

## Desenvolvimento em Ensino de Física

# Observando o céu, quantificando as nuvens e praticando modelagem: um exercício de apoio ao aprendizado das ciências atmosféricas (*Observation, measurement and modeling of clouds as a way to facilitate the atmospheric sciences teaching*)

Arcilan Trevenzoli Assireu<sup>1</sup>, Michelle Simões Reboita e Marcelo de Paula Corrêa

*Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil*

Recebido em 14/10/2010; Aceito em 9/11/2010; Publicado em 2/3/2011

As concepções pedagógicas modernas concordam com o fato de que atividades que levem o aluno a experimentar processos são fundamentais para uma perfeita e integral compreensão destes processos. Assim, neste artigo apresentamos uma atividade didática que envolveu o uso conjunto da observação seguida pela formalização e modelagem do processo. O elevado empenho e motivação demonstrados pelos alunos, somado à facilidade de reprodução desta prática deixam a certeza da efetividade destes procedimentos para o ensino de ciências, particularmente, das ciências atmosféricas.

**Palavras-chave:** ensino de ciências, observação de processos, recursos didáticos.

Modern pedagogical concepts agree with the fact that activities that allow students to experience processes are fundamental for the perfect and complete understanding of these processes. Thus, this paper presents a didactic activity which involved the combined use of observation and modeling of the process. The goal of this paper is to encourage the teachers and educators to the importance of relatively simple experiments in bring out facilitations to physics teaching.

**Keywords:** physics teaching, observations of processes, didactic resources.

## 1. Introdução

As concepções pedagógicas modernas concordam com o fato de que atividades que levem o aluno a experimentar processos são fundamentais para a perfeita e integral compreensão destes processos. Como afirma o educador Gutierrez [1], “o mero fato de interpretar ou apropriar-se de um saber não é suficiente para que, com propriedade de termos, possamos falar de aprendizagem ‘autêntica’. Somente pode chamar-se autêntico o conhecimento que em si mesmo e por si mesmo seja produtivo e transformador, o que requer do preceptor que ele o transforme em conhecimento seu e reestruture à sua maneira a informação”. Em trabalho recente, Kiouranis e cols. [2] indicam a importância dos experimentos mentais na aprendizagem de fenômenos difíceis de serem observados em condições de laboratório. Estes autores também evidenciaram o fato de que todo experimento é um experimento mental, pela simples razão de que o cientista precisa fazer todo o desenho experimental, que envolve a metodologia, instrumentações necessárias, suporte teórico e interpretação dos resultados.

Neste trabalho será apresentada uma discussão em

<sup>1</sup>E-mail: arcilan@unifei.edu.br.

torno de um experimento realizado com os alunos do recém criado Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Itajubá (Unifei). O experimento consistiu de observações, ao longo do dia, da cobertura de nuvens. Assim, durante os dias letivos entre 14 de abril e 11 junho, os alunos, organizados em grupos de cinco, contabilizaram a fração de cobertura de nuvens em vários horários e geraram, para cada dia, valores médios diários. Estes valores foram cotejados com valores estimados por um modelo de cobertura de nuvens a fim de validá-lo e calibrá-lo.

A dinâmica da cobertura de nuvens é algo que faz parte do cotidiano das pessoas. Além disso, as nuvens têm uma forte influência para o balanço de energia da Terra e para o clima, e, portanto, desempenham função reguladora da temperatura média do planeta. Algumas nuvens contribuem para o resfriamento ao refletirem parte da energia solar – as chamadas radiações de onda curta – de volta para o espaço. Outras nuvens contribuem para o aquecimento ao aprisionarem, na baixa atmosfera, parte da energia emitida pela superfície – as chamadas radiações de onda longa [3]. Pequenas mudanças na quantidade ou distribuição das nuvens possuem maior potencial para mudar o clima do que

