

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Considerações Iniciais

A radiação solar é a grande fornecedora de energia a Terra, em todos os aspectos que estão ligados à vida, de um modo geral, mesmo havendo um pequeno abastecimento de calor pela própria Terra à sua superfície e à Atmosfera, seja por condução, do interior aquecido, resultante das trocas químicas ali realizadas, ou por absorção da radiação lunar e das estrelas.

O Sol fornece 99,97% da energia calorífica necessária aos processos físicos, químicos e biológicos no sistema Terra-Atmosfera. A distribuição dessa energia na superfície terrestre apresenta-se de forma muito desigual, apesar de sua quantidade ser sempre a mesma continuamente.

A energia solar que chega à superfície da Terra não é absorvida, pela mesma, em sua totalidade. Em função da composição e cor da superfície do solo, determinada quantidade de energia é refletida, apresentando importância na agricultura. Aquilo que é absorvido, superficialmente, poderá propagar-se a várias profundidades, dependendo das características do solo. A natureza do solo, por interferir nesse processo de propagação da radiação, é importante fator de sua própria formação como também do crescimento da planta. O tamanho dos constituintes do solo e o comprimento de onda da radiação são fatores que determinarão o alcance em profundidade.

Existe a emissão de radiação, pela superfície da Terra, em onda longa (infravermelho), após a absorção de radiação solar, em correspondência com a temperatura média da superfície terrestre em 2.850 K, de acordo com Lei de Wien. É a chamada radiação terrestre que terá influência, principal, na temperatura do ar, a qual será utilizada neste trabalho para estimar a do solo.

A produção de alimentos pelos vegetais (seres autótrofos), depende da fotossíntese que utiliza a radiação solar visível na formação de macromoléculas, em cadeias carbônicas, que serão quebradas pelos animais para a formação de matéria e a obtenção de energia necessária à sobrevivência em nosso planeta.

Ao caminhar, pensar, falar, ouvir, enxergar, trabalhar, estudar, em suma, ao realizar qualquer atividade, o ser humano ou os animais e vegetais estão se utilizando a energia solar, obtida por intermédio dos alimentos produzidos pelas plantas, que dependem também da temperatura do solo para germinação e crescimento.

A Natureza, através dos vegetais, transforma a radiação solar para a nossa utilização, usando componentes naturais como o solo, essencial na atividade de transmutação dessa energia. E a temperatura, que é um ente meteorológico, atua em diversos processos da formação, do crescimento e do desenvolvimento dos vegetais. Aqui se mostra a importância em se obter medidas de temperatura do solo. Primeiro, a grande importância da produção de alimentos no Mundo, onde não existiria a vida sem essa possibilidade. Segundo, que elementos meteorológicos destacados, como a temperatura do solo, interferem, de maneira altamente significativa, neste processo.

As permutações de energia e umidade que ocorrem entre a superfície da Terra e a Atmosfera decorrem das influências de muitas características como a capacidade calorífica do solo, seu albedo, sua condição de permeabilidade e umidade, sua densidade e cor; se há ou não revestimento vegetal e, se houver, qual o seu tipo. Tudo isso define a natureza do solo e cobertura vegetal.

Da natureza e estado físico do solo dependem o seu aquecimento e resfriamento. A cobertura vegetal produz redução nestes dois processos, pelo fato de absorver ou emitir boa quantidade de radiação.

A temperatura do solo diminui de amplitude com o aumento da profundidade. De uma maneira global, sua amplitude diária praticamente inexiste na profundidade de um metro e a amplitude anual desaparece na profundidade entre vinte e vinte e cinco metros. Após este nível atua o gradiente geotérmico, onde a temperatura do solo aumenta de um grau Celsius a cada trinta e três metros, aproximadamente.

Quantidades grandes de vegetação contribui para a atenuações na amplitude térmica do solo, como acontecem em selvas e nos bosques. Caso tenhamos, concomitantemente a estes, pântanos ou áreas próximas a lagoas, uma quantidade significativa da energia será utilizada na evaporação ou no aquecimento do vapor do

ar em circulação, sobrando pouca energia para atingir a superfície. Com isto haverá menor calor provindo do solo, ocorrendo atenuação na radiação terrestre.

Ao contrário, em zonas desprovidas de plantas ou mesmo em regiões desérticas, há um enorme aquecimento do solo durante o dia e no período noturno demasiado esfriamento, causando grande amplitude térmica.

A temperatura do solo, então, encarna um destaque primordial à Agricultura em zonas temperadas, o que evidencia a necessidade de um estudo minucioso deste parâmetro, para otimização da produção de alimentos, tão necessária à vida humana.

## **2.2 Solo – Definição e Formação**

Solo, conforme explica Streck et al (2002), constitui um meio natural que suporta a flora, a fauna, a agricultura, a pecuária, o armazenamento da água e as edificações do homem.

Segundo Klar (1984), o solo compreende um sistema poroso onde se apresentam partículas sólidas e volume de vazios, que poderão ser preenchidos por água ou ar; desta maneira caracteriza-se como armazenador de água e nutrientes para utilização das plantas. Para que as plantas possam se desenvolver satisfatoriamente o solo terá que oferecer maciez e friabilidade (capacidade de se fragmentar) adequadas ao desenvolvimento de raízes, não oferecendo obstrução mecânica; deverá, também, apresentar distribuição equilibrada em quantidade e volume de poros, para facilitar o armazenamento de água e proporcionar condutibilidade correta, tanto da água como do ar, às raízes.

Constitui-se um ambiente físico natural, o qual se renova em longo prazo, sendo produzido a partir da atuação climática e dos organismos vivos nos materiais rochosos de origem.

Cada espécie de solo existente evidencia a sua formação histórica, do seu nascimento até os dias atuais. Modificações ocorreram no material original, através de fenômenos químicos e físicos que produziram transformações morfológicas. A morfologia presente reflete, desta forma, sua identificação.

Jenny apud Oliveira et al. (1992), cita cinco fatores necessários à formação do solo, quais sejam: material de origem, clima, relevo, tempo e seres vivos.

Qualquer um dos tipos de solo constitui o resultado da ação, conjunta, de todos os seus fatores de formação. Quando se destaca apenas um desses fatores e se ignora o efeito conjunto dos outros, responsáveis por sua gênese, compromete-se a compreensão da diversidade dos solos na paisagem, incorrendo em erros no entendimento de sua identificação (OLIVEIRA et al., 1992).

Evidentemente, determinada espécie de solo pode ter um desses fatores como causa primordial da sua formação.

Estes autores ressaltam, que o clima constitui um dos mais destacados e ativos fatores no processo de formação do solo e que, no Brasil, a temperatura, a precipitação pluvial, a deficiência e o excedente hídrico evidenciam-se por atuarem diretamente neste processo.

Destacam, ainda, haver diferenças entre clima atmosférico e clima do solo, embora exista uma ligação estreita entre eles.

Klar (1984) afirma que os solos das regiões tropicais, pelo fato de estarem submetidos a temperaturas elevadas e a grandes precipitações pluviométricas, apresentam-se mais desenvolvidos e que ocorre o inverso quando se verificam os solos de zonas mais frias.

### **2.3 Transferência de Calor e Temperatura do Solo**

Reichardt (1985) evidencia o estudo dos processos de transferência de energia térmica no solo, que se realizam por radiação, convecção e condução; sendo o principal processo, no interior do solo, a condução; os outros dois processos poderão apresentar maior importância na superfície do solo e na atmosfera.

