conseqüência, as temperaturas mínima e máxima são superiores ao solo desnudo (GLINIECKI, 1959; HOPEN, 1965; KNAVEL & MOHR, 1970; ADAMS, 1967; INADA, 1973; MAHRER,

1979; CHOPRA & CHAUDHARY, 1980; MAURYA & LAL, 1981; MAHRER & KATAN, 1981; GURNAH & MUTEA, 1982; MAHRER et al, 1984; AVISSAR et al, 1986b; LIAKATAS et al, 1986; HAYNES, 1987; SOWERS & WELTERLEN, 1988; SCHNEIDER et al, 1993).

Em regiões frias onde a estação de crescimento limita os cultivos de verão ou nas épocas em que a temperatura do solo é um fator ecológico limitante ao estabelecimento inicial da cultura, os mulchings transparentes são recomendados para elevar a temperatura do solo e assim antecipar o período de cultivo e obter precocidade (TAKATORI et al, 1964; HOPEN, 1965; ADAMS, 1967; VANDENBERG & TIESSEN, 1972; CHOPRA & CHAUDHARY, 1980; TRIPATHI & KATIYAR, 1984). ADAMS (1967) obteve emergência de sorgo e milho 1 a 6 dias antes sob o polietileno transparente do que no solo desnudo, evidenciando assim o aspecto de precocidade nos cultivos durante o inverno. Lee et al (1978) apud SILVA (1980) verificaram que as temperaturas do solo com mulching de polietileno transparente perfurado foram maiores do que sob polietileno preto ou solo desnudo, proporcionando maior precocidade na cultura do milho doce.

Um inconveniente do uso do mulching transparente durante o inverno como forma de elevar a temperatura do solo é a elevada ocorrência e crescimento de invasoras, pois o plástico permite a passagem da radiação solar. O controle de invasoras só é eficiente sob mulching opaco à radiação solar (HOPEN, 1965; BENNET et al, 1966; INADA, 1973). Mulchings coloridos translúcidos, como o plástico verde tem comportamento intermediário no controle de invasoras, uma vez que são transparentes apenas a determinados comprimentos de onda do espectro solar, mas proporcionam elevação da temperatura do solo similar aos plásticos transparentes (INADA, 1973).

No Sul do Brasil os mulchings transparentes de polietileno perfurado e permeáveis de polipropileno são utilizados na produção de mudas da cultura do fumo. Ambos os materiais aumentam a temperatura do solo e aceleram a emergência e o desenvolvimento inicial das plântulas (STRECK et al, 1993). Quando aplicado no verão, o plástico transparente eleva a temperatura do solo acima de níveis tolerados pela planta, não sendo possível o cultivo (SOWERS & WELTERLEN, 1988). Este princípio é utilizado para desinfestação do solo no método da solarização (KATAN et al, 1976; MAHRER, 1979; MAHRER & KATAN, 1981; MAHRER et al, 1984; MAHRER, 1991; SCHNEIDER et al, 1993).

O efeito do mulching na temperatura e umidade do solo vai diminuindo à medida que a cultura vai se desenvolvendo e interceptando uma fração cada vez maior da radiação solar e consumindo mais água do solo (SHAW, 1926; THOMPSON & PLATENIUS, 1932; CLARKSON & FRAZIER, 1957; COUTER & OEBKER, 1964; BENNET et al, 1966; SILVA, 1980; BERTON, 1981).

Com relação ao efeito do mulching no risco de geadas, depende da natureza do material. Sobre a

cobertura morta, pela menor condutividade térmica da palha seca do que do solo (VAN WIJK et al, 1959; RADKE, 1982), há maior risco de geada do que no solo desnudo. Já no mulching de polietileno preto espera-se um comportamento intermediário pois a temperatura do solo normalmente é mais elevada do que no solo com palha seca (DECICO, 1974; DECICO & SANTOS, 1976). Por outro lado, devido ao maior aquecimento diurno do plástico, sua emissão é maior e o seu esfriamento noturno intenso. Resultados interessantes foram obtidos por CLARKSON (1960). Neste trabalho foram medidas a temperatura na superfície do solo com polietileno preto e a temperatura do filme de polietileno, comparado com o solo desnudo. Os valores revelaram que a temperatura mínima na superfície do solo abaixo do polietileno preto foi 0,6 a 2,2°C menor do que no solo desnudo enquanto que a temperatura mínima do polietileno preto foi até 1,1°C superior ao solo desnudo. Isso indica que parte da radiação emitida pelo solo pode ter sido absorvida pelo polietileno preto. Homma (1959) apud BERTON (1981) determinou que durante o amanhecer (4-6 horas), período de maior dano por geada, as temperaturas do ar adjacente à superfície do solo coberto com polietileno preto foram, em média, 0,5°C superiores do que do ar junto ao solo desnudo. Portanto, este aspecto também é conflitante com relação ao mulching de polietileno preto e existe necessidade de mais pesquisa a respeito do efeito de diversos mulchings sobre o risco de geada, principalmente em regiões onde o inverno não é muito rigoroso, como em muitos microclimas da região Sul do Brasil.