as mudanças associadas aos gases de efeito estufa, aos aerossóis produzidos pelo homem, ou ainda, a outros fatores associados com mudanças globais [4]. Dependendo de suas características e altura na atmosfera, as nuvens podem influenciar o balanço de energia em diferentes formas, ao bloquear uma porção significativa da radiação solar que atingiria a superfície da Terra. Devido a este efeito de sombra, a superfície da Terra tende a ser mais fria do que seria na ausência de nuvens. Outro efeito não tão óbvio, é que as nuvens funcionam como uma espécie de “cobertor radiativo” ao absorver a radiação na faixa do infravermelho termal (calor) que a superfície da Terra emite para o espaço. Como resultado, a superfície sob as nuvens não se resfria tão rapidamente como ocorreria na ausência de nuvens. A altura das nuvens na atmosfera influencia a efetividade com que a energia será “aprisionada”. Uma nuvem na alta atmosfera emitirá menos calor para o espaço do que uma nuvem na baixa altitude.

Para que os cientistas consigam criar simulações computacionais mais realistas do clima presente e futuro da Terra, eles precisam incluir representações mais acuradas do comportamento das nuvens. Todas estas razões fazem com que o tema Nuvens desperte, naturalmente, interesse e entusiasmo por parte dos alunos.

## 2. Descrição das atividades

### 2.1. Observações das nuvens

A observação visual da cobertura de nuvens é tradicionalmente realizada através da inspeção do céu por técnicos treinados que trabalham em estações meteorológicas, seguindo padrões definidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Durante a observação, o observador deve escolher um ponto que ofereça uma visada a mais desobstruída possível e dividir a abóbada celeste em oito quadrantes. A quantidade total de nuvens, ou a cobertura total de nuvens, é a fração da abóbada celeste coberta por nebulosidade. Portanto, a quantidade total de nuvens consiste em estimar quanto da área aparente do céu está coberta. Por exemplo, 8/8 corresponde a uma situação de céu totalmente nublado [5, 6].

Para a etapa de levantamento observacional da cobertura de nuvens, os alunos, organizados em grupos de cinco, receberam treinamento teórico e prático sobre como fazer estas estimativas visuais. Cada uma das equipes ficou encarregada de observar o céu em seis horários ao longo do dia: 10:00 h, 12:00 h, 13:00 h, 15:20 h, 16:30 h e 17:30 h. Os horários coincidem com períodos de intervalo entre aulas, almoço, enfim, horários em que os alunos não tinham aulas. Nestes mesmos horários, o técnico em meteorologia da Unifei, que tem longa experiência neste tipo de observação, realizou observações independentes, as quais foram usadas ao final do experimento para comparações com as me-

das realizadas por cada grupo de alunos. A Fig. 1 resume os resultados destas observações. Os valores obtidos ao longo de cada dia pelos diferentes grupos de alunos foram cotejados com os valores observados pelo técnico, que atuou como o monitor das atividades de observação. Embora o monitor estivesse sempre à disposição para tirar dúvidas em relação à observação, os valores gerados por cada grupo são independentes e as diferenças refletem a subjetividade natural associada a este tipo de observação. O fator de correlação igual a 0,79 (Fig. 1a) indica que houve uma grande concordância entre a observação dos alunos e a do monitor. Isto também pode ser constatado a partir da comparação entre os valores observados pelos diferentes grupos (G1, G2, G3, G4 e G5) e o monitor, cujos valores co-oscilam de forma bastante clara (Fig. 1b). No entanto, é possível observar pelo menos dois pontos mais isolados dos demais (Fig. 1a - delimitados por círculos), onde os alunos descreveram um céu com 50% e 10% de cobertura de nuvens enquanto o monitor encontrou, respectivamente, valores iguais a 15% e 65%. Isto demonstra como fatores subjetivos podem comprometer a precisão das medidas de superfície realizadas por inspeção visual. Este resultado foi trabalhado com os alunos de forma a explorar a interpretação gráfica dos resultados e a subjetividade envolvida nas observações. Estas discrepâncias confirmam que a descrição visual da cobertura de nuvens, embora amplamente aceita, é um método bastante subjetivo [6].