Informa, ainda, merecer destaque no estudo termodinâmico e agrônômico do solo, suas principais propriedades térmicas, quais sejam, seu calor específico e sua condutividade térmica.

Estas duas propriedades permitirão a obtenção da difusividade térmica do solo, dado essencial a este trabalho.

De acordo com informações de Ortolani e Pinto (1972), a temperatura do solo afeta diretamente o clima da parte da atmosfera que fica imediatamente acima de sua superfície. Este microclima é imprescindível na própria formação do solo, por atuar em sua aeração; também na desintegração do material original, na mobilidade de colóides (substâncias do solo solúveis na água), na retenção de umidade, no

desenvolvimento e metabolismo de organismos vivos que habitam sob a superfície do solo.

Temperatura de solo apresenta importância crucial para a vida na Terra, pois atua de forma contundente na agricultura, na engenharia e, como colocado anteriormente, na formação do próprio solo. Constitui um elemento climático que, comparado com outros, pode-se dizer ter sido pouco considerado até os dias atuais.

Varejão-Silva (2001) afirma, com ênfase, que a permeabilidade da membrana citoplasmática, a viscosidade do protoplasma, o metabolismo próprio das células das raízes, bem como, o crescimento radicular, são fatores que ocorrem em função da temperatura do solo que, por esta razão, atua na absorção da planta. E ainda, que devido à notoriedade da influência desta temperatura sobre a germinação de sementes, justifica-se a importância de se estudar este elemento, com finalidades agrícolas.

Segundo Bavel (1972) e Haynes (1980), baixas temperaturas do solo podem beneficiar o desenvolvimento de plantas no verão, ou prejudicar as culturas perenes no inverno.

Agronomicamente, a temperatura do solo tem importância na influência atuante, primordialmente, no processo de crescimento radicular (NYE & TINKER, 1977), na absorção de íons e água (EPSTEIN, 1972), como também nas atividades microbiológicas nesse ambiente (VOSS & SIDIRAS, 1985).

Para Brow (1976), Case et al. (1964) e Baver et al. (1973), a temperatura do solo afeta, também, a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a *eficiência de herbicidas*.

De acordo com Lal (1974a), para haver crescimento adequado de plântulas de milho, bem como, segundo Hetfield & Egli (1974), para ocorrer germinação e crescimento convenientes de plântulas de soja, a temperatura ideal na região da raiz deverá está entre 25 e 35°C. Temperaturas superiores a 35°C provocarão forte redução no processo de desenvolvimento<sup>1</sup> das plântulas de milho (LAL, 1974a) e, em temperaturas maiores que 40°C, a soja praticamente não germina (HETFIELD & EGLI, 1974).

Essas temperaturas adequadas ficam em valores bem abaixo do que, às vezes, se observa em solos desnudos em zonas tropicais e subtropicais. Na região

---

<sup>1</sup>“*Crescimento*[...]aumento em peso ou volume de um certo órgão de uma planta, ou da planta como um todo[...]*Desenvolvimento* é o aparecimento de uma fase, ou de uma série de fases, durante o ciclo vital[...]o florescimento é desenvolvimento, enquanto o alongamento de um ramo é crescimento.”(MOTA, 1983, p. 34).

de Londrina – PR, Derpsch et al. (1985) encontraram valores superiores a 40°C, em solo descoberto e 3 cm de profundidade, nos meses de novembro e dezembro, bem como 50°C em janeiro. Na Nigéria, Lal (1974b) mediu temperaturas de solo, a 5 cm da superfície, entre 38 e 42°C.

Bragagnolo & Mielniczuk (1990) verificaram que solos desnudos aquecem-se mais do que os cobertos.

Derpsch et al. (1985), Lal (1974a), Unger (1978) e Moody et al. (1963) esclarecem que pode haver um controle, tanto da temperatura do solo como de sua umidade, através da utilização de cobertura, em sua superfície, com resíduos de culturas ou outros materiais, dentro de determinados limites.

Streck et al. (1994), informa ter, a cobertura por palha, seja de aveia ou de outra cultura, a capacidade de produzir modificação no regime térmico diário do solo, primordialmente, devido sua aptidão em refletir a radiação do Sol, impedindo sua incidência direta no solo, para que não ocorra aquecimento demasiado, evitando, assim, prejuízos às culturas nos períodos mais quentes do ano.

Helms et al. (1996, 1997), ao submeterem sementes de soja a distintos períodos de estresse por temperatura e teor de água no solo, observaram que havia, para um mesmo teor de água no solo, decréscimo na germinação devido ao aumento da temperatura e do período de estresse.

Para Klar (1984), o principal fator determinante da absorção de água pelas raízes das plantas é a temperatura do solo; porque afeta a viscosidade da água, a permeabilidade do protoplasma, além de outros fenômenos fisiológicos.

Comenta, ainda, que, de acordo com o tipo de vegetal, seu estágio de desenvolvimento e o suprimento de oxigênio, haverá variação da temperatura de solo ótima para as plantas; sendo que, a melhor faixa, para a maioria delas, é de 20 a 25°C. Se as temperaturas estiverem fora das adequações, haverá diminuição da área onde há absorção das raízes, reduzindo o crescimento; ocorrerá, também, decréscimo na velocidade do processo de translocação de nutrientes pelo xilema e fotossintetizados, pelo floema; o que ocasionará o congestionamento de substâncias na parte aérea, bloqueando o metabolismo.

Se, como exemplo, a temperatura do solo, em uma cultura de algodão herbáceo ou de melancia, é conservada em 10°C, a absorção é de somente 20% da água que seria absorvida se a temperatura estivesse em 25°C. (MEYER et al. apud VAREJÃO-SILVA, 2001).

Apesar de se constituir rotina, em diversas estações meteorológicas, medidas de temperatura do solo em várias profundidades, há reduzida utilização dessas observações, devido ao fato de não se considerar o fator térmico como limitante na agricultura. Enfatiza-se o fator hídrico; enquanto que a temperatura do solo é fator determinante na formação do próprio solo, na retenção e fluxo de água, na decomposição de componentes minerais e orgânicos, na liberação de nutrientes para as plantas, entre outras. Condutividade e difusividade térmicas, além do fluxo de calor são as propriedades mais importantes, devido atuarem fortemente nas relações de energia do sistema solo-planta-atmosfera (SILVA JÚNIOR, 2002).

Dados, apresentados por Klar (1984), evidenciam influências da temperatura do solo na fotossíntese líquida, bem como no processo de transpiração das plantas. Estes dados mostram uma sensibilidade da cultura do milho para temperaturas de solo pequenas, em torno de 0°C.

Nielsen & Humfries apud Klar (1984) afirmam que a temperatura do solo afeta o crescimento das plantas, a fotossíntese, a absorção de água, o metabolismo das raízes, a nutrição mineral, a morfologia das raízes e o suprimento de O<sub>2</sub>.

Brady (1989), em seus estudos sobre a natureza e as propriedades dos solos, obra clássica, bastante utilizada nos cursos superiores de Agronomia, destaca este elemento climático, mostrando sua real importância nas diversas áreas onde é predominante. Ele coloca em evidência a influência preponderante da temperatura do solo nos processos físicos, químicos e biológicos que nele ocorrem. Destaca, também, o fato de que certos processos vegetais, como germinação de sementes e crescimento radicular, acontecem a partir de determinados valores críticos de temperatura do solo; além do fato da absorção e do transporte de água e de íons nutrientes pelos vegetais superiores<sup>2</sup> sofrerem influência negativa de temperaturas baixas nos solos.

