

Uso do Aplicativo **AgaisPsicro**

Por: Luís César da Silva

1. Introdução

AgaisPsicro, Figura 01, é um aplicativo computacional desenvolvido no ambiente do programa Microsoft Excel[®], empregando a linguagem de programação *Visual Basic for Application*[®] – VBA. Esse aplicativo destina-se ao cálculo das propriedades psicrométricas do ar mediante aos processos de aquecimento, resfriamento, umidificação e desumidificação adiabática. Para proceder ao *download* acesse o sítio [agais.com](http://www.agais.com).

Psicrometria é a área de conhecimento que estuda as propriedades termodinâmicas do ar com o objetivo de analisar processos relativos ao emprego do ar para o transporte e, ou troca de calor e massa, como, ocorre, por exemplo, nas operações do pré-processamento de grãos: aeração em silo pulmão, secagem, seca-aeração, e aeração ou refrigeração de produtos armazenados.

Didaticamente, em psicrometria, o ar é dividido em duas frações: ar seco e vapor de água. O ar seco é composto pela mistura de gases, como: nitrogênio (78,80%), oxigênio (21,00%), argônio (0,90%), gás carbônico (0,031%) e outros gases. Normalmente, nos estudos de processos é convencionalizado que fração ar seco tenha composição inalterada, enquanto a fração vapor de água pode aumentar ou diminuir.

2. Propriedades do ar

As propriedades psicrométricas, frequentemente, utilizadas são: (a) temperatura de bulbo seco; (b) temperatura de bulbo úmido; (c) volume específico; (d) razão de mistura; (e) pressão de vapor; (f) umidade relativa; e (g) entalpia.

Para descrição das propriedades psicrométricas foi estabelecido um modelo conceitual que se trata de um volume de controle no qual estão contidos 1,0 kg de ar seco e uma quantidade variável de água.

Abstract

Use of *AgaisPsicro*

(Federal University of Espírito Santo - Food Engineering Department - Technical Bulletin: AG: 01/17 - 01/05/2017)

*This extension bulletin describes the **AgaisPsicro**, a computer application developed using Microsoft Excel[®]. **AgaisPsicro** makes easy the use of psychrometry by grain processing professionals in taking decisions related the operations such as: wet bin aeration, drying, dryeration, and aeration or refrigeration of storage grain. A free download can be done in www.agais.com.*

Dr. Luís César Silva – website: www.agais.com

AgaisPsicro

Créditos Aiuda Fechar

Ponto de Estado 1

Altitude local (m):

Temperatura de bulbo seco (°C):

Temperatura de bulbo úmido (°C):

Ponto de Estado 2 (Aquecimento / Resfriamento)

Temperatura (°C)

Ponto de Estado 3 (Desumidificação, Umidificação)

Temperatura (°C)

 PE2

Propriedades Ponto de Estado 1

Temperatura de bulbo seco (°C):

Temperatura de bulbo úmido (°C):

Temperatura de ponto de orvalho (°C):

Umidade relativa (%):

Pressão de vapor (Pa):

Pressão de vapor de saturação (Pa):

Pressão de atmosférica (Pa):

Razão de mistura (kg de vapor/kg ar seco):

Volume específico (m³ de ar/kg ar seco):

Entalpia (kJoule/kg ar seco):

Entalpia (kJ Cal/kg ar seco)

Ponto Estado 2

Ponto Estado3

Nota: Aplicativo desenvolvido para finalidades acadêmicas.

Figura 01 – Janela de diálogo do aplicativo **AgaisPsicro**.

a) temperatura de bulbo seco

A temperatura de bulbo seco, ou simplesmente, temperatura do ar, está associada à energia cinética de translocação das moléculas dos gases e vapor de água, presentes no ar. Quanto maior o aporte de energia térmica do ar, maior será a energia cinética de translocação, consequentemente, maior será a temperatura do ar.

b) temperatura de bulbo úmido

Para determinação das propriedades psicrométricas pode ser utilizado um psicrômetro, que conta com dois termômetros – termômetro de bulbo seco e termômetro de bulbo úmido, que possui o bulbo envolto por um cadarço umedecido em água. Desse modo, obtém-se a temperatura de bulbo úmido psicrométrica. Quando da saturação do ar com vapor de água, as temperaturas de bulbo seco e úmido são iguais, nesta condição a umidade relativa será 100%. E quanto maior a diferença entre as mesmas menor é o valor da umidade relativa, ou seja, o ar estará mais seco.

c) volume específico

Considerando o modelo conceitual descrito acima, a propriedade volume específico corresponde à relação entre volume do volume de controle e 1,0 kg de ar seco. Por exemplo, para o ar com temperaturas de bulbo úmido e seco iguais a 15,0 e 20,0 °C, respectivamente, o volume específico será 0,842 m³ de ar/ kg de ar seco (Figura 01).