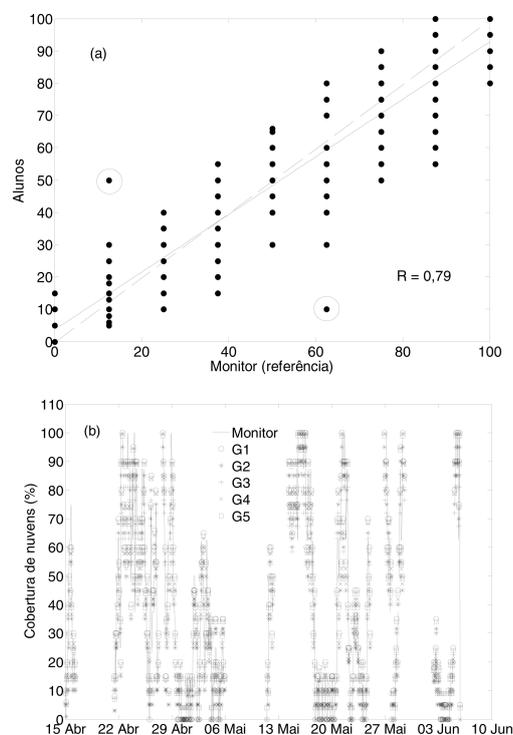


Figura 1 - Comparação das medidas de cobertura realizadas pelo técnico em meteorologia (monitor) e pelos alunos (a) e a comparação para os valores para cada grupo de alunos (b).

## 2.2. Modelo de cobertura de nuvens

Conforme discutido anteriormente, embora a descrição visual da cobertura de nuvens seja amplamente aceita, é um método bastante subjetivo e inviável para finalidades de monitoramento contínuo. Por outro lado, câmeras automáticas de registro de imagem da cobertura de nuvens são muito caras e de difícil manutenção. Isto motiva a busca de modelos que, a partir de medidas contínuas de radiação de onda curta, regularmente realizadas por estações meteorológicas automáticas, permita estimativas quanto à cobertura de nuvens. Esta foi a oportunidade para trabalhar, com os alunos, os conceitos básicos envolvidos com a modelagem de processos. A seguir será apresentada uma descrição detalhada desse modelo, em que termos específicos e comumente utilizados em modelagem serão exemplificados a partir das próprias formulações e considerações presentes no modelo. No decorrer da descrição serão invocadas posturas críticas diante de proposições e simplificações inerentes à modelagem e será investigada, sempre que possível, qual a contribuição relativa que as considerações assumidas no modelo têm para o resultado final.

A importância de estimativas do balanço de calor para o entendimento do clima no planeta incentivou oceanógrafos e meteorologistas a buscarem um formalismo baseado na altura solar e na cobertura de nuvens, para estimativas da insolação incidente na superfície do mar. Reed (1977)[7] examinou 40 meses de dados e propôs a seguinte fórmula empírica

$$Q = Q_o(1 - 0,62C + 0,0019\alpha), \quad (1)$$

onde  $Q$  é a insolação sob condições de nuvens ( $\text{Wm}^{-2}$ ),  $C$  é a cobertura total de nuvens (em décimos),  $\alpha$  é o ângulo solar ao meio-dia, definido como o ângulo formado entre a vertical local de um observador e o sol quando este astro culmina em relação ao observador [8], e  $Q_o$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) é a insolação em condições de céu sem nebulosidade que é obtida pela fórmula de Smithsonian [7]

$$Q_o = A_0 + A_1 \cos \theta + B_1 \text{sen} \theta + A_2 \cos 2\theta + B_2 \text{sen} 2\theta \quad (2)$$

Região 1: para latitudes entre  $20^\circ$  S e  $40^\circ$  N os coeficientes são

$$\begin{aligned} A_0 &= -15,82 + 326,87 \cos L; \\ A_1 &= 9,63 + 192,44 \cos(L + 90); \\ B_1 &= -3,27 + 108,70 \text{sen} L \\ A_2 &= -0,64 + 7,80 \text{sen} 2(L - 45) \\ B_2 &= -0,50 + 14,42 \cos 2(L - 5) \end{aligned}$$