Com relação à engenharia, este autor informa, na mesma obra, que as mudanças na temperatura do solo podem provocar efeitos de soerguimento em fundações rasas de casas ou em estradas.

Conclui, ainda no mesmo trabalho, que três fatores influenciam direta ou indiretamente a temperatura do solo nos campos, quais sejam: (a) saldo líquido do calor absorvido pelo solo; (b) energia calorífica exigida para ocasionar mudança específica na temperatura dum solo e (c) energia necessária para modificações, tal

---

<sup>2</sup> Os vegetais superiores são os produtores básicos da matéria orgânica e os armazenadores de energia solar (BRADY, 1989).

como a evaporação, que ocorrem constantemente na superfície dos solos ou na sua vizinhança.

### **2.3.1 Fatores ligados à Temperatura do Solo**

Claramente, percebe-se que a radiação de energia solar, que chega a Terra, quantitativamente, determina o volume de calor absorvido nos solos. O clima definirá a irradiação solar em determinado local. Porém, ainda de acordo com Brady (1989), fatores como a cor do solo, sua declividade, bem como a cobertura vegetal da área considerada, influenciam na quantidade de energia que penetra no solo. Os solos escuros absorvem mais energia quando comparados aos de cor claras, portanto o aumento de temperatura ocorre de maneira mais eficiente nos solos vermelhos e amarelos do que nos de coloração branca.

Conforme observações realizadas pelo autor citado no parágrafo anterior, um ângulo de incidência solar mais próximo à perpendicular, provocará maior absorção. Sendo que, solos nus se aquecem e esfriam de maneira mais rápida do que outros que apresentam cobertura vegetal ou artificial.

Seguindo este estudo, invoca-se a importância do calor específico ou capacidade térmica do solo, pois haverá variações mais lentas na temperatura de um solo que apresenta elevado calor específico; tendo a umidade do solo atuação contra mudanças rápidas de temperatura nesse ambiente.

O mesmo autor comenta que a umidade do solo será o fator determinante da quantidade necessária de energia para fazer aumentar a temperatura do solo, destacando-se no estabelecimento de sua capacidade calorífica. E, ainda, a quantidade de calor usada para a evaporação de água do solo dependerá, fortemente, dessa umidade.

Sobre o processo de penetração de calor no solo, Brady (1989) afirma que a condutibilidade proporciona tal transporte, influenciada, principalmente e muito provavelmente, pela quantidade de umidade dos perfis dos solos. Segundo ele a transferência de calor do solo para a água ocorre, aproximadamente, cento e cinquenta vezes mais facilmente quando comparado à transferência de calor do solo para o ar.

Outro fator relacionado à temperatura do solo é a chuva ou a irrigação, pois as chuvas de primavera, em regiões temperadas, aquecem a superfície do solo

devido à penetração da água nela. Então, no verão, ocorrerá o inverso e, freqüentemente, a água que penetra no solo tem uma temperatura menor que a do mesmo, arrefecendo-o.

Para Baver et al. (1972), a temperatura do solo depende, em grande parte, da duração e intensidade da radiação solar e das condições do solo, como teor de umidade e cobertura superficial.

Segundo Mota (1983), nos solos, a velocidade do fluxo de calor depende do gradiente de temperatura e da condutividade térmica que eles apresentam. Se outros fatores não oscilam e as variações de temperatura da superfície são pequenas, maior será a condutividade térmica do solo e melhor será a sua capacidade como acumular calor.

O conteúdo de matéria orgânica, a porosidade e a umidade de um solo determinam, basicamente, sua condutividade térmica.

Este mesmo autor informa que, uma quantidade maior de umidade aumenta consideravelmente a condutividade térmica e que um solo mineral transfere calor mais rápido que um solo rico em matéria orgânica. A condutividade térmica de uma substância determina a razão na qual o calor é transferido em um determinado corpo; a capacidade calorífica deste corpo definirá o aumento de temperatura que este calor produzirá. Ter-se-á como o índice que traduz a facilidade com a qual, numa substância, é proporcionada uma mudança de temperatura, o que chamamos de difusividade térmica, o quociente entre a condutividade térmica e a capacidade calorífica dessa substância.

Ocorre o aumento da difusividade térmica do solo com a quantidade de umidade, porque a água diminui o isolamento ocasionado pelo ar nos poros. Ainda de acordo com Mota (1983), há aumento desta característica com a compactação do solo e diminuição com a introdução de matéria orgânica.

## **2.4 Variações Térmicas no Solo**

Nos ecossistemas terrestres, a parte que se constitui mais importante armazenadora e comutadora de energia térmica é a superfície do solo. Partindo-se da quantidade de radiação solar nesta superfície, o que ocasiona seu aquecimento ou resfriamento no período diário ou anual, acontecerão as oscilações térmicas nas camadas mais profundas do solo. Oscilações térmicas mais intensas limitar-se-ão

aos horizontes superficiais, pois as absorções e perdas energéticas processam-se na superfície. Há, ainda, mais internamente, pequena propagação de calor.

Existe um retardamento nos instantes de temperaturas máximas e mínimas devido á lentidão na propagação de calor no solo; ocorrendo, também, acentuada diminuição da amplitude térmica nos primeiros centímetros (BERGAMASCHI e GUADAGNIN, 1993).

Segundo Vianello e Alves (2000), a nebulosidade constitui-se numa das principais causas de redução de amplitudes de oscilações térmicas da superfície do solo.

Observações realizadas por Medcalf (1956), Bavel (1972) e Haynes (1980), corroboram ser a cobertura morta vegetal indutora de diminuição da temperatura do solo.

## **2.5 Temperatura do Ar e do Solo**

A temperatura do solo pode diferir acentuadamente da temperatura do ar, pois responde diretamente aos efeitos da insolação local. Porém a temperatura do ar carrega muito da temperatura do solo, devido à radiação terrestre.

Através de dados apresentados por Vianello e Alves (2000), verifica-se que, nos horários padrão de medidas (12, 18 e 24 TMG), que correspondem aos da convenção internacional de 9, 15 e 21 horas locais, a temperatura do ar apresenta-se com valores inferiores à do solo, o que aponta a existência de uma transferência de calor do solo para a atmosfera.

Pode-se, então, chegar à conclusão que os dados de temperatura do ar colhidos nestes horários, carregam em si, muitas informações a respeito da temperatura do solo. As médias diárias serão obtidas através destes dados; então refletirão aproximações reais desta temperatura.

De acordo com Mota (1983), para a vida vegetal, a temperatura do solo é mais significativa, ecologicamente, do que a temperatura do ar. Um exemplo disto constata que, na região tropical, altas temperaturas de solo produzem degeneração em tubérculos de batata, pois, para esta cultura, a temperatura ótima está próxima a 17°C, sendo que não há crescimento dos tubérculos para temperaturas acima de 29°C. Em grandes montanhas e diversos ambientes polares não haveria vegetação, se não fosse o fato da temperatura do solo se apresentar mais alta que a do ar,

principalmente no período em que há incidência de radiação solar. Para a agricultura, será de suma importância o significado ecológico da temperatura do solo. Poderá haver retardo ou perda de colheitas, caso a temperatura do solo não seja favorável no período de crescimento. Desejado é, pelos horticultores, que o solo se aqueça rapidamente na estação da primavera. Em diversas situações existem intensas ligações entre as variações de temperatura do solo e o êxito ou o fracasso de determinada empreitada agrícola.

## **2.6 Medidas de Temperatura do Solo**

OMM (1971 apud VAREJÃO-SILVA, 2001), estabeleceu as profundidades padrões de medidas de temperatura de solo em 2, 5, 10, 20, 50 e 100 cm.