CONCLUSÃO

O mulching é uma prática eficiente para modificar o balanço de energia e o regime térmico e hídrico do solo. A cobertura morta com palha é uma técnica comum em métodos conservacionistas de preparo do solo. Já os mulchings sintéticos ficam restringidos a áreas menores, com culturas mais rentáveis. No entanto, é esperado um aumento na utilização do mulching sintético, principalmente no sul do Brasil, com a produção de olerícolas em ambientes protegidos, como as estufas plásticas. Nestes ambientes, a umidade relativa do ar é extremamente elevada e a técnica do mulching é uma alternativa que pode diminuir a umidade relativa no interior das estufas e aumentar a eficiência do uso da água de irrigação. Os agricultores que utilizam a solarização para desinfestação do solo também poderão usar o plástico como mulching tornando-o opaco, sem retirá-lo da área solarizada, o que diminui a mão-de-obra e a contaminação, aumenta a utilização do mesmo plástico, diminuindo seu custo e ainda proporciona os benefícios da técnica do mulching.

Quando se planeja utilizar mulching deve-se ter atenção com a escolha do sistema de irrigação. O sistema mais promissor é a irrigação localizada por gotejamento.

Recomenda-se que a pesquisa avalie o efeito do uso de mulching opaco, colorido e preto, sobre a umidade relativa do ar e a incidência de doenças em estufas e túneis plásticos. Devido aos resultados divergentes existentes na literatura, é oportuno também avaliar o efeito dos diferentes tipos de mulching sobre o balanço de energia e regime térmico do solo, com monitoramento do teor de umidade do solo e, de preferência, comparativamente com o solo desnudo sob teor de umidade similar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, J.E. Effect of mulches and bed configuration. I. Early-season soil temperature and emergence of grain sorghum and corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 59, p. 595-599, 1967.
- AVISSAR, R., MAHRER, Y., MARGULIES, L., et al. Field aging of transparent polyethylene mulches: I. Photometric properties. **Soil Science Society of America Journal**, Haiston, v. 50, p. 202-205, 1986a.
- AVISSAR, R., NAOT, O., MAHRER, Y., et al. Field aging of transparent polyethylene mulches: I. Influence of the effectiveness of soil heating. **Soil Science Society of America Journal**, Haiston, v. 50, p. 205-209, 1986b.
- BENNETT, O.L., ASHLEY, D.A., DOSS, B.D. Cotton responses to black plastic mulch an irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 58, n. 2, p. 57-60, 1966.
- BERTON, R.S. **Efeito da cobertura de polietileno na temperatura do solo e na produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) Carioca**. Piracicaba, SP. 1981. 83p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", 1981.
- BRAGAGNOLO, N., MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 369-374, 1990.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C., MELLO, F.A.F. Influência da cobertura morta sobre a umidade de um solo cultivado com cafeeiro. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"**, Piracicaba, v. 17, p. 2339-246, 1960.
- BRUNINI, O., SANTOS, J.M., ALFONSI, R.R., et al. Estudo micrometeorológico com cenouras (Variedade Nantes). I - Influência da temperatura do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 4, p. 49-54, 1976.
- CAMARGO, L.S., IGUE, T. Experiência sobre o efeito da cobertura do solo na produção do morangueiro. **Bragantia**, Campinas, v. 32, p. 149-170, 1973.
- CERVELLINI, A., SALATI, E. Influência da cobertura morta na temperatura do solo. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, VII, Piracicaba, 1959. Anais..., Guanabara: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1971. 91p. p.19.
- CHOPRA, U.K., CHAUDHARY, T.N. Effect of soil temperature alterations by soil covers on seedling emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.) sown on two dates. Plant and Soil, Den Haag, v. 57, p. 125-129, 1980.
- CLARKSON, V.A. Effect of black polyethylene mulch on soil and microclimate temperature and nitrate level. Agronomy Journal, Madison, v. 52, n. 6, p. 307-309, 1960.
- CLARKSON, V.A., FRAZIER, W.A. Effect of paper and polyethylene mulches and plastic caps on cantaloupe yields and earliness. Proceedings of American Society for Horticultural Science, St Joseph, v. 69, p. 400-404, 1957.
- COURTER, J.W., OEBKER, N.F. Comparisons of paper and polyethylene mulching on yields of certain vegetable crops. Proceedings of American Society for Horticultural Science, St Joseph, v. 85, p. 526-531, 1964.
- DECICO, A. A determinação das propriedades térmicas do solo em condições de campo. Piracicaba, SP. 1974. 91p. Tese (Docente-Livre), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", 1974.
- DECICO, A., SANTOS, J.M. Comportamento térmico do solo sob diferentes condições de cobertura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, X, Campinas, 1975. Anais..., Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1976. 616p. p.55-62.
- EKERN, P.C. Soil moisture and soil temperature changes with the use of black vapour-barrier mulch and their influence on pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) growth in Hawaii. Soil Science Society of America Proceedings, Houston, v. 31, n. 2, p. 270-275, 1967.
- EMMERT, E.M. Black polyethylene for mulching vegetables. Proceedings of American Society for Horticultural Science, St Joseph, v. 69, p. 464-469, 1957.
- FRITSCHEN, L.J., SHAW, R.H. The effect of plastic mulch on the microclimate and plant development. Iowa State Journal of Science, Ames, v. 35, n. 1, p. 59-72, 1960.
- GLINIECKI, V.L. Polyethylene films for agriculture. Down to Earth, Midland, p. 7-9, 1959.
- GURNAH, A.M., MUTEA, J. Effects of mulches on soil temperatures under *Arabica* coffee at Kabete, Kenya. Agricultural Meteorology, Amsterdam, v. 25, p. 237-244, 1982.
- HAYNES, R.J. The use of polyethylene mulches to change soil microclimate as revealed by enzyme activity and biomass nitrogen, sulphur and phosphorus. Biology and Fertility of Soil, Berlin, v. 5, n. 3, p. 235-240, 1987.

