

ENERGIA SOLAR E CONFORTO AMBIENTAL

Felix Alberto Farret

O sol é a melhor fonte de luz, calor, movimentação de ar e eletricidade, considerando as variáveis primárias do conforto humano. Talvez seja a fonte energética mais limpa de todas. Quanto à luz solar, sempre que possível, é bom tê-la em abundância em nossos ambientes por tudo o que significa. O calor é gratuito e geral. O ar movimenta-se sobre a superfície do globo pelas diferenças de calor que geram a força dos ventos e a brisa tão desejada. A eletricidade alimenta os caprichos da sociedade moderna. Existem casos, porém, em que não se pode desfrutar disso. Em edifícios de grandes áreas edificadas, por exemplo, onde a luz do dia ou do sol sequer consegue chegar a alguns dos seus ambientes. Há também a necessidade de continuação das atividades do ser humano à noite. Em todas as situações, sempre que possível, deve-se usar a complementaridade entre a energia natural do sol e a tecnologia artificial do homem. O sol ainda é, e vai ser sempre, indispensável.

Ilustração de abertura

Oscar Niemeyer: estudo de um sistema de proteção solar. In: PAPADAKI, Stamo. *The work of Oscar Niemeyer*. New York: Reinhold, 1950.

- ¹ FIGUEIREDO, C. *Pequeno Dicionário da Língua Portuguesa*. Lisboa: Sociedade Editora Arthur Brandão, 1924.
- ² SÉGUIER, J. *Diccionario Práctico Ilustrado*. Porto: Lello & Irmão Editores, 1941.
- ³ FERREIRA, A. B. H. *Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1988.

Conforto ambiental?!

O sentido da palavra conforto não evoluiu muito nas definições dos dicionários: “ato ou efeito de confortar. Estado de quem é confortado. Comodidade material. Consolação”¹; “ato ou efeito de confortar. Estado de quem é confortado. Comodidade material: gostar de conforto”²; “bem-estar material; comodidade”³. Tecnicamente, no entanto, a definição tornou-se mais precisa e específica pelo uso de normas internacionais como a ISO7730, a NB-10 ou a ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) que define estritamente o conforto térmico como: “um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”. Esta definição refere-se à troca nula de energia pelo corpo e certos limites de temperatura para a pele e suor.

Seguindo a saga das definições, observa-se que, na maioria dos textos relacionados ao conforto ambiental, pouca importância é dada ao entendimento do que é o conforto propriamente. A devastadora maioria da literatura está mesmo mais preocupada com a quantidade de energia necessária e em como se vai proporcionar o conforto do que com a idéia do conforto e bem-estar propriamente ditos. Provavelmente, muito mais sobre conforto é encontrado em um livro qualquer de energia ou engenharia mecânica do que num texto que poderia ser específico e multidisciplinar sobre o assunto. Por esta razão, quase sempre são discutidos apenas alguns dos fatores que levam a pessoa a sentir-se ou não confortável. Tais fatores são relacionados, na sua maioria, com aqueles assegurados pela primeira lei (estados energéticos inicial e final) e pela segunda lei (transmissão de calor da fonte mais quente para a mais fria) da termodinâmica. Eles manifestam-se ou aparecem no ambiente através de efeitos, tais como: o calor ou frio, a presença de gases ou mistura deles, vapores, ar úmido, calefação, refrigeração e ventilação, todos relacionados a uma certa pressão atmosférica local de intocada controlabilidade. Veja-se o caso de aviões, por exemplo, que é uma das exceções no que se refere a pressão ambiente que tem de ser controlada para obter o conforto necessário ao passageiros.

Na prática, os fatores ambientais têm sido reunidos nas noções de conforto térmico, iluminação e tratamento do ar/água e referem-se àqueles itens que devem ser pagos por quem quer deles desfrutar ou os que devem ser quantificados por quem quer com eles auferir lucro. Em tal ambiente, o ser humano é visto apenas como uma réles máquina que deve ser colocada em condições adequadas de

- ⁴ FANGER, P. O. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1972.
- COSTA, E. C. *Arquitetura Ecológica: Condicionamento Térmico Natural*. São Paulo: Edgar Blücher, 1982, p. 265.
- GIVONI, B. *Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Building*, v. 18, p. 11-23, jul./92.
- COSTA, G. J. C. *Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1998, p. 502.

temperatura, umidade, iluminação e pressão para funcionar adequadamente.⁴

Conforto ambiental definitivamente não é só isto. Aqueles fatores que não podem ser fornecidos no mercado sob forma de produto, em geral, não são abordados, salvo de forma pública. Isto é dito porque hoje já podemos comercializar fatores de conforto: a iluminação adaptada a uma dada atividade, a saúde dos alimentos, a tranquilidade num condomínio, a segurança nas ruas. O mesmo não se pode dizer com relação a melhorias ambientais, entre elas, o ruído dos veículos, trens e aviões, a poluição do ar na cidade em que vivemos, a situação do país ou do mundo, a confiança na família, a veracidade das amizades e a certeza do amanhã. Todos estes fatos podem colocar-nos numa situação tal de desconforto que, na sociedade moderna, tem sido melhor suportar a temperatura e o ar pesadamente compartilhado numa praia ou piscina ou, ainda, a presença carregada de um bar, cinema, teatro ou clube, do que suportar o ambiente condicionado de nossa casa junto com os nossos melhores coabitantes. Quem considera, por exemplo, a possibilidade de um avião ser dirigido contra a nossa casa ou a fome de nosso compatriota que pode levá-lo ao desespero de suas ações?