Estudos sobre a variação horária da temperatura do solo foram realizados por Costa e Godoy (1962), em solo nu, com cobertura orgânica e com gramado, nas profundidades de 2, 5, 10, 20, 50, 70 e 100 cm. A profundidade encontrada como sendo de transição das variações térmicas foi a de 20 cm. Acima disto tem-se uma região de fortes oscilações enquanto que abaixo, uma zona onde as oscilações térmicas são muito reduzidas.

Goedert (1971), Mendez e Assis (1981), através de pesquisas desenvolvidas em Pelotas-RS, corroboraram o fato da amplitude térmica no solo diminuir com o aumento da profundidade.

Os trabalhos realizados em Belém do Pará, por Bastos e Sá (1976), com medidas de temperatura do solo, colhidas nos horários de 7, 9, 15 e 21 horas e profundidades de 2, 10 e 20 cm, mostraram, nas condições de solo nu, gramado e com palha seca de grama, que, em todas as situações, houve diminuição das amplitudes térmicas na medida em que aumentava a profundidade. Observaram, também, uma diminuição brusca, dessas amplitudes, em 20 cm, além do que as amplitudes eram menores nos solos com cobertura. Em solo nu obtiveram as maiores médias mensais, seguido pelo solo com cobertura morta. Outra constatação foi a de que, no local, a temperatura do solo começa a subir a partir das 7 horas, chegando ao seu valor máximo em torno das 15 horas.

Basto e Diniz (1974) realizaram um trabalho de comparação analítica no qual confrontaram temperatura de solo nu, com a de solo sob floresta equatorial úmida, em profundidades de 2, 5, 10, 20, 30, 50 e 100 cm e nos horários de 9 e 15 horas,

por todo o ano de 1973. Obtiveram temperatura máxima, nos dois casos, próximo das 15 horas e, também, verificaram que, a 2 cm de profundidade, as amplitudes térmicas eram menores no solo sob floresta em comparação ao solo desnudo, sendo a amplitude térmica anual naquele igual a 3,2°C e neste de valor 19,3°C. Observaram, também, baixíssima amplitude de variação de temperatura nas medidas realizadas abaixo de 20 cm de profundidade.

Segundo Bergamaschi e Guadagnin (1993), sempre se mostrou problemática a obtenção da temperatura média do solo em profundidades diversas, devido ao fato das leituras ocorrerem em somente três horários, fixados durante as 24 horas do dia, quando a aplicação do cálculo de média aritmética produz resultados menos reais, principalmente onde acontecem as maiores amplitudes térmicas, ou seja, nas camadas superficiais. Em nosso país, a maior parte das estações meteorológicas realizam medidas nos horários das 9, 15 e 21 horas, de acordo com o padrão internacional sinótico utilizado para previsão do tempo.

## **2.7 Influência da Temperatura do Solo na Agricultura**

De acordo com Klar (1984), todas as plantas necessitam de uma determinada quantidade de calor, no solo onde se encontram. Como exemplo, cita-se a faixa de 0 a 5°C como temperatura mínima para possibilitar germinação em sementes de trigo e cevada, sendo a temperatura máxima entre 31 e 37°C; na cultura do melão será, respectivamente, de 15 a 18 e de 44 a 50°C. Faixas de temperatura de solo ideais para germinação em trigo e melão são, respectivamente, de 25 a 31°C e de 31 a 37°C.

O mesmo pesquisador informa que a temperatura do solo atua fortemente sobre a capacidade de desenvolvimento das radículas<sup>3</sup>, sendo de 6 a 10°C a faixa ótima para um desenvolvimento adequado nas culturas de inverno.

Informa, ainda, que maior resistência à seca e ao frio e facilitação na sintetização do açúcar são obtidos através de diminuições gradativas na temperatura do ar e do solo; decréscimos rápidos, para valores abaixo de 0°C, diminuem as resistências.

---

<sup>3</sup>O aparecimento de pequenas raízes.

Por outro lado, segundo Klar (1984), altas temperaturas de solo prejudicam a formação das raízes, podendo atingir os caules de maneira danosa.

Numa pesquisa para determinar qual seria a temperatura do solo mais adequada à cultura do feijão, na Baixada de Sepetiba-RJ, Azevedo e Junot (1953) chegaram à conclusão que a faixa de 25 a 30°C estaria perfeitamente de acordo com o que procuravam. Este dado pode ser, hoje, utilizado, somado a outros, para o melhor planejamento de produção nesta cultura.

Silva, Nascimento e Ricieri (2001), submeteram cultura de alface a estufas com cobertura de polietileno (27°C), observando uma maior produção, melhor qualidade e aparência mais saudável quando comparadas às produzidas em solo com cobertura de sombrite (25°C) e às produzidas em solo sem nenhuma cobertura (28°C).

De acordo com Silva (2002), a temperatura ideal para germinação da soja, segundo sua pesquisa, está entre 25 e 30°C, sendo que, para nodulação e fixação de nitrogênio a faixa é de 27 a 32°C.

Estudos do Centro Nacional de Pesquisa de Soja – CNPSO, apresentados em EMBRAPA (2002), recomendam que não se realize semeadura de soja se a temperatura do solo estiver abaixo de 20°C, sob pena de haver prejuízo às fases de germinação e emergência. Indica, ainda, ser, de 20 a 30°C, a faixa adequada de temperatura de solo para a semeadura e de 25°C a temperatura ótima para se produzir uma emergência rápida e uniforme.

Lindemann & Ham (1979), consideram que temperaturas de solo superiores a 25°C, para a soja, causam diminuições sistemáticas na atividade de nodulação.

Philpotts (1967), Munévar & Wollum (1981), informam que temperaturas de solo superiores a 35°C, freqüentemente apresentadas em muitas áreas de produção de soja, constituem uma das principais causas de pequena nodulação.

Segundo Norris & Date (1976), a faixa de temperatura de solo de 25 a 35°C tem sido indicada como ideal para produzir boa nodulação e fixação de nitrogênio em leguminosas tropicais.

Galleti et al. (1971) apresentaram estudo onde concluem que temperaturas ao redor de 33°C prejudicam a iniciação dos nódulos e a eficiência na fixação de nitrogênio em soja. A temperatura de 27°C apresentar-se-á como a mais adequada para esses dois processos.

Ainda referindo-se à cultura da soja, Pankhurst & Sprent (1976) esclarecem que há máxima atividade de nitrogenase em temperaturas compreendidas entre 19 e

30°C, ocorrendo diminuição forte, nessa atividade, para temperaturas inferiores ou superiores a esta faixa.

Ferrari et al. (1967) constataram que, em temperaturas de 35 a 40°C, a nodulação e o teor de nitrogênio total da soja diminuíram.

Para Risser, Cornillon e Rode (1978), os subperíodos correspondentes à semeadura-emergência e crescimento inicial são os mais afetados pela temperatura do solo, quando ocorrem grandes oscilações de temperatura, sobretudo em partes superficiais do solo. Em cultura de hortaliças como tomate, berinjela, pimentão e melão, a temperatura de solo mais adequada está entre 15 e 20°C. Há, também, temperatura de solo necessária para que exista atividade vegetal mínima. Para o feijão, tomate e melão esta temperatura é de 12°C, enquanto que para a couve de 5°C.