Uma das aplicabilidades do volume específico são os cálculos de vazão (m³ de ar/ min) e vazão mássica (kg de ar seco/min). Exemplo, a vazão de ar aplicada por um ventilador em um silo é de 300 m³ de ar /min, para calcular a vazão mássica basta dividir a vazão de ar pelo volume específico (= 300 m³ de ar /min ÷ 0,842 m³ de ar/ kg de ar seco = 356,29 kg de ar seco/min).

d) razão de mistura

A razão de mistura expressa a relação entre as quantidades de massas de vapor e de ar seco, contidas no volume de controle definido anteriormente. Assim, por exemplo, para o ar com temperaturas de bulbo úmido e seco iguais a 15,0 e 20,0 °C, respectivamente, a razão de mistura será 0,00863 kg de vapor/ kg de ar seco (8,63 g de vapor/ kg de ar seco) (Figura 01).

e) pressão de valor

Segundo Lei de Dalton a pressão total exercida por uma mistura de gases corresponde à soma das pressões parciais exercida por cada um dos componentes. Estendendo, a aplicação dessa lei, define-se que a pressão de vapor, corresponde à pressão parcial exercida pela quantidade de vapor água presente no ar. Assim, por exemplo, para pressão atmosférica ao nível do mar, que é aproximadamente 101.325,00 Pa e tomando as temperaturas de bulbo úmido e seco iguais a 15,0 e 20 °C, respectivamente, a pressão de vapor será 1.385,91 Pa (Figura 01).

f) umidade relativa

A umidade relativa descreve o quanto da capacidade do ar em reter vapor água está sendo utilizada. Desse modo, o valor pode variar de 0 a 100%. Zero corresponde ao ar totalmente seco, enquanto 100% ao estágio saturado.

Matematicamente, a umidade relativa corresponde à razão percentual entre a pressão de vapor atual e a pressão de vapor do ar saturado, ou então, a razão percentual entre a razão de mistura atual e a razão de mistura no estágio de saturação.

Para temperaturas de bulbo úmido e seco iguais a 15,0 e 20,0 °C, respectivamente, a umidade relativa será 59,28% (Figura 01), o que corresponde a razão percentual entre a pressão de vapor atual (1.385,91 Pa) e a pressão de vapor do ar saturado (2.337,75 Pa).

Desse modo, o valor da umidade relativa de 59,28%, corresponde afirmar que a capacidade do ar em reter vapor de água está comprometida em 59,28%.

g) entalpia

A entalpia da mistura ar seco e vapor de água corresponde ao aporte de energia térmica por unidade de massa de ar seco. Ao ser considerando as temperaturas de bulbo úmido e seco iguais a 15,0 e 20,0 °C, respectivamente, o valor da entalpia será 42,04 kJ/ kg de ar seco (= 10,01 kcal/ kg de ar seco).

3. Ponto de estado

Tomando duas propriedades, exemplo, as temperaturas de bulbo úmido e seco define-se um ponto de estado. E a partir do mesmo é possível determinar as demais propriedades empregando o gráfico psicrométrico, Figura 02, ou equações. Para o desenvolvimento do **AgaisPsicro** foram empregadas equações disponibilizadas pela ASAE - *American Society of Agricultural Engineers*.

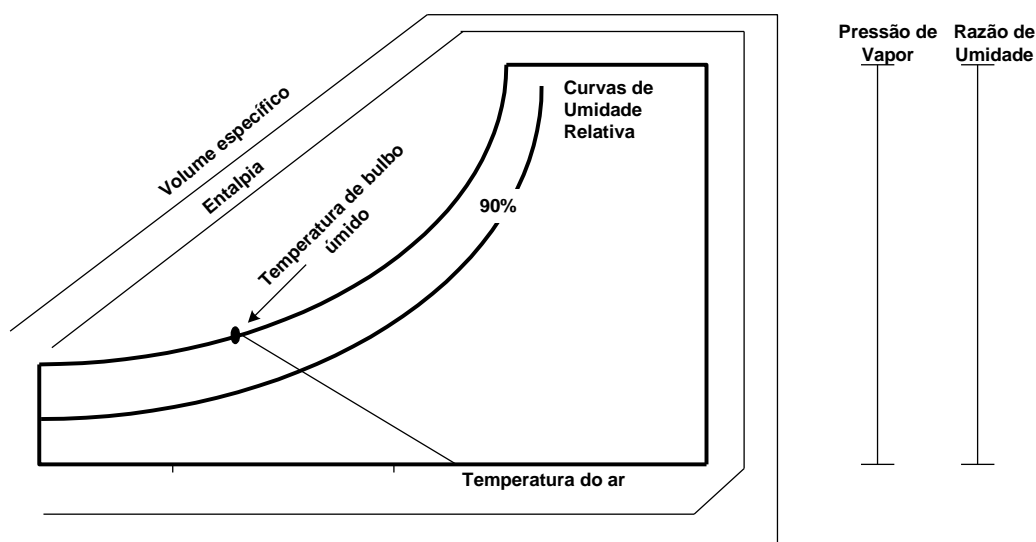


Figura 02 – Representação da localização das propriedades do ar no gráfico psicrométrico.