Regiões 2: para latitudes entre  $40^\circ$  N e  $60^\circ$  N os coeficientes são

$$\begin{aligned} A_0 &= 342,61 - 1,97L - 0,018L^2; \\ A_1 &= 52,08 - 5,86L + 0,043L^2; \\ B_1 &= -4,80 + 2,46L - 0,017L^2; \\ A_2 &= 1,08 - 0,47L + 0,011L^2; \\ B_2 &= -38,79 + 2,43L - 0,034L^2, \end{aligned}$$

onde  $\theta = (t - 21)(360/365)$ , onde  $t$  é o dia Juliano e  $L$  a latitude.

Como a medida de  $Q$  pode ser obtida a partir de estações meteorológicas, já que representa o valor de radiação de onda curta incidente, a Eq. (1) foi rearranjada de forma a permitir estimativas da cobertura de nuvens no céu

$$C = 1,613[1 - (Q/Q_o) + 0,0019\alpha] \quad (3)$$

Os valores de radiação incidente de onda curta ( $Q$ ) na Eq. (3) foram obtidos a partir da estação meteorológica da Unifei ( $22^\circ 24' 46''$  S,  $45^\circ 27' 06''$  W e 850 m acima do nível do mar). As médias diárias para cada um dos parâmetros da Eq. (3) permitiu as estimativas diárias de cobertura de nuvens ao mesmo tempo em que eram feitas as estimativas visuais. Neste ponto cabe chamar a atenção para o fato de que o modelo representado pela Eq. (3) é determinístico, ou seja, conhecido o valor de  $Q$ ,  $Q_o$  e  $\alpha$ , tem-se o respectivo valor de  $C$ . Um exemplo de modelo não determinístico (estocástico) são, por exemplo, os modelos de previsão do tempo e do clima. A informação advinda de modelos estocásticos é do tipo: “existe 40% de chance de chover amanhã à tarde em Itajubá”. Se os modelos de clima fossem determinísticos a informação seria, por exemplo, do tipo: “amanhã choverá em Itajubá às 15 horas”. Além de determinístico, o modelo proposto na Eq. (3) é diagnóstico. Os modelos diagnósticos são modelos em que o tempo não aparece explicitamente na formulação, não sendo, portanto, aplicável em tentativas de previsão do cenário em tempos futuros [9]. Portanto, os modelos de previsão do tempo e clima são prognósticos.

Os coeficientes da Eq. (2) foram, originalmente, ajustados para duas regiões do globo (latitudes entre  $20^\circ$  S e  $40^\circ$  N e latitudes entre  $40^\circ$  N e  $60^\circ$  N), conforme apresentado acima. A fim de verificar qual o comprometimento da utilização da Eq. (2) para a latitude de Itajubá ( $22^\circ 24' 46''$  S), os valores de insolação para céu aberto estimados para Itajubá foram comparados com valores estimados para a latitude de  $18^\circ$  S (valor dentro do limite previsto para a utilização da Eq. (2)). Resultados baseados no erro relativo percentual (Fig. 2), indicam que a diferença máxima, inferior a 6%, ocorre no mês de julho. O erro médio foi 2%, o que indica que as estimativas de insolação para céu claro, obtidas a partir da Eq. (2), são válidas para Itajubá. A abrangência teórica de aplicação para a Eq. (2) é até

20° S. Assim, se a comparação apresentada na Fig. 2 tivesse sido realizada para esta latitude os erros seriam ainda menores.