Matzenauer et al. (1982) levaram adiante um estudo relativo à cultura do milho, onde o objetivo era avaliar o efeito da temperatura do solo na duração do subperíodo semeadura-emergência, desenvolvido na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Eles observaram haver um encurtamento do subperíodo semeadura-emergência devido a um aumento na temperatura do solo e que ocorria, em sua maioria, emergência de plantas na faixa compreendida entre 26 e 30°C, de temperatura de solo.

O planejamento de produção agrícola pode passar por uma antecipação de semeadura, em determinadas regiões, devido à necessidade de um melhor acoplamento entre temperatura do solo e quantidade de umidade presente no mesmo, ou seja, temperatura de solo propícia e pluviosidade adequada. Maluf et al. (2000), estudaram e delimitaram regiões do Rio Grande do Sul, em que a temperatura do solo, sem cobertura, a uma profundidade de 5 cm, nos meses de julho, agosto e setembro, esteja satisfatória à perfeita germinação de sementes de culturas de primavera-verão. Para a obtenção de uma desejável população de plantas, tomou-se como 16°C, temperatura de solo média a 5 cm de profundidade, a temperatura a partir da qual as sementes de culturas de verão oferecem germinação uniforme e satisfatória. Foi verificado que, em média, o Rio Grande do Sul possui regiões com temperatura de solo adequada para o início do período de semeadura de culturas de verão, a partir do terceiro decêndio de julho (21 a 30/07), sendo que do terceiro decêndio do mês de setembro em diante observa-se que, em praticamente todo o Estado, a temperatura de solo é favorável à semeadura. A partir destes dados e dos de melhores períodos de chuvas, para cada região do Estado do

Rio Grande do Sul, plotaram as regiões, acrescentando a elas, os melhores períodos para a semeadura.

Steinmetz et al. (2001) realizaram trabalho visando à redução de riscos climáticos na produção de arroz irrigado que utiliza o sistema de semeadura convencional, onde a temperatura do solo se apresenta como fator imprescindível, principalmente quanto à época de início de semeadura, cujos objetivos foram calcular e espacializar, no Estado do Rio Grande do Sul, temperatura média de solo descoberto, a uma profundidade de 5 cm, para decêndios compreendidos entre os meses de setembro e dezembro. Neste trabalho procurou-se levar em consideração a questão ligada à *infestação de invasoras*, que, segundo Kwon et al. (1996 apud STEINMETZ, 2001), geralmente elas se desenvolvem, inicialmente, melhor que o arroz, quando ocorre semeadura precoce, em que a temperatura do solo possui valor inferior ao exigido pela cultura, o que poderá elevar, em muito, o custo da produção, de acordo com Klosterboer & Turner (1998 apud STEINMETZ, 2001). Nishiyama (1976 apud STEINMETZ) informa serem as faixas de temperaturas, de solo, críticas ótimas para a germinação e emergência nessa cultura as de 20 a 35°C e 25 a 30°C, respectivamente e, ainda, que no interior dessas faixas, há crescimento dos processos de germinação e emergência à medida que ocorre a elevação destas temperaturas. Partiu-se de 20°C como sendo a temperatura mínima para a semeadura do arroz, já que, segundo Yoshida (1981 apud STEINMETZ, 2001), este valor constitui o limite inferior do intervalo adequado de temperatura do solo para a germinação das sementes.

Os resultados dessa pesquisa indicaram que, das trinta localidades estudadas, somente em sete (Uruguaiana, Alegrete, São Borja, Santa Maria, Santa Rosa, Santo Augusto e Taquari) a magnitude de temperatura do solo possibilitava o início de semeadura do arroz irrigado no terceiro decêndio de setembro; sendo adequada esta semeadura, para todo o Estado do Rio Grande do Sul, somente a partir do terceiro decêndio de outubro.

Nas duas circunstâncias, citadas anteriormente, percebe-se, além de uma *interdependência* entre umidade e temperatura do solo, também, que as atuações desses dois fatores devem ocorrer em conjunto, para que se obtenha melhor aproveitamento nessas plantações.

Para as culturas agrícolas, o fato de se poder prever o melhor período de realização da semeadura constitui um evento de alta relevância e praticidade. O que confirma, mais uma vez, a importância da temperatura do solo na Agricultura.

## 2.8 Solo e Climatologia

Prevedello (1996), observa que as propriedades térmicas de um solo, aliada às condições meteorológicas locais definirão a capacidade de armazenamento e transferência de calor<sup>4</sup> neste. Estas duas condições atuarão nos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo, ou seja, se a faixa de temperatura do solo não estiver adequada à manutenção dos processos fisiológicos pertinentes, em determinada ação de cultura agrícola, poderá ocasionar interrupção na atividade microbiológica, não acontecer a germinação ou não haver o desenvolvimento das plantas. Dependem ainda da temperatura do solo, as propriedades físicas da água e do ar no interior do solo, além de seus movimentos e disponibilidade, bem como as reações químicas para fornecimento de nutrientes às plantas. A evaporação dependerá, enfaticamente, do calor armazenado nas regiões superficiais do solo.

Devido à enorme capacidade do solo em reter calor, existe maior precisão nas medições de temperatura nele, em comparação com as medidas de temperatura do ar, pois as variações rápidas são contrabalançadas pelo seu tempo de resposta à radiação solar, que fica em torno de uma hora. É por esta razão que a obtenção de temperaturas máximas e mínimas diárias torna-se suficiente para os propósitos agrícolas (MOTA, 1983).

Segundo Bley Jr. (1999) a radiação solar, sendo a principal fonte de energia da Terra, constitui um dos fatores mais importante à agricultura. Esta radiação varia, fortemente, com a latitude. Por exemplo, na Europa Oriental, França, Bélgica e Luxemburgo, que apresentam latitudes entre 41°20' e 53°30' N, a intensidade de radiação solar varia de 5.204 a 3.349 MJ/m<sup>2</sup>; na Europa Central, Alemanha e Dinamarca, latitudes entre 47° e 58° N, essa intensidade está na faixa entre 4.186 a 3.349 MJ/m<sup>2</sup>. Em nosso país, cujas latitudes encontram-se entre 5° N e 34° S, as intensidades variam de 6.699 a 5.024 MJ/m<sup>2</sup>. Ao se comparar esses dados, verifica-se um excesso dessa energia em nosso território. Se for observado o Estado do Rio Grande do Sul (27 a 34° S), no qual encontramos as maiores latitudes do Brasil, portanto acentuadas inclinações dos raios solares, conclui-se, através de dados de intensidade de radiação, ser esta um terço maior que a dos países europeus citados anteriormente. Então, muitas vezes, devem-se pesquisar técnicas que possam atenuar os efeitos das oscilações de temperatura do solo no Brasil, para que se

---

<sup>4</sup>Transporte de calor sensível ao seu interior (PEREIRA et al., 2002).

possa garantir uma melhor adequação, às diversas culturas agrícolas, deste fator que, mais uma vez, se mostra tão importante à Agricultura.

A respeito de Erosão Solar, este autor comenta sobre a liberação de CO<sub>2</sub>, pelo solo, devido à temperatura. Quando a temperatura do solo aumenta, até certo limite, mais gás é liberado, porque aumenta a velocidade de decomposição de matéria orgânica. Erosão quer dizer desprendimento e transporte de partículas do solo; é o que ocorre quando este gás é liberado para a atmosfera, ele arrasta partículas. O limite de velocidade de decomposição é alcançado, geralmente, entre 30 e 35°C, para depois colapsar, se houver, ainda, aumento na temperatura do solo. É muito fácil se chegar a estes valores nas regiões tropicais do Brasil, bem como no verão, em todo o País.