- HAWTHORNE, B.T. Effect of mulching on the incidence of *Sclerotinia minor* on lettuce. **New Zealand Journal of Experimental agriculture**, Wellington, v. 3, p. 273-274, 1975.
- HOPEN, H.J. Effects of black and transparent polyethylene mulches on soil temperature, sweet corn growth and maturity in a cool growing season. **Proceedings of American Society for Horticultural Science**, St Joseph, v. 86, p. 415-420, 1965.
- INADA, K. Photo-selective plastic film for mulch. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tokyo, v. 7, p. 252-256, 1973.
- KATAN, J., GREENBERG, A.H.A., ALON, H., et al. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens. **Phytopathology**, St Paul, v. 66, n. 5, p. 683-688, 1976.
- KATAN, J., DEVAY, J.E. **Soil Solarization**. Florida: CRC Press, 1991. 267p.
- KNAVEL, D.E., MOHR, H.C. Distribution of roots of four different vegetable under paper and polyethylene mulches. **Proceedings of American Society for Horticultural Science**, St Joseph, v. 91, p. 589-597, 1970.
- LAL, R. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. **Plant and Soil**, Den Haag, v. 40, p. 129-143, 1974.
- LAL, R. Influence of within- and between-row mulching on soil temperature, soil moisture, root development and yield of maize (*Zea mays* L.) in a tropical soil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 1, p. 127-139, 1978.
- LIAKATAS, A., CLARK, J.A., MONTEITH, J.L. Measurements of the heat balance under plastic mulches. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 36, p. 227-239, 1986.
- LIPPERT, L.F., TAKATORI, F.H., WHITING, F.L. Soil moisture under bands of petroleum and polyethylene mulchs. **Proceedings of American Society for Horticultural Science**, St Joseph, v. 85, p. 541-546, 1964.
- MAHRER, Y. Prediction of soil temperature of a soil mulched with transparent polyethylene. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 18, p. 1263-1267, 1979.
- MAHRER, Y. & KATAN, J. Spatial soil temperature regime under transparent polyethylene mulch: numerical and experimental studies. **Soil Science**, Baltimore, v. 131, n. 2, p. 82-87, 1981.
- MAHRER, Y., NAOT, O., RAWITZ, E., et al. Temperature and moisture regimes in soils mulched with transparent polyethylene. **Soil Science Society of America Journal**, Haiston, v. 48, p.362-367, 1984.
- MAHRER, Y. **Physical principles of solar heating of soils by plastic mulching in field and in glasshouses and simulation models**. In: KATAN, J., DEVAY, J.E. **Soil solarization**. Florida: CRC Press, 1991. Cap. 6, p. 75-86.