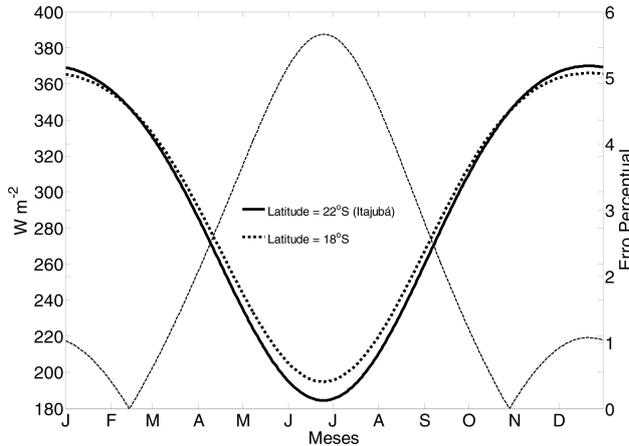


Figura 2 - Comparação da insolação durante céu claro (ausência de nuvens) prevista pela Eq. (2) para a latitude de 18° S (dentro do limite de aplicação do modelo) e para a latitude correspondente a Itajubá (fora do limite teórico de aplicação do modelo). A linha tracejada indica o erro percentual calculado a partir da Eq. (6).

### 2.3. Calibração e análise de confiabilidade do modelo

A história da ciência é marcada por considerações, hipóteses e correlações que, de antemão, acreditava-se não serem aceitáveis e que posteriormente foram demonstradas. Esta mesma história também é marcada por exemplos de correlações, hipóteses e considerações que mais tarde foram rejeitadas. Neste ponto, foi lembrado aos alunos que todo modelo precisa passar por etapas de validação e calibração que vão indicar a capacidade do modelo de reproduzir, dentro das limitações, a realidade.

A eficiência do modelo foi avaliada a partir do erro quadrático médio (EQM), baseado na soma da raiz do erro quadrático entre os valores de cobertura de nuvens observados ( $C_o$ ) e os valores estimados pelo modelo ( $C_m$ ), tendo-se utilizado a implementação destas fórmulas como motivadoras para a inicialização dos alunos na linguagem científica Matlab ([www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)). Porém, estes cálculos podem ser realizados também no Microsoft Excel

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_o - C_m}{C_o} \right)^2} * 100\%. \quad (4)$$

A eficiência da calibração foi também quantificada utilizando a formulação proposta por Nash e Sutcliffe [10]

$$E = 1 - \frac{\sum (C_m - C_o)^2}{\sum (C_m - \overline{C_o})^2} \quad (5)$$

onde  $\overline{C_o}$  é a cobertura de nuvens média dos valores medidos (observados).

O erro médio percentual foi estimado a partir de

$$EP = (|C_o - C_m|/C_o) * 100\% \quad (6)$$

Como o modelo de estimativas de nuvens (Eq. (3)) reproduz valores médios diários, os alunos converteram as medidas de cobertura de nuvens realizadas em vários horários do dia para médias diárias. Estes valores foram cotejados com os valores do modelo, tendo em vista investigar a eficiência deste (Fig. 3). Para avaliar quantitativamente a convergência entre modelo e observação foi usado o parâmetro de Nash, chamado aqui de fator de ajuste - FA (Eq. (5)). O fator de ganho do modelo (primeiro termo do lado direito da Eq. (3)) foi variado de forma a obter o melhor ajuste (maiores valores de FA).