O aquecimento da superfície do solo ocorre devido, principalmente, à absorção de energia solar. As diversas ocorrências de comutação de calor, entre a superfície do solo e a atmosfera, acontecem tanto no decorrer do dia como durante o período da noite, sendo realizadas através dos mecanismos de condução e irradiação. Este processo de troca de calor ocorre, também, quando da evaporação e condensação de água e em consequência da fusão do gelo ou da neve sobre a superfície, em certas regiões. Dentro do solo o calor é transportado por condução e, através da água, por convecção. Há também reações químicas, endodérmicas e exodérmicas, ou advindas de atividades biológicas de microorganismos telúricos (VAREJÃO-SILVA, 2001).

De acordo com Varejão-Silva (2001), a variação de temperatura do solo, pelo fato de o fluxo de calor no solo estar associado, principalmente, à absorção de energia solar à superfície, possui um ciclo diário e outro anual. Estes ciclos, de uma certa forma, tentam acompanhar os movimentos aparentes do sol, apresentando um certo atraso devido à propagação de calor apresentar-se lenta nesse ambiente. O fluxo de calor, durante o dia, ocorre de cima para baixo; à noite esta situação é invertida.

Alves Sobrinho et al. (2001), através de estudos realizados sobre os efeitos da temperatura do solo na cultura do algodão, nas profundidades de quatro, oito e doze centímetros, verificaram que o solo irrigado mostra temperatura levemente inferior ao não irrigado; concluíram, ainda, ser de muita importância, a obtenção de conhecimentos que possam proporcionar o *entendimento* sobre o perfil de temperatura do solo, fato, este, imprescindível à determinação da profundidade ideal ao plantio e à utilização do manejo de solo mais adequado.

## 2.9 Duas Concepções da Pesquisa Científica

Nogueira (2002) apresenta o Paradigma Científico Moderno e o Paradigma Pós-Moderno da Ciência, as duas concepções de pesquisa científica que, hoje, predominam, de acordo com Capra (2002); sendo a primeira, ainda preponderante nas ciências exatas e naturais, constituinte de um modelo, cartesiano-newtoniano, em que as influências iniciais se devem a Francis Bacon e a René Descartes.

Bacon (1561–1626), filósofo Inglês, destaca a *observação*, a *experimentação* e a *indução*, contrapondo-se à técnica da *dedução*, que constituiu a principal ferramenta da Ciência Medieval. Argumentava que, através da *dedução*, pode-se chegar a resultados *errados*, mesmo usando o *rigor*, se as *premissas* (idéias racionais sobre a Natureza) forem *falsas*. De fato não se faziam experimentações na Ciência da Idade Média. A indução baconiana resume-se à transformação de *casos particulares* em *leis gerais*, a partir de *experimentos* e *observações*. O método *observacional* foi bastante utilizado pelos astrônomos Nicolau Copérnico (1473 – 1543), Tycho-Brahe (1546 – 1601), Kepler (1571 – 1630) e Galileu Galilei (1564 – 1642).

René Descartes (1596 – 1650), filósofo francês, deu ênfase ao *racionalismo*, onde a *intuição* e a *dedução* constituem os pilares das descobertas científicas; sendo a *Matemática* o verdadeiro *livro do Universo*. Ele despreza toda a informação oriunda dos *sentidos* humanos, contrariamente a Bacon, defendendo uma *razão pura* e *indubitável*, que reduz o *complexo* ao *simples*, a algo como a *Matemática* na tradução da Natureza. A *evidência* é o fator fundamental e que deve ser alcançada através da *clareza* e *distinção* das *idéias*. Para Descartes, a *evidência* não tem nenhuma necessidade de se utilizar dos sentidos, pois estes são enganadores. *Ela* constitui a *idéia* que se encontra na mente. O meio intelectual para se chegar à *evidência* é a *intuição*, a qual provém da *pura razão* e que não precisa da argumentação por ser *clara* e *distinta*, não apresentando *dúvida* (devido a grande simplificação realizada). Seu método contém, ainda, um processo denominado *análise*, o qual constitui a *divisão*, do problema, em partes cada vez menores, quantas vezes forem necessárias, até que não haja mais dúvidas e o conhecimento sobre elas seja *claro* e *evidente*. É, então, realizada uma *síntese*, a partir da *análise*, para que se retorne à *complexidade*, quando se terá, agora, o conhecimento,

desmistificado, da *totalidade*. Defendeu, ainda, a realização de *enumerações* para a *análise* e de *revisões* para a *síntese*, para evitar omissões.

A linguagem para tradução das leis cósmicas era a da *Matemática*, segundo Descartes; o que não ocorria em Bacon.

É uma concepção mecanicista, em que se privilegia a *simplificação da Natureza (reducionismo)* e onde esta é, também, concebida como uma máquina, cujas partes são separadas para serem estudadas; havendo, depois uma recomposição delas, quando muitas destas partes são desprezadas e poucas consideradas importantes para o fenômeno. É o, chamado, abandono de variáveis; prática bastante disseminada pela Física Clássica e que atingiu diversas áreas do conhecimento, mesmo aquelas mais distantes das ciências exatas, como a Biologia, a Medicina, a Economia, por causa do enorme sucesso alcançado pela teoria newtoniana. Até os organismos vivos, para ele, eram máquinas. Aqui, dá-se ênfase exagerada à razão, em detrimento dos sentimentos e das emoções. Através do *cogito ergo sum* (penso, logo existo), proporcionou uma separação extrema entre corpo e mente, colocando a razão acima de qualquer outra dimensão da vida; supervalorizando o trabalho mental, em detrimento do trabalho manual. A separação entre mente e corpo, também, dificultou a percepção da existência de *interconexões* entre as doenças do corpo e o estado mental, bem como das *inter-relações* entre doenças mentais e o estado do corpo, em pacientes da Medicina e da Psicologia, respectivamente; além de proporcionar divisão, através do incentivo a uma extrema especialização, existente nessas ciências, hoje. Dificultou, também, enormemente, o início da Mecânica Quântica, quando os físicos tiveram que reaprender a interpretar as respostas da Natureza aos seus questionamentos.

A questão da supervalorização da razão se encaixou muito bem nas áreas da engenharia, justamente devido ao fato de a vida cotidiana das pessoas ocorrer no que se denomina *zona de dimensões médias*, onde as velocidades e as dimensões envolvidas respondem muito bem a este pensamento: são velocidades consideradas muito pequenas, quando comparadas à velocidade da luz, e objetos de dimensões grandes, quando comparadas à dimensão do átomo, pois constituem uma enorme quantidade de átomos. Quando, porém, se parte para estudar o micro ou o macro, aí ocorre uma mudança radical. Os físicos, quando começaram a estudar o átomo, quase chegaram à loucura. Não havia lógica nos fenômenos atômicos. Parecia que a base, que eles haviam construído até então, tinha desaparecido e eles deveriam

começar tudo de novo; tinham que reaprender a fazer perguntas à Natureza, através de novas experiências.

Isaac Newton (1642 – 1727), físico inglês, combinou, eficientemente, os métodos de Bacon e Descartes para consolidar a Ciência Moderna, utilizando-se, respectivamente, da experimentação e indução, e do racionalismo e dedução.

O *Cálculo Diferencial e Integral*, construído, independentemente, por Newton e o matemático Leibniz, constituiu a ferramenta poderosa da Mecânica Clássica, base do Paradigma Científico Moderno.

O *determinismo* apresenta-se, aqui, como fator de destaque. Tudo pode ser previsto a partir do conhecimento das condições iniciais. *Espaço* e *tempo* são *absolutos* e *matemáticos*. A matéria é formada de partículas sólidas, impenetráveis e maciças. Tudo é movimento.