Mas, qual o ramo da engenharia ou do conhecimento que integra tudo isso? São tantos e tão variáveis os fatores e considerados tão diversamente pela personalidade de cada indivíduo, que é quase impossível considerar-se num compêndio ou estudo o que resolver primeiro nesta lista bastante longa. Esclareça-se também que nem todos podem ser comprados, compreendidos ou re-arranjados. Numa tal complexidade, o problema deixa de ser de engenharia ou arquitetura e entra num ramo multidisciplinar de envolvente acesso para o conhecimento humano individual ou profissional. Enquanto isso, então, tem-se que continuar falando em conforto térmico, iluminação, eletricidade e tratamento do ar/água.

Conforto térmico

O conforto térmico baseia-se nas trocas termo-energéticas entre o ambiente e o ser vivo nele inserido. Para melhor compreender o relacionamento do conforto ambiental com a energia, deve-se pensar que cada ser vivo tem a sua maneira própria de assimilar a energia do ambiente para torná-lo confortável. No caso dos vegetais, eles usam a fotossíntese para absorver a energia solar e, assim, transformá-la em energia química latente. Esta, por sua vez, é facilmente assimilada pelos animais incluindo-se aí os seres humanos. O protoplasma, constituído pela matéria viva animal,

não passa, então, de um fiel depositário de energia química latente a ser usada para satisfazer as suas necessidades vitais: correr, emocionar-se, irritar-se, alimentar-se, defender-se e divertir-se. Nestas ações, a energia latente é liberada sob forma de energia mecânica, calórica, química, elétrica e, em alguns casos, até luminosa. Decorre daí a importância dos ciclos vitais onde o animal absorve o vegetal que, por sua vez, libera compostos e misturas químicas, as quais são reabsorvidas novamente pelos animais, num ciclo interminável de transformações contempladas atentamente pela energia solar, que as mantém ativas. Vistos assim, os seres terrestres são verdadeiras fontes ambulantes de energia, cujo calor é dissipado para desenvolver as suas atividades vitais. A quantidade de calor dissipado é mantida pelas diferenças das energias ambientais entre uma fonte mais quente e outra mais fria, estabelecidas por faixas de valores de temperatura, umidade, movimentação do ar e pressão.

A maior demonstração da influência energética sobre a atividade dos seres vivos é a própria distribuição dos povos sobre o mapa da terra. Como se pode observar num mapa geopolítico ou sócio-econômico, nos pólos da terra, as atividades vivas são mínimas, e sempre foram representadas por ursos, pingüins, baleias, alguns pássaros e peixes, adaptados para estas condições extremas de vida. Inexiste produção industrial ou conglomerados populacionais significativos. À medida que nos dirigimos para o Equador, as atividades internas, representadas por fábricas, lojas de departamentos e casas de espetáculos públicos, tornam-se mais freqüentes. Já no Equador, tais atividades não são mais tão intensas e tendem a se manifestar em aglomerações ao ar livre dentro das cidades, alimentação natural e variada, sempre na busca das melhores condições de conforto e bem-estar.

As possibilidades modernas de condicionamento do ar e climatização artificial, estão transformando este panorama do clima no planeta e influenciando o seu equilíbrio em relação a si mesmo e aos demais. Quem pensaria que nas montanhas de lixo depositadas na terra teriam que ser também consideradas as mega toneladas de massa sendo retiradas da terra pelas naves espaciais? Isto é, será que a diminuição da massa da terra realmente não age sobre o equilíbrio das forças centrífugas e centrípetas que a mantém em órbita como as leis físicas apregoam? E os impactos das bombas atômicas sobre um lado apenas da superfície da terra?

Voltemos ao caso do conforto térmico para o ser humano. Tal como os outros seres vivos, ele depende para viver do seu metabolismo que se relaciona com as transfor-

mações de matéria e energia representadas pelos processos vitais, ou seja, a queima das calorias existentes nos alimentos e do ar. Essas transformações usam o oxigênio absorvido de diversas formas pelo corpo humano, que pode acontecer de modo diferente de indivíduo para indivíduo, dependendo intrinsecamente da sua constituição, natureza, personalidade, raça, idade, saúde, sexo, peso e altura. Fatores extrínsecos também contribuem para tais mudanças, como o modo de vida (nutrição e atividade), o meio ambiente (clima e habitação) e o vestuário.

Para se ter uma idéia quantitativa da medida do metabolismo do ser humano, pode-se utilizar como referência um valor representado pela energia mínima consumida por metro quadrado por um indivíduo normal, em jejum de 12 horas, em repouso absoluto, deitado, vestido porém sem agasalho e em um ambiente tal que não sinta nem frio nem calor. Para um indivíduo adulto, este consumo é algo em torno de 36 a 40 kcal/m²-h. Um ser humano ocidental típico pode ser tomado como tendo uma altura de 1,80 m, 75 kg e uma superfície corporal de 1,98 m². Neste caso, o consumo básico necessário de energia é de 70 a 80 kcal/h ou, aproximadamente, 1 kcal/kg-h.

Muitos são os fatores que podem influenciar o metabolismo humano e dependem de fatores pessoais e ambientais, como se disse antes. Entre os fatores pessoais estão: a idade do indivíduo, sua digestão, patologias e tipo de atividades exercidas. Os fatores ambientais dependem das variações de temperatura, umidade e pressão já que estas afetam a regulação térmica pessoal. Assim, a energia consumida pelo indivíduo pode variar de algo como 75 kcal/h para o repouso, 150 kcal/h para um trabalho leve, 225 kcal/h para a dança ou esporte leve e até 300 kcal/h para um trabalho pesado.