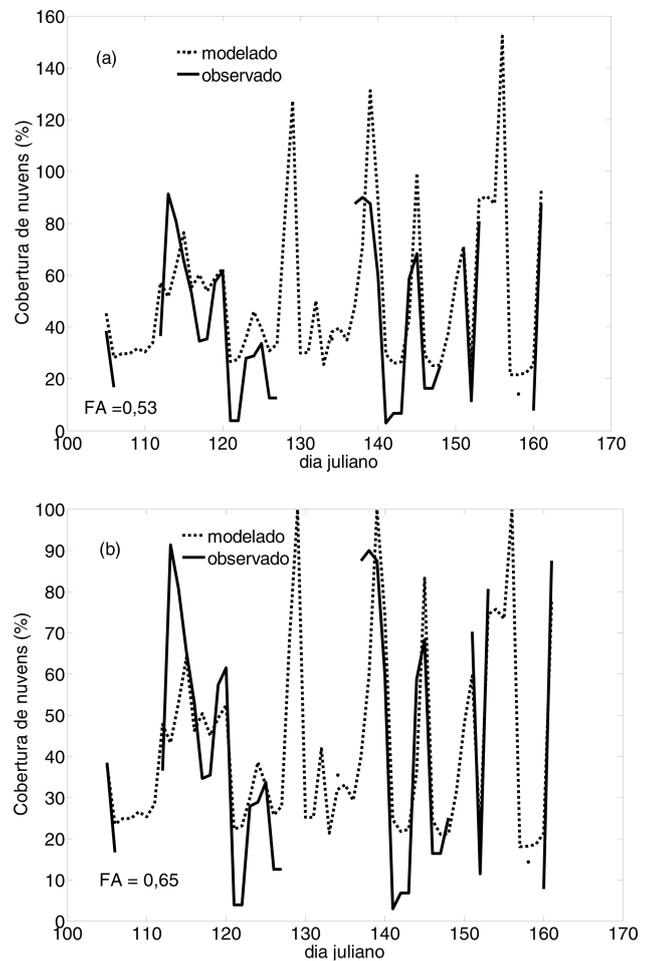


Figura 3 - Média diária dos valores de cobertura de nuvens observados (linha contínua) e estimados pelo modelo (linha tracejada). Resultados para o fator de ajuste (FA) iguais a 0,53 (a) e 0,65 (b).

O melhor ajuste, 0,65 (Fig. 3b), foi obtido para um parâmetro de ganho igual a 1,350. Quando se aplica o modelo em sua versão original (fator de ganho igual a 1,613) (Fig. 3a) percebe-se que o fator de ajuste (FA = 0,53) reflete um ajuste pior entre mo-

delo e observação. Percebe-se também que os valores de cobertura do modelo ultrapassam 100%. Uma inspeção visual mostra que valores observados e modelados, em geral, mostraram variabilidades fidedignas e que, à exceção das leituras realizadas no tempo centrado em 115, o modelo mostrou boa acurácia. A descontinuidade na série de dados observados coincide com feriados e finais de semana em que as observações não foram realizadas. O fato do modelo não ter apresentado boa eficiência com o fator de ganho original, foi providencial para que pudesse ser trabalhado com os alunos temas como regionalização e calibração do modelo. Os alunos puderam perceber, na prática, estes procedimentos. Os valores do fator de ganho foram variados e mapeados através do fator de ajuste (Fig. 4). Note que, a princípio, à medida que o fator de ganho diminui há uma tendência de melhora do ajuste entre modelo e observação (FA aumenta). Esta tendência inverte a partir do fator de ganho 1,35 e o ajuste passa a ficar cada vez pior até o valor limite do fator de ganho, igual a 1. Assim, para latitudes próximas a de Itajubá recomenda-se a utilização do fator de ganho igual a 1,350 ao invés de 1,631 na Eq. (3).

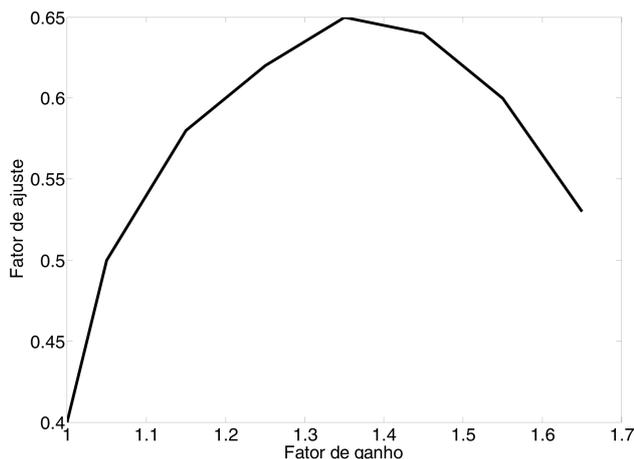


Figura 4 - Evolução do ajuste do modelo (fator de ajuste - Eq. (5)) como função do fator de ganho (primeiro termo do lado direito da Eq. (3)).