A segunda concepção surgiu, ironicamente, de um ramo da Física, a Física Moderna, a qual compreende a *Relatividade Especial* e a *Mecânica Quântica*, e emerge a partir de 1900, com Max Planck (descoberta do quantum de energia), devido uma falha na utilização do *Cálculo Diferencial e Integral*, ferramenta principal da Mecânica Clássica, na obtenção da energia média da radiação de cavidade, no desenvolvimento da teoria de radiação do *Corpo Negro*, pelos físicos Rayleigh (1842 – 1919) e Jeans (1877 – 1946), cujo resultado não concordava com a experiência, nas frequências mais altas, o que foi denominado como “*catástrofe do ultravioleta*”, evidenciando uma *inconsistência, significativa*, na teoria da Física Clássica. Planck, através de um truque matemático, substituiu as *integrais* por *somatórias* (como a integral constitui uma soma de partes infinitesimais, isto é, infinitamente pequenas, ela se torna algo *contínuo*, portanto, *classicamente*, a emissão de energia pelos átomos seria *contínua* e não em *parcelas*); ele queria ajustar a teoria à prática a qualquer custo. Planck, no início, não acreditava que a Natureza se apresentasse desta maneira, qual seja, átomos emitindo energia em *pacotes*. Porém, a Natureza estava enviando um recado de que havia algo de errado com a teoria clássica. É que a matéria, com a qual se está acostumado em lidar, se compõe de uma enorme quantidade de moléculas e, portanto, de átomos. Por exemplo, um mol de moléculas de ferro (embora este assunto seja adequado a gases, serve a analogia a sólidos, para se ter uma idéia), definido como uma massa, em gramas, de uma substância pura, igual a sua massa molecular (NUSSENZVEIG, 1990), contém  $6,023 \times 10^{23}$

moléculas de ferro e, por este ser um elemento monoatômico, tem o mesmo número de átomos. É uma enorme quantidade de átomos para 55,8 g de ferro; durante a vida, inteira, de uma pessoa não dá tempo de contar toda esta quantidade. Imagine uma barra de ferro aquecida; seus átomos irão emitir energia em *pacotes (quanta)*. Como as emissões acontecem “*aleatoriamente*” (há influências de todo o Universo) no tempo e existe uma quantidade exorbitante de átomos emitindo energia, uma medida clássica, desta, próximo à barra, supõe, facilmente, que ela está sendo emitida *continuamente*, como se pensa na Ciência Moderna, porém os átomos permanecem emitindo em parcelas, como se prevê na Ciência Pós-Moderna.

Em 1905, Einstein (1879 – 1955) estendeu o conceito do quantum (pacote) de energia à luz (fóton), através da teoria, por ele desenvolvida, do efeito fotoelétrico, tendo sido criticado, informalmente, pelo próprio Planck em 1913. Mas, por este estudo, Einstein ganhou o Prêmio Nobel em 1921. Como é que a luz pode ser ora *onda* e ora *partícula*? Dois conceitos opostos? *Onda* constitui um ente físico que ocupa todo o espaço onde se encontra; *partícula* constitui uma entidade confinada a um volume pequeníssimo (Capra, 1999). O oposto de uma verdade pode, também, ser uma verdade? Na Mecânica Quântica pode; como também pode ocorrer nas Humanidades. A *lógica* cartesiana é *desconstruída*! Pra onde foi a *razão*? E, de acordo como se monta à experiência, a luz se apresenta como *onda* ou como *partícula*; então, o observador interferiu no resultado e, portanto, o laboratório não está isolado do observador, existe *interconexão, interdependência* entre ambos. Descartes estava errado, o corpo não está separado da mente.

Em 1911, Rutherford (1871 – 1937) apresentou trabalho, o qual mostrava ser o átomo constituído, em sua maior parte, de *espaços vazios*; ou seja, a relação entre o diâmetro do núcleo e o diâmetro do átomo oscila entre 1/10.000 e 1/100.000. No caso mais extremo, pode-se fazer a seguinte analogia: imagine a situação em que um átomo hipotético possua o tamanho da Terra; neste caso o diâmetro de seu núcleo seria, mais ou menos, vinte por cento maior que o tamanho de uma quadra, aproximadamente, cento e vinte metros; o restante seria espaço vazio, com algumas pequenas “*pedras*”, representando os elétrons, circulando nas redondezas. Dá para imaginar isto? É muito absurdo, pela lógica cartesiana. Como é que as coisas são tão *sólidas, maciças e consistentes* se a maior parte da matéria é formada de *espaços vazios*? E a *racionalidade* continua a se *desmoronar*. Não se consegue, através dos sentidos, perceber a *realidade atômica*; então, vive-se uma *irrealidade* sob o *ponto de vista atômico*.

Em 1913, Bohr (1885 – 1963) formulou quatro *postulados* para adequar o modelo do átomo à espectroscopia realizada na época. Dá para aceitar *postulado* em Física? Na Matemática é comum, porque a própria Matemática constitui uma idealização mental, onde se pode pensar em tudo perfeito, simétrico. Não havia, porém, nenhuma outra alternativa, diante das discrepâncias entre as experiências atômicas e a teoria da Física Clássica. A própria *existência do átomo* não poderia ser sustentada, *classicamente*, já que o elétron girando ao redor do núcleo estaria, constantemente, acelerado para o centro do núcleo (força centrípeta) e, devido a esta aceleração, emitiria, *continuamente*, energia, até cair no mesmo, desta forma não existindo o átomo. Porém, experiências, como a de Rutherford, mostravam existir o diâmetro do núcleo e o diâmetro do átomo, ou seja, o núcleo e a eletrosfera.

O físico francês Louis de Broglie (1892 – 1987), em 1924, levantou uma hipótese da existência de “*ondas de matéria*”. Menos de um ano após esta idéia, ocorre a comprovação experimental da mesma por C. J. Davisson (1881 – 1958) e L. H. Germer (1896 – 1971), em um experimento em que produziram uma figura de interferência de elétrons acelerados que colidiam com um cristal. Ocorreram experiências posteriores, mostrando interferência de átomos. Então, outro absurdo à *razão*: a matéria possui, também, característica de onda!

Heisenberg (1901 – 1976) demonstrou o *Princípio da Incerteza*, através do qual não se pode determinar, no interior de um átomo, com exatidão, a *posição* e a *velocidade* de um elétron, *simultaneamente*, em qualquer tempo. A diminuição da incerteza em uma das medidas, acarreta o aumento de incerteza na outra. Aqui, o *determinismo* de Newton desaparece; permanecem apenas as *probabilidades* de ocorrências. Então, no Paradigma Científico Emergente não existe determinismo, há, sim, probabilidades. E as probabilidades são *diversas* (devidas às influências de todo o Universo), o que evidencia a *não existência* de *exatidão* na *Natureza*.

Assim, a *ocorrência da matéria subatômica* está repleta de *possibilidades* de posição; pode aparecer aqui, ali ou acolá, de acordo como se *olha*, através das experiências; num mesmo instante de tempo existem muitas opções e o observador interfere no resultado da observação *escolhendo* uma, por intermédio do que já existe em sua consciência.

Nesta concepção da Ciência, a *percepção* sobre a Natureza caracteriza-se de maneira *orgânica, sistêmica* e em *totalidades indivisíveis e organizadas*. Assim, o Universo não mais será entendido como uma máquina, constituída de objetos, mas será descrito como um *todo, indivisível* e *dinâmico*, onde suas partes estão *inter-*

*relacionadas e interdependentes*, podendo, somente, serem compreendidas como modelo de um *processo cósmico*.