Dependendo da adaptabilidade dos animais em relação às condições do meio, eles podem ser poiquilótermos (temperatura variável) ou homeótermos (temperatura constante). Entre os primeiros estão os peixes e répteis e, entre os segundos, estão os mamíferos e as aves. No corpo humano esta temperatura gira em torno de 37°C. Nas aves, a temperatura é bem mais elevada pelo isolamento devido à cobertura das penas. Em qualquer dos casos, há uma troca térmica entre o meio através do ar expirado e da condução, convecção e irradiação compensadas pela ingestão de alimentos, bebidas e ar inspirado. Outras formas de troca calórica, dão-se através das quantidades de calor na forma latente representadas pela exalação e exsudação corpórea. Assim, o intercâmbio calórico com o ambiente acontece com a passagem do calor do corpo humano para o

meio exterior influenciado pela sua temperatura, grau higrométrico e deslocamento do ar. Estes fatores são os usados para estabelecer o equilíbrio de troca calórica nos projetos de climatização de ambientes. Em resumo, quanto mais elevada a temperatura ambiente, maior o calor liberado na forma latente e maiores as necessidades ambientais de evaporação. A Norma Brasileira NB-10 relaciona a atividade humana e a temperatura ambiente na forma mostrada na tabela 1 para estabelecer o calor liberado por pessoa.

A regulação térmica humana depende, portanto, da diferença das temperaturas interna e externa ao corpo, isto é, de como o organismo humano pode trocar naturalmente energia com o meio ambiente. Conhecido como autorregulação, este processo baseia-se na produção interna de calor, na qual provavelmente o fígado desempenha o papel mais importante, dependendo da ingestão de alimentos gordurosos. O sistema nervoso é que se encarrega de liberar a produção de calor pela quantidade de oxigênio que coloca à disposição dos tecidos reguladores.

A redução das perdas de calor é o modo como o ambiente atua sobre o equilíbrio térmico humano. Esta redução de perdas depende da constrição/contração vascular da pele, da distribuição da água no sangue e da redução da condutibilidade térmica da pele, acentuada pela desidratação que dobra quando a temperatura vai de 5°C a 30°C. Há na realidade uma forma de compensação entre a produção interna de calor e as perdas manifestadas minimamente pela redução da resistência térmica da pele com a circulação ativada do sangue e, principalmente, pelo aquecimento do suor que, ao ser evaporado, carrega consigo grandes quantidades de calor.

Tabela 1: Calor médio liberado por pessoa.

temperatura ambiente °C	Pessoa sentada ou em movimento lento (calor total = 100 kcal/h)		Pessoa em exercício físico moderado (calor total = 166 kcal/h)	
	calor sensível	calor latente	calor sensível	calor latente
29	45	55	38	128
28	50	50	45	121
27	55	45	52	114
26	58	42	58	108
25	62	38	64	102
24	66	34	72	94
23	69	31	77	89
22	72	28	82	84
21	75	25	88	78

Bem-estar térmico

A sensação de bem-estar térmico depende de uma série de variáveis usadas nas fórmulas básicas convencionais da termodinâmica para exprimir as trocas de calor. Estas variáveis relacionam-se com o vestuário, a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a velocidade do ar, a atividade física e a pressão do vapor medidas pelo termômetro de bulbo seco, termômetro de bulbo úmido, termômetro de globo, psicrômetro giratório e anemômetro. Talvez fosse melhor usar a temperatura da sensação térmica ou temperatura ambiental num fator ambiental, “g”, para envolver a variável humana com o ambiente, a qual é expressa por:

$$g = \frac{t_{ar} - t_a}{t_{ar} - t_r}$$

onde t_a é a temperatura ambiental, t_{ar} é a temperatura do ar e t_r é a temperatura média radiante. O valor médio de “g” (0,45) depende da constituição do corpo humano.

Com tanta subjetividade, convinha definir um coeficiente estatístico de satisfação com a sensação térmica, o que foi feito por Fanger e adotado pela ISO7730 em 1984. Trata-se de uma abordagem estatística da insatisfação de grupos de pessoas com o conforto ambiental, conhecida como percentual de pessoas insatisfeitas (PPI), relacionada com o voto médio predito (VMP). Para espaços de ocupação humana termicamente moderados, o PPI deve ser bem menor do que 10% correspondendo a uma faixa de -0,5 a +0,5. O VMP foi estabelecido para grupos de diversas pessoas de diferentes nacionalidades, idades e sexos que atribuíam seu voto de acordo com a sua insatisfação com a sensação térmica que ia de zero para o conforto térmico negativo (de -3 a 0) pelo frio e positivo (de 0 a +3) pelo calor. O gráfico da figura 1 relaciona o PPI ao VMP na forma apresentada por Fanger. As variáveis ambientais para determinação do conforto ambiental incluem perguntas sobre a temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, temperatura do ar, atividade física e vestuário.

Bem-estar visual

Como a luz do sol também afeta o bem-estar do ser humano, ela pode ser incluída como um fator comercializável de conforto. Para tal, o conforto visual deve aproveitar ao máxima a iluminação natural do dia. Ela é estabelecida pelas condições disponíveis ao ser humano para desenvolver

as suas tarefas visuais com exatidão e precisão visuais, com reduzido esforço e menores riscos de prejuízos à vista e de causar ou sofrer acidentes. Para isto, deve-se levar em conta o nível da iluminação, a distribuição da iluminação conforme as necessidades das tarefas, a ausência de ofuscamento, a definição dos contrastes e o sombreamento adequado quanto ao tipo e à direção. A NB-57 fixa as iluminâncias mínimas medidas em lux a serem atingidas em função da atividade visual a ser executada (tabela 2).