- MAURYA, P.R., LAL, R. Effects of different mulch materials on soil properties and on the root growth and yield of maize (*Zea mays*) and cowpea (*Vigna unguiculata*). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 4, p. 33-45, 1981.
- MOENCH, A.F., EVANS, D.D. Thermal conductivity and diffusivity of soil using a cylindrical heat source. **Soil Science Society of America Proceedings**, Houston, v. 34, p. 377-381, 1970.
- ONDERDONK, J.J., KETCHESON, J.W. Effect of Stover mulch on soil temperature, corn root weight, and phosphorus fertilizer uptake. **Soil Science Society of America Proceedings**, Houston, v. 37, n. 6, p. 904-906, 1973.
- PENDLETON, J.W., PETERS, D.B., PEEK, J.W. Role of reflected light in the corn ecosystems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 58, p. 73-74, 1966.
- PHIPPS, R.H., COCHRANE, J. The production of forage maize and the effect of bitumen mulch on soil temperature. **Agronomy Journal**, Amsterdam, v. 14, p. 399-404, 1975.
- RADKE, J.K. Managing early season soil temperature in the Northern Corn Belt using configured soil surfaces and mulches. **Soil Science Society of America Journal**, Haiston, v. 46, n. 5, p. 1067-1071, 1982.
- ROBLEDO, F.P., MARTIN, L.V. **Aplicación de los plásticos em la agricultura**. Madrid: Mundial-Prensa, 1981. 553p.
- ROSENBERG, N.J. **Microclimate: the Biological Environment**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 315p.
- SCHNEIDER, F.M., STRECK, N.A., BURIOL, G.A. Modificações físicas causadas pela solarização do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 149-157, 1993.
- SHAW, C.F. The effect of a paper mulch on soil temperature. **Hilgardia**, Berkeley, v. 1, n. 15, p. 341-364, 1926.
- SHEKOUR, G.M., BRATHWAITE, R.A.I., McDAVID, C.R. Dry season sweet corn response to mulching and antitranspirants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, p. 629-631, 1987.
- SIDIRAS, N., PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 181-184, 1986.
- SILVA, L.M.P. **Efeito da cobertura de polietileno sobre o crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade Carioca**. Piracicaba, SP. 1980. 107p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", 1980.
- SOWERS, R.S., WELTERLEN, M.S. Seasonal establishment of Bermudagrass using plastic and straw mulches. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 144-148, 1988.

- SMITH, A. Effect of paper mulches on soil temperature, soil moisture, and yields of certain crops. **Hilgardia**, Berkeley, v. 6, n. 6, p. 159-201, 1931.
- STRECK, N.A., SCHNEIDER, F.M., BURIOL, G.A. Modificação na temperatura do solo causada por diferentes coberturas plásticas. In: JORNADA DE PESQUISA DA UFSM, III, Santa Maria, 1993. **Anais...**, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 640p. p.360.
- TAKATORI, F.H., LIPPERT, L.F., WHITING, F.L. The effect of petroleum mulch and polyethylene films on soil temperature and plant growth. **Proceedings of American Society for Horticultural Science**, St Joseph, v. 85, p. 532-540, 1964.
- THOMPSON, H.C., PLATENIUS, H. Results of paper mulch experiments with vegetable crops. **Proceedings of American Society for Horticultural Science**, St Joseph, v. 28, p. 305-308, 1931.
- THINDALL, J.A., BEVERLY, R.B., RADCLIFFE, D.E. Mulch effect on soil properties and tomato growth using micro-irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 1028-1034, 1991.
- TRIPATHI, R.P., KATIYAR, T.P.S. Effect of mulches on the thermal regime of soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 4, p. 381-390, 1984.
- VANDENBERG, J., TIESSEN, H. Influence of wax-coated and polyethylene-coated paper mulch on growth and flowering of tomato. **HortScience**, East Lansing, v. 7, n. 5, p. 464-465, 1972.
- VAN WIJK, W.R., LARSON, W.E., BURROWS, W.C. Soil temperature and early growth of corn from mulched and unmulched soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Houston, v. 23, n. 6, p. 428-434, 1959.
- VARADAN, K.M., RAO, A.S. Effect of mulch on soil temperature in humid tropical latosols under coconut (*Cocos nucifera* Linn.) and banana (*Musa paradisiaca*). **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 28, n. 4, p. 375-386, 1983.
- VIEIRA, S.R., NASCIMENTO, P.C., SARVASI, F.O., et al. Umidade e temperatura da camada superficial do solo em função da cobertura morta por resteva de soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 219-224, 1991.
- WILLIS, W.O., AMENIYA, M. Tillage management principles: soil temperature effects. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, Desmoines, Iowa, 1973. **Proceedings...**, Des Moines, 1973. p. 23-41.