### 3. Considerações finais

O nível de disposição dos alunos, verificado durante experimentos realizados durante as aulas, bem como o interesse demonstrado diante dos fatos concretamente expostos e discutidos, deixam a certeza da importância destes procedimentos para os processos cognitivos. Os comentários que os alunos apresentaram acerca desta prática em seus relatórios deixam a certeza que procedimentos deste tipo despertam o interesse. O parágrafo a seguir foi retirado na íntegra de um dos relatórios apresentados pelos alunos e demonstra a efetividade do procedimento metodológico apresentado aqui para o aprendizado dos alunos: “O efeito mais positivo do

trabalho, embora possa parecer lúdico e romântico, foi o de incutir em cada membro de nossa equipe o costume de observar o céu diariamente em vários períodos do dia. Além de nos fazer enxergar um espetáculo visual diferente a cada dia, a observação sistemática das condições do céu nos tornou mais próximos da análise das condições meteorológicas, mesmo que essa análise tenha sido feita de modo primitivo, pessoal e leigo. Prestar atenção às diferenças de cobertura de nuvens durante o dia, assim como aos distintos tipos de nuvens ocorrentes, fez com que nós passássemos a associar mais as várias constantes meteorológicas. Verificar o estado de cobertura de nuvens de um determinado período do dia estava atrelado a também tentar verificar as outras condições do tempo, como a umidade do ar, a temperatura, a possibilidade de precipitação e a radiação solar incidente sobre a superfície terrestre”. Outro relato retirado na íntegra: “O mais importante de tudo é concluirmos que este trabalho nos tornou muito mais vizinhos da observação visual do céu, do estabelecimento de relação entre os vários componente atmosféricos, da necessidade de se conhecer as nuvens e suas peculiaridades e de uma análise mais prática do tempo de uma região e suas características. Assim, inferimos que este trabalho foi de imenso prazer por ter sido prático, simples e por nos ter aproximado mais da observação visual do céu, da análise do caráter mutável do céu, e das formas quantitativas que o cientista desenvolveu para tentar quantificar estes processos”.

Vale ressaltar que o presente estudo não se ateve somente ao binômio ensino-pesquisa, mas atingiu também o terceiro pilar básico das atividades de uma Universidade, a extensão. Os resultados obtidos pelos alunos são atualmente usados nos boletins meteorológicos mensais de divulgação das condições sinóticas locais à comunidade, perfazendo uma importante lacuna na prestação de serviços à sociedade.

### Agradecimentos

Os autores são gratos ao técnico em Meteorologia da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) Daniel Luiz Andrade Mortl (em memória), pela assistência nas etapas observacionais e aos alunos da primeira turma do curso de Ciências Atmosféricas da UNIFEI.

### Referências

- [1] F. Gutierrez, *Linguagem Total: Uma Pedagogia dos Meios de Comunicação* (Summus, São Paulo, 1979).
- [2] N.M.M. Kiouranis, A.R. de Souza e O.S. Santin Filho, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **32**, 1 (2010).
- [3] M. Rieland and R. Stuhlmann, *J. Appl. Meteorol.* **32**, 825 (1993).
- [4] D.L. Hartman, *Global Physical Climatology. International Geophysics Series*, v. 56 (Academic Press, New York, 1994).

- [5] T.A. Blair, *Meteorologia* (Centro de Publicações Técnico de Aliança, Rio de Janeiro, 1964).
- [6] M.P. Souza Echer, F.R. Martins e E.B. Pereira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **28**, 3 (2006).
- [7] R.K. Reed, *J. Phys. Oceanog.* **7**, 482 (1977).
- [8] M.A. Varejão-Silva, *Meteorologia e Climatologia* (INMET, Brasília, 2006).
- [9] Z. Kowalik and T.S. Murty, *Numerical Modeling of Ocean Dynamics* (World Scientific, London, 1993).
- [10] J.E. Nash and J. Suctcliffe, *J. Hydrology*, **10**, 282 (1970).