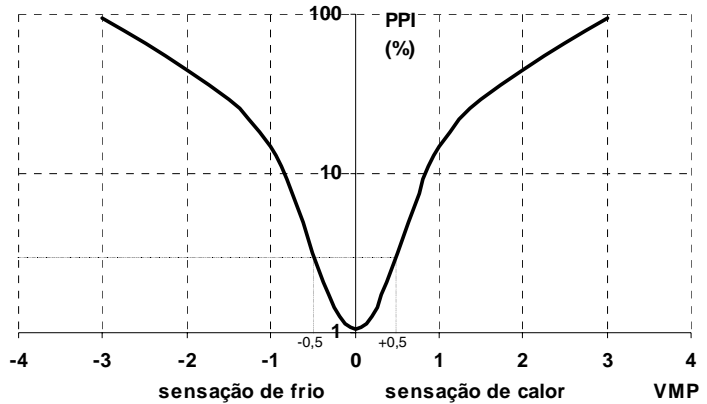


Figura 1: Gráfico de Fanger para o Conforto Ambiental.

Tabela 2: Níveis Mínimos de Iluminância por Tarefa (NB 57).

Classificação	Iluminância Mínima	Tarefa
baixa	100 a 200 lux	-circulação -reconhecimento facial -leitura casual -armazenamento -refeição -terminais de vídeo
alta	300 a 500 lux	-leitura/escrita de documentos com alto contraste -participação em conferências
média	500 a 1.000 lux	-leitura/escrita de documentos com fontes pequenas e de baixo contraste -desenho técnico

O Sol como fonte de energia, vida e luz

O melhor conhecimento sobre o conforto ambiental e a melhor utilização dos materiais, da energia e do meio ambiente, despertaram a humanidade para um interesse todo especial que é o estudo das relações entre a vida e o clima,

conhecido como bioclimatologia. Este campo de estudo procura estabelecer quantitativamente as variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas de forma a compatibilizar, da maneira mais adequada, a vida humana ao meio ambiente. Com isto, tem-se lançado mão dos sistemas de climatização (natural ou artificial) e de iluminação (natural e artificial), ambos relacionados de certa forma à radiação solar, ponderando-se sempre entre a viabilidade econômica e o bom senso das soluções.

Como se viu, o Sol praticamente garante a vida na terra pela sua energia transformada em suas muitas formas indispensáveis para a sobrevivência dos seres vivos. Em contraposição, a necessidade do ser humano de usar abrigos para proteger-se (habitação) faz com que, mesmo sem querer, ele se afaste do contato com o sol e a natureza em geral. Por isso, compete ao engenheiro ou arquiteto, a adequação da habitação aos seres nela viventes manifestada pela forma da habitação, sua finalidade, tipos de fechamentos (cobertura, portas, janelas, soleiras, paredes, pisos, etc.) e uso dos sistemas de condicionamento (clima efetivo e luz). Assim, na fase de projeto de uma residência, local de trabalho ou lazer, devem ser pensadas as melhores formas de interação entre o habitante ou usuário e o meio ambiente.

Quando houver necessidade de iluminação artificial, as opções comerciais são muitas. As lâmpadas de filamento incandescente são as mais comuns. Eles aquecem e iluminam o ambiente, tendo assim pouco rendimento relativo à iluminação, e vida bem mais curta em relação ao que outras alternativas podem oferecer. Um outro tipo de lâmpada é o que usa reatores externos para iniciar uma ionização gasosa (lâmpadas frias). São as lâmpadas fluorescentes comuns, as de alto rendimento ou compactas e as de vapor de mercúrio. Elas produzem irradiação ultravioleta que se transforma em luz visível ao atravessar as paredes do bulbo de vidro envoltório revestido por substâncias fosforescentes. Como estas dependem da frequência da tensão de alimentação (60 Hz no Brasil), produzem um efeito, chamado estroboscópico, que prejudica a boa qualidade da visão, tornando-se cansativa nas tarefas que exijam concentração visual em minúcias e detalhes e visualmente enganosas para a movimentação de objetos ou máquinas em velocidades proporcionais à frequência. Um outro problema é a partida destas lâmpadas, que pode oferecer diversos inconvenientes, como interferência eletromagnética, redução de sua vida útil, perdas extras de energia nos reatores de partida e necessidade de esperar-se alguns minutos para reacendê-las em casos de necessitar-se religamento por queda de tensão.⁵ Seu uso é mais recomendável para aqueles locais onde a iluminação

⁵ REIS, L. B. & SILVEIRA, S. *Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável*. São Paulo: EDUSP, 2000, p. 284. COSTA, G. J. C. *Op. cit.*

deve ser usada de modo permanente do que naqueles onde elas podem ser freqüentemente ligadas e desligadas por economia de eletricidade e pela maior duração da fonte de luz. Ainda bem que os reatores eletrônicos modernos tendem a minimizar estes problemas.⁶

Sob o ponto de vista geral, o sol deve ser levado em conta na definição da forma arquitetônica para melhor se desfrutar do conforto térmico e da iluminação. Assim, o projeto arquitetônico nunca deve prescindir de uma correta orientação em relação aos ventos, chuvas e ao sol. Logo, a função da edificação (residencial, comercial, industrial ou pública) relaciona-se aos efeitos térmicos, acústicos, visuais e aos horários de utilização que os habitantes e equipamentos impõem sobre ela durante a sua ocupação num esquema de interação da forma arquitetônica com a eficiência energética. Via de regra, porém, os sistemas naturais de condicionamento são preferíveis em relação aos artificiais, tanto para a iluminação como para a climatização.

O envoltório da habitação (pisos, paredes, fechamentos e coberturas) afeta direta e indiretamente a radiação solar e, portanto, o calor e a luz, conforme o material usado na construção. Quanto aos fechamentos, eles podem ser opacos ou transparentes para refletirem, absorverem ou transmitirem a radiação solar, sob forma de luz ou calor, para utilização no interior da habitação. Os fechamentos de vidro podem ser vistos como diodos energéticos ou seja, veículos unidirecionais de radiação em muitos aspectos. Por exemplo, os vidros facilitam a entrada do calor por radiação e dificultam sua saída por serem bons isolantes de calor, tendendo, portanto, a aumentar a temperatura interna (efeito estufa).