O outro lado da Física Moderna é o que se denomina *Relatividade Especial* e que começa em 1904 com a descoberta das *Transformações de Lorentz*. O físico, holandês, Lorentz (1853–1928), juntamente com o matemático francês, Poincaré (1854–1912), desenvolveram uma relação matemática que possibilitou a utilização das equações de Maxwell (1831 – 1879) em sistemas de referências inerciais, ou seja, aqueles referenciais que se movem com velocidades constantes entre si. As *Transformações de Galileu*, tão utilizadas por Newton na Mecânica Clássica, haviam falhado, neste caso.

Newton considerava o *tempo* como *invariante*, como se pensam nas mentes *lógicas* de senso comum das pessoas. Algo que não modifica seu compasso; caminha independentemente do que acontece em sua volta, do passado ao futuro, passando pelo presente. A *razão* não permite que se pense numa variação na medida do tempo; mas é o que acontece com Lorentz. O tempo não é mais absoluto. Dependendo do referencial, medem-se determinados valores para o tempo, que não se apresentarão iguais. Então surge o fenômeno da *Dilatação do Tempo*, que pode ser, melhor, entendido através do *paradoxo dos gêmeos*: “Dois irmãos gêmeos; um permanece na Terra; o outro embarca numa nave espacial, viajando a uma velocidade grande, próxima à da luz; quando este retorna a Terra, o seu irmão, ou está muito velho ou já morreu, ou seja, o tempo, na espaçonave, medido a partir do referencial da Terra, passou mais devagar do que o tempo na própria Terra” (TIPLER, 1986). Isto é muita *loucura* para nossas mentes cartesianas! Foi comprovado, por experiências com relógios atômicos em aviões comerciais que deram a volta na Terra por duas vezes, em outubro de 1977, por Joseph Hafele e Richard Keating (HALLIDAY, 1995) e, também, através de uma experiência microscópica, com múons (partículas subatômicas), no mesmo ano, no CERN (HALLIDAY, 1995).

Estas variações nas medidas de tempo não são percebidas no cotidiano das pessoas, devido às pequenas velocidades a que estão submetidas, isto é, estão na *Zona de Dimensões Médias*, já citada anteriormente.

Assim como o tempo é afetado pela relatividade de velocidade, também o *espaço* o é. As conseqüências das *Transformações de Lorentz* para o espaço, também, são arrasadoras para o pensamento clássico. Ocorre o que se denomina *Contração do Espaço*, isto é, um corpo qualquer em repouso apresenta um

determinado comprimento. Este mesmo corpo, estudado por um observador em movimento retilíneo uniforme, em relação ao referencial de repouso do corpo, possuirá um comprimento menor. Isto somente será percebido, em nosso “*mundo*” diário, se as velocidades forem grandes, próximas à da luz. Newton também considerava o *espaço* como *absoluto*. As mentes das pessoas pensam, também, desta maneira. É difícil aceitar esses acontecimentos, mas a Natureza se apresenta desta forma, às vezes, muito *louca à racionalidade*.

Outro fato curioso, relacionado à *Relatividade Especial*, é o que se denomina *Massa Relativística*. A massa de um corpo em repouso é diferente da massa do mesmo corpo em movimento, quando medidas a partir do referencial em repouso. E isto somente seria percebido, no “*mundo*” diário das pessoas, se as velocidades fossem grandes, mais uma vez próximas à da luz. Por exemplo: uma pessoa de setenta quilogramas de massa, medida na Terra, se estivesse viajando, em movimento retilíneo uniforme, com uma velocidade igual ao valor de noventa e nove por cento da velocidade da luz, apresentaria um valor de massa, medido a partir da Terra, igual à, aproximadamente, quatrocentos e noventa e seis quilogramas (NOGUEIRA, 2002). Como é que isto é possível? Tem lógica, este fato? Em 1909 Burchereer realizou uma experiência, onde mediu, quase que diretamente, as massas de elétrons que viajavam em altas velocidades, confirmando este fenômeno (EISBERG, 1979).

Lorentz não percebeu as *implicações relativísticas* de suas transformações, pois as mesmas foram construídas para resolver o problema, citado anteriormente, entre as equações de Maxwell e as transformações de Galileu. Einstein, mais uma vez, teve a percepção física do que ocorria, neste caso, em Lorentz. Dessa maneira, surge a Relatividade Especial.

Começou, então, a *emergir* uma *nova*, porém consistente, *percepção* de mundo, a partir de mudanças *revolucionárias* nos conceitos de realidade advindos da Física Moderna. Estes conceitos, certamente, abalaram a, então, *racionalidade* defendida pela teoria clássica. Racionalidade, esta, muito exaltada por Descartes e levada à sua concretização máxima, por Newton.

A *super valorização da razão* é *abalada*, mais uma vez, pelos estudos de Damásio (1996), nos quais chegou à conclusão que os *sentimentos* encaminham as pessoas num espaço mais conveniente para a *tomada de decisões*, onde se pode melhor tirar partido dos instrumentos da *lógica*. Sendo que, fatos ignorados pela *abordagem tradicional* foram, justamente, aqueles observados em seus pacientes,

como a condição em que uma *redução nas emoções* pode constituir uma fonte de *comportamento irracional*, o que, aparentemente, seria *irreal*, mas não o é. Na realidade, este fato pode, sim, segundo o mesmo pesquisador, ensinar muito sobre o mecanismo biológico da *razão*.

Até o ano de 1993, Damásio (1996) e seus colaboradores haviam estudado treze doentes com lesões pré-frontais e, em todos os casos, foi confirmada uma *associação* entre a deficiência no processo de *tomada de decisões* e a *perda de emoções e sentimentos*.

Portanto, este novo paradigma<sup>5</sup> científico está aí, para ser utilizado no mundo acadêmico; para constituir uma alternativa à resolução de problemas *complexos*, em que falhou aquela concepção cartesiana-mecanicista, devido, principalmente, a uma limitação de linguagem. Constitui um desafio à *criatividade* científica contemporânea.

## 2.10 Adequação do Modelo

Escolheu-se, aqui, descrever uma das abordagens de *validação*, apresentada por Vianna (2005), na qual sua definição significa garantir, aos pesquisadores e a quem mais interesse, a existência de adequação de uma teoria ou modelo aos fins práticos para os quais será utilizado.

Dando continuidade a este enfoque e de acordo com Miser (1993 apud VIANNA, 2005), é o feito da *aproximação* com a *realidade* que produz a tese da *validação*. E, ainda enfatiza, que não existem *critérios universais* para se realizar *validação*, sendo que, as avaliações de validade estão fortemente relacionadas ao fenômeno em modelagem, bem como, às finalidades de aplicação do modelo.

A opção em apresentar, aqui, esta linha de pensamento, deve-se ao fato de a mesma aproximar-se mais do enfoque relativo ao paradigma científico emergente, qual seja, o *“Caminho”* da Ciência onde se dá destaque, nos fenômenos, às *totalidades, interdependências e interconexões* entre os *acontecimentos*, na opinião deste autor, quando comparada às outras linhas participantes na discussão em Vianna (2005).

---

<sup>5</sup>Analogias científicas que produzem modelos, os quais, através de intervalos de tempo aproximadamente longos e de forma mais ou menos clara, guiam o posterior desenvolvimento das pesquisas, restritamente, na procura da resolução dos problemas por elas promovidos (KUHN, 2000).