A diferença de temperatura entre o ambiente interno e o externo é que determina o fluxo do calor numa habitação, indo sempre da temperatura maior para a menor. Com isto, é natural a troca de calor com o meio exterior, a condução pelo fechamento e a troca de calor com o meio interior. Estes meios de troca de calor dão-se por transmissão, absorção e reflexão de energia. Portanto, o projeto da construção deve selecionar o tipo de fechamento quanto a cor, opacidade e inércia térmica para evitar perdas excessivas de calor no inverno e ganhos elevados, no verão. Textos especializados sobre estes assuntos dão em mais detalhes as quantidades pertinentes.⁷

Da evolução dos estudos sobre o clima, surgiram as cartas bioclimáticas relacionando a umidade e a temperatura do ambiente a partir de uma simplificação do diagrama termodinâmico de Mollier (entalpia x entropia). A pressão

⁶ GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR/GTEC. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Coleção Tópicos de Atualização em Equipamentos Elétricos. Rio de Janeiro: CEPTEL-CRESESB, 1999, p. 204.

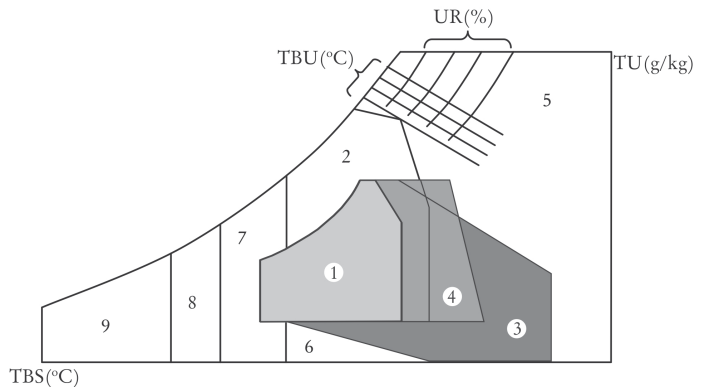
⁷ MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA/ANEEL/ANP. *Eficiência Energética*. Rio de Janeiro, 1999, p. 432. ADVISORY COMMITTEE MEMBERS OF THE SOLAR ENERGY APPLICATIONS. *Solar Heating and Cooling of Residential Buildings*. Colorado State University, outubro, 1977, p. 311. BECKMAN, W. A., KLEIN, S. A. & DUFFIE, J. A. *Solar Heating Design*. New York: Wiley-Interscience, junho, 1977, p. 200.

atmosférica é sempre tomada como aproximadamente constante (carta psicrométrica). A mais conhecida destas cartas é a de Givoni, que leva em conta os diversos efeitos subjetivos do clima. Para o Brasil, apresenta-se como na figura 2, sendo a taxa de umidade dada em g de vapor/kg de ar seco.⁸ Esta carta é adaptada para os países em desenvolvimento aumentando os limites máximos de conforto pela natural aclimação da população.

⁸ FANGER, P. O. *Op. cit.*
 COSTA, E. C. *Op. cit.*
 GIVONI, B. *Op. cit.*

A zona 1 da carta bioclimática de Givoni indica uma grande probabilidade de que as pessoas se sintam com conforto térmico vivendo naquele ambiente. É interessante notar que o habitante dos países tropicais e subtropicais sente-se confortável se vestir roupas leves com alguma ventilação, mesmo para amplas variações de umidade, digamos, entre 20% e 80%, e de temperatura, algo entre 18°C e 29°C. As zonas de 2 a 9 na figura 2 indicam a medida de climatização mais adequada a ser adotada para o ambiente naquelas condições bioclimáticas. Aí é que entra a engenharia do clima e do aproveitamento da energia solar.

A necessidade de ar condicionado usando energia elétrica ou outra qualquer, restrita à zona 5 da carta de Givoni, exige a entrada de energia adicional no ambiente. Entre 10,5°C e 14,0°C usa-se o aquecimento solar passivo, recomendando-se o isolamento térmico da edificação. Nas temperaturas inferiores a 10,5°C pode-se precisar de aquecimento artificial, como veremos abaixo.



- 1 - zona de conforto
- 2 - zona de ventilação
- 3 - zona de resfriamento por evaporação
- 4 - zona de massa térmica para resfriamento
- 5 - zona de ar condicionado
- 6 - zona de umidificação
- 7 - zona de massa térmica para aquecimento
- 8 - zona de aquecimento solar passivo
- 9 - zona de aquecimento artificial

TBU: temperatura de bulbo úmido
 TBS: temperatura de bulbo seco (0°C a 50°C)
 TU: taxa de umidade (10g/kg a 30g/kg)
 UR: umidade relativa

⁹ REIS, L. B. & SILVEIRA, S.
Op. cit.

Figura 2: Carta Bioclimática de Givoni para o Brasil.⁹

A energia solar

A irradiação solar, obviamente, vem do sol, ou, em outras palavras, de um imenso reator de fusão nuclear localizado a uma distância média da Terra de 150 bilhões de quilômetros e com temperatura de superfície de cerca de 6.000°C. É do sol que chega continuamente energia na forma de radiação, distribuída aos pontos distantes do universo de acordo com a distância do astro rei. Na distância da Terra, a intensidade solar no espaço exterior é de 581W/m²/hora, conhecida como a constante solar, com uma variabilidade de 3%. Pela forma elíptica da órbita terrestre em torno do sol, a distância terra-sol muda durante o ano, fazendo com que a irradiação varie de 556W/m²/hora a 597W/m²/hora. Da mesma maneira que há alguma variação na energia solar que chega ao espaço exterior terrestre, existe uma ampla variação na energia solar disponível numa determinada localização da superfície terrestre. Esta é a energia que interessa para os aproveitamentos solares práticos que ainda variam com latitude, estação do ano e condições climatológicas locais.

De acordo com a utilização ambiental, a radiação do sol pode ser separada em três regiões principais de energia. A energia de alta frequência, ou ultravioleta (UV), que é detectada no corpo humano pelas queimaduras solares. A radiação de energia da faixa de frequência média, que é a banda visível – aproveitada pelos painéis fotovoltaicos – e a radiação da faixa de baixa frequência, ou infravermelho (IV ou IR), aproveitada pelos coletores solares. A maior concentração da energia solar está na faixa visível e os coletores de energia solar devem ser projetados para interceptar esta porção do espectro solar.

A energia que chega do sol ao espaço exterior da terra é reduzida à medida que atravessa a atmosfera e se aproxima da superfície do solo, por uma série de processos intermediários. Estes processos referem-se principalmente a: 1) reflexões para o espaço exterior a partir da camada externa da atmosfera; 2) nuvens que agem como verdadeiros refletores de energia para o espaço exterior; 3) absorção de energia por compostos químicos da atmosfera como a camada de ozônio, o dióxido de carbono, o oxigênio, poeiras, nuvens e o vapor de água.

Assim, a radiação solar pode ser direta, se não foi dispersa ao passar pela atmosfera e, caso contrário, é radiação difusa. Num dia claro, a maior parte da energia que chega à terra é a direta, enquanto que em dias nublados, a maior parte, ou a quase totalidade, é a difusa.

As variações de intensidade da energia dependem do mês do ano, do dia do mês e da hora do dia. No inverno, o sol está mais baixo que no verão e, portanto, na superfície horizontal chega menos radiação. As alterações diárias na radiação terrestre devem-se, principalmente, às nuvens, poeiras e poluição. Para efeitos de projeto, usa-se as condições de radiação média diária, enquanto para o aquecimento, usa-se o valor médio diário para o mês mais frio (julho, no sul do Brasil). A variação horária deve-se à rotação da Terra. Pela manhã, o sol está a um ângulo muito baixo e os raios solares devem passar através de uma espessura maior de atmosfera entregando menos energia na superfície da Terra. O pico diário ocorre à tardinha, quando o sol está no maior ângulo e tem que atravessar a maior camada de ar. Como os dias são mais curtos no inverno, a quantidade de energia varia com a estação.¹⁰

¹⁰ GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR/GTEC. *Op. cit.*. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA/ANEEL/ANP. *Op. cit.*. ADVISORY COMMITTEE *Op. cit.*

Os coletores solares para aquecimento direto de água

O coletor solar é um dispositivo que converte diretamente a radiação solar incidente em energia calórica útil para aquecer o ar e a água usados em sistemas de aquecimento ou resfriamento. O coletor consiste de uma placa escurecida ou preta para absorção do calor. Este calor é transferido para um fluido passando pelas placas para assim ser levado para outras partes do sistema. Para evitar perdas, usa-se material isolante térmico sob a placa de absorção. Pela mesma razão, usa-se uma cobertura transparente, via de regra, feita de vidro, que mantém o ar aquecido no compartimento formado para evitar que o calor seja perdido por condução, radiação ou convecção.

Os coletores podem ser do tipo plano ou de concentração. Os coletores planos são os mais usados nas residências, enquanto os de radiação são do tipo industrial permitindo que temperaturas mais altas sejam obtidas apesar da quantidade de calor ser a mesma em ambos para uma dada abertura. Os coletores de concentração (calhas, pratos parabólicos ou de alvo) não aproveitam a radiação solar difusa, mas reúnem a radiação solar direta a partir de uma abertura maior de entrada para focalizá-la numa área menor, um ponto ou numa linha (canalização).

O tipo mais comum de aquecedor solar de água para climas amenos onde não haja congelamento da água é o de circulação por termosifão. São caixas retangulares, geralmente de alumínio, com uma tubulação para circulação da água aquecida e uma cobertura de vidro para isolar o ar confinado. Ele mede algo entre 3 m² e 7 m². O tanque de

armazenamento de água é de 200 a 400 litros. Em locais bem ensolarados, as necessidades de água quente para uma família de 4 pessoas poderiam ser satisfeitas com os valores médios destas medidas. A pressão da água para estes casos é a do abastecimento de água. A operação não pressurizada pode ser usada com uma válvula bóia no tanque de armazenamento ou num tanque elevado para um sistema assim construído. Para tanques elevados haverá um fluxo por gravidade a partir do tanque de água quente para a torneira de água quente ou, então, uma bomba automática deverá ser colocada na linha de água quente para dar pressão ao sistema. A localização do tanque acima do topo do coletor permite a circulação de água do fundo através do coletor e de volta para o topo do tanque. A diferença de densidade entre a água fria e a quente produz o fluxo de circulação. A circulação ocorre apenas quando há energia solar e o sistema torna-se auto-controlado. A cada circulada de água, a temperatura eleva-se algo entre 8°C e 12°C em dias de pleno sol.

Um dos maiores problemas dos coletores solares é a corrosão da canalização. A tabela 3 apresenta uma série de metais e ligas para uso em soluções aquosas. Os fatores que ajudam a corrosão de metais em soluções aquosas são: oxigênio dissolvido, ácidos, sulfitos, lata, cobre, cobalto, níquel, chumbo e, ainda, em sistemas de alumínio, a presença de magnésio, cloro, sulfato, nitrato, carbonato e íons hidróxidos. A presença de cálcio, bicarbonato, metafosfato e fosfato monohidrogenado ajuda a controlar a corrosão, além de ser benéfica a presença de sílica, cor orgânica e bórax. Mais recentemente, surgiram as tubulações de CPVC que podem suportar água quente até 80°C com a vantagem de que não sofrem os efeitos da corrosão.

Tabela 3: Série galvânica de metais e ligas em soluções aquosas.¹¹

Facilmente corroídos	Difícilmente corroídos
magnésio	bronze
zinco	cromo-ferro
alumínio	prata
ferro ou aço	grafite
ferro fundido	ouro
chumbo	platina
lata	
latão	
cobre	

¹¹ GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR/GTEC. *Op. cit.*

Localização e orientação dos coletores solares

O que se discutiu até este ponto foi a radiação sobre a superfície horizontal da Terra. No hemisfério sul, o coletor deve ser virado para o norte para aproveitar-se ao máximo o deslocamento leste-oeste do sol. Além disto, é mais vantajoso inclinar-se o painel de tal forma a apanhar-se perpendicularmente a radiação. A energia máxima seria obtida se a posição perpendicular do coletor acompanhasse o sol nas suas variações diárias e sazonais de inclinação, o que não parece ser muito prático. Veja-se que a inclinação do sol varia de abril a setembro de 5° a 23° graus em latitude, acima e abaixo da linha perpendicular igual à latitude do local (figura 3). Como a necessidade de aquecimento é maior no inverno, pode-se tomar um valor médio de 15° em relação à latitude. Em casos industriais e outros, onde se deseje o máximo aquecimento tanto no inverno como no verão, é melhor tomar-se a inclinação do coletor diretamente como sendo o ângulo da latitude do local.

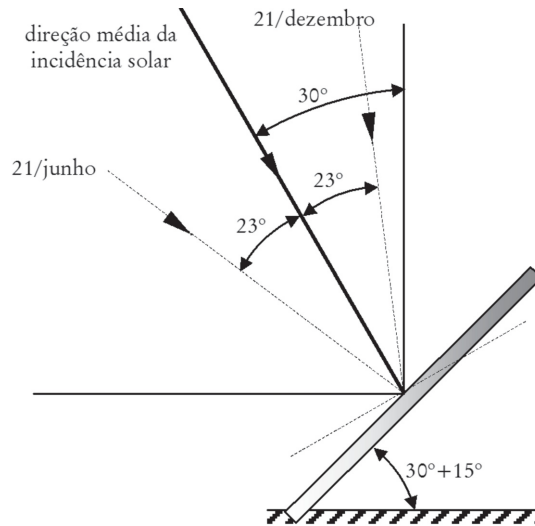


Figura 3: Inclinação do coletor solar para a latitude de 30° da região central do Rio Grande do Sul.

Um método simples de determinar a melhor inclinação para uma dada localização é o uso do diagrama das sombras da ponta de uma haste colocada perfeitamente na vertical (usar o prumo de pedreiro) sobre o solo. Marcam-se as posições da sombra da ponta da haste no chão para cada hora, digamos, das 10 às 15 horas. Traça-se, então, uma linha unindo estas pontas. A perpendicular a esta linha apontará para a direção norte-sul. Note-se que haverá um pequeno desvio de direção em relação ao norte magnético.

Os dados usados para sistemas de aquecimento e resfriamento podem ser dimensionados utilizando-se a radiação média mensal sobre a superfície horizontal. Estes valores podem ser obtidos para diversos pontos do território brasileiro através da internet no site da NASA ou nas cartas de radiação levantadas pelo LabSolar das Universidade Federal de Santa Catarina ou ainda com as medidas de um radiômetro.

Para evitar a circulação inversa de água fria para o tanque de água quente quando não houver energia solar, o fundo do tanque deve ser colocado acima do topo do coletor. Se este estiver sobre o forro da casa, o tanque pode também estar no forro ou no espaço ático abaixo do forro inclinado.

Em localidades muito frias, o aquecedor de água do tipo sifão pode ser protegido do congelamento drenando-se o coletor. Para evitar a drenagem também do tanque de armazenamento, deve-se fechar as válvulas ativadas por termostatos nas linhas entre o coletor e o tanque de armazenamento. Quando houver ameaça de congelamento, a válvula de dreno do coletor deve ser aberta e a válvula de respiro do coletor deve também abrir. O coletor então drena e o ar entrará nos tubos. A água no tanque de armazenamento, tanto quando estiver em espaço aquecido como quando for suficientemente bem isolada para evitar o congelamento, não entra no coletor durante o período em que houver ameaça de temperatura de congelamento. Para reiniciar a operação, deve-se fechar o dreno e o respiro e abrir as válvulas da linha de circulação. A possibilidade de falha ou má operação torna desinteressante este sistema para climas mais frios e deve-se pensar então em sistemas com bombas de circulação (sugeridas pela linha tracejada da figura 4) que estão além do escopo deste artigo.

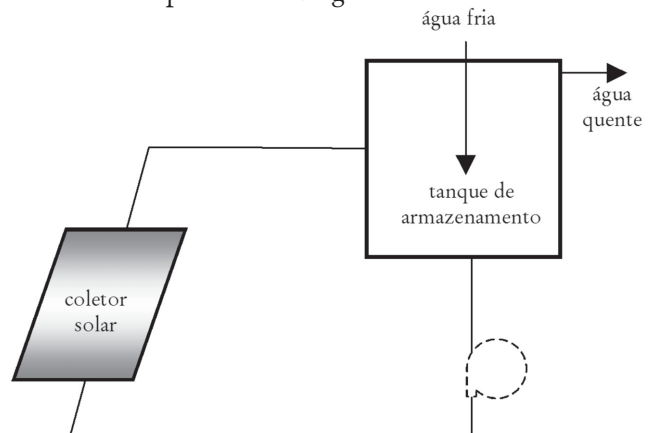


Figura 4: Aquecimento solar direto de água quente pelo sistema termosifão.

Resfriamento de espaços

A retirada de calor através do ar em ambientes fechados, que resulta em temperaturas mais amenas em relação às redondezas, é conhecida como refrigeração ou resfriamento de espaço. Existem três categorias de métodos de resfriamento de espaço para edificações residenciais que são: refrigeração, resfriamento evaporativo e resfriamento radiante. A energia solar é diretamente útil apenas nos métodos de refrigeração. Os resfriamentos evaporativo e radiante são indiretamente relacionados à energia solar pelo fato de que eles dependem de fatores climáticos, estes sim, estabelecidos pelo sol.

Os sistemas de refrigeração removem o calor do ar à medida que este entra em contato com a superfície refrigerada. Os sistemas convencionais de vapor-compressão usando motores elétricos são potencialmente conversíveis em sistemas com motores acionados por calor solar, enquanto os sistemas de refrigeração usando gás combustível são potencialmente conversíveis em sistemas usando calor solar. Entre todos estes, apenas os sistemas de absorção parecem ter tido boa aceitação até agora. Dos vários tipos, só aquele usando uma unidade de lítio-bromato-água, permanece.¹²

Painéis fotovoltaicos (PV)

Os painéis fotovoltaicos são placas semicondutoras, em geral de silício, que servem para converter a energia solar em energia elétrica.¹³ Para seu uso, é bom que se diga antes de mais nada, que a energia elétrica é uma energia nobre que deve ser usada para fins mais nobres. Usar painéis fotovoltaicos para gerar calor definitivamente é uma má idéia, pois, trata-se de uma energia cara, de baixo rendimento e que nunca deverá substituir a conversão direta do sol em calor sem passar pelo estágio intermediário de gerar primeiro energia elétrica e, então, calor. Aliás, é bom estender-se estes comentários aos monstruosos chuveiros elétricos que estariam usando uma energia nobre para obter os mesmos resultados que poderiam ser obtidos diretamente com o sol ou o biogás.¹⁴ Além de tudo, o chuveiro é eletricamente perigoso, além de representar cerca de 70% do pico de demanda de uma residência em relação a uma carga usual de apenas 30%.

O único conforto ambiental que poderia ser proporcionado pelos painéis fotovoltaicos seria, talvez, se não houver outras opções, o acionamento de um ventilador de mesa ou a iluminação em pequena escala de um dado setor.

¹² MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA/ ANEEL/ANP. *Op. cit.* ADVISORY COMMITTEE *Op. cit.*

BECKMAN, W. A., KLEIN, S. A. & DUFIE, J. A. *Op. cit.*

¹³ FARRET, F. A. *Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica*. Santa Maria: Editora UFSM, 1999, p. 245.

LAMBERTS, R., DUTRA, L. & PEREIRA, O. R. F. *Eficiência Energética na Arquitetura*. São Paulo: PW Editores, 1997, p. 188.

¹⁴ ACIOLI, J. L. *Fontes de Energia*. Brasília: Editora UnB, 1993, p. 138.

GELLER, H. *O Uso Eficiente da Eletricidade*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE)/PROCEL, 1991, p. 226. (com suplementos de TOMALSQUIM, M. T. & SCHAEFFER, R.)

GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR/ GTEC. *Op. cit.*

A iluminação pública usando-se painéis solares também parece ser uma aberração, salvo em locais onde não passe a rede elétrica nas proximidades. Quando estas forem disponíveis, é muito mais econômico usar-se lâmpadas de alto rendimento alimentadas por baterias recarregadas diariamente. Os argumentos em favor desta opção são o custo menor e o fato de que as pesadas baterias podem ser localizadas no sub-solo, no pé de cada poste, ao invés dos caros e ostensivos painéis solares que, para poder apanhar a energia luminosa do sol, devem permanecer expostos às intempéries e ao vandalismo, além de proporcionarem um visual desagradável.

Volts tecnológicas

Depois de tantas voltas tecnológicas, do condicionador de ar ruidoso ao silencioso, do aquecedor de filamento ao de quartzo, do ventilador de mesa ao anatômico de parede e aos motores circulantes de ar, parece mesmo que as formas naturais, seguindo os ditames da natureza, estão voltando a dominar os ambientes. É muito mais reconfortante observar a sombra de uma árvore, ou a brisa do jardim do que os sons abafados dos equipamentos de condicionamento e climatização do ar. É muito mais reconfortante olhar o quadro natural da janela do que a “telinha” do televisor. É ainda muito mais interessante ouvir os pássaros do que a estridência do CD-ROM. É mais tépido sentir a sombra do sol vinda da árvore do que a frieza do bulbo fluorescente.

Andamos, andamos, mas é ainda a natureza de onde viemos que mais nos atrai e é para ela que estamos gostando de ir, é para ela que é melhor irmos, é menos onerosa, menos exigente e quer estar sempre presente. É a radiância do sol que nos anima nas temporadas de qualquer coisa. É a ele que devemos tributos por manifestar-se de tantas formas em todos os ambientes, públicos ou privados. É dele que sentimos falta, é contra ele que a natureza artificial tem que estar sempre sendo feita e refeita, em novas formas, novos modelos e novos custos. A natureza está sempre ali, vinda do sol, gratuita, saudável e para todos, se bem preservada. Por que não desfrutá-la?

Felix Alberto Farret é engenheiro eletricitista, doutor em Engenharia Elétrica e professor do Departamento de Eletrônica e Computação da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Artigo revisado por Adriano Saciloto, especialista em climatização do meio ambiente.

ffarret@ct.ufsm.br