Ao empregar o **AgaisPsicro**, o usuário para definição do ponto de estado deve informar a altitude, a temperatura de bulbo seco (temperatura do ar) e definir o valor da segunda propriedade psicrométrica como destacado na Figura 03.

4. Emprego do Ar

Em unidades armazenadoras de grãos o ar é empregado em operações como: aeração em silo-pulmão, secagem, seca-aeração, aeração e, ou refrigeração do produto

armazenado. Na condução dessas operações podem envolver processos associados ao ar como: (a) aquecimento; (b) resfriamento; (c) umidificação adiabática; e (d) desumidificação adiabática.

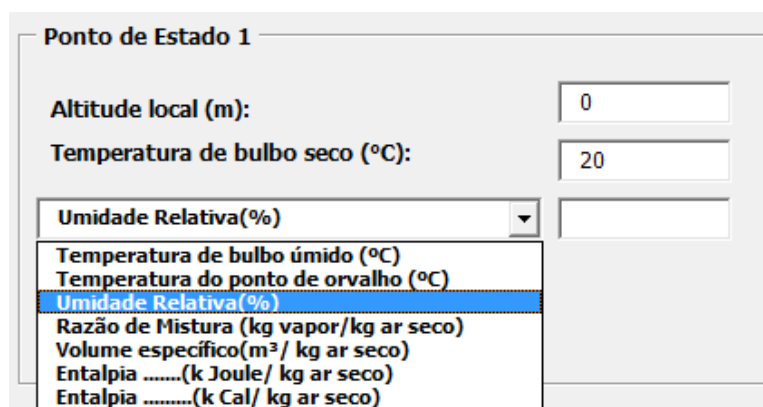


Figura 03 – Recorte da Janela de diálogo do aplicativo *AgaisPsicro* – definição de parâmetros para o estabelecimento do ponto de estado 1 – PE1.

a) Aquecimento do ar

O aquecimento do ar pode ser necessário para aumentar o potencial de secagem do ar, o que está associado aos aumentos da temperatura e entalpia e redução da umidade relativa. Assim, uma mesma quantidade de ar poderá: (1) transportar mais vapor de água no processo de secagem de grãos, reduzindo assim o tempo da operação; e (2) transportar mais calor a ser trocado com massa de grãos com o objetivo de acelerar a vaporização da massa de água contida nos grãos.

Considerando, por exemplo, o duto representado na Figura 04, em que, o fluxo de ar aplicado possui temperatura de 20 °C e umidade relativa de 60% (Ponto de Estado 1 - PE1) ao passar pelo aquecedor terá a temperatura aumentada para 70 °C (Ponto de Estado 2 PE2). Ao proceder as entradas desses dados no *AgaisPsicro*, como representado da Figura 05, serão calculadas as propriedades psicrométricas do ar, antes e após o aquecimento.

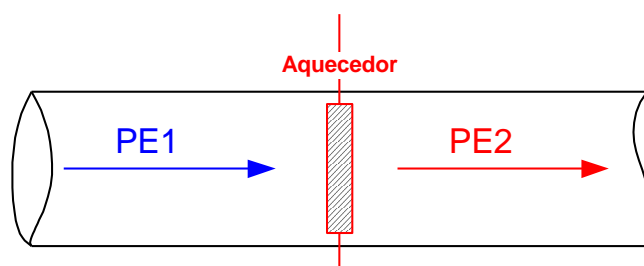


Figura 04 – Representação de um sistema de aquecimento do ar.

AgaisPsicro - Cálculos Psicrométricos

AgaisPsicro Créditos Aiuda Fechar

Ponto de Estado 1

Altitude local (m):

Temperatura de bulbo seco (°C):

Temperatura de bulbo úmido (°C):

Ponto de Estado 2 (Aquecimento / Resfriamento)

Temperatura (°C):

Ponto de Estado 3 (Desumidificação, Umidificação)

Temperatura (°C):

PE2:

Propriedades Ponto de Estado 1	PE2 = Aquecimento	Ponto Estado3
Temperatura de bulbo seco (°C):	70.00	
Temperatura de bulbo úmido (°C):	29.30	
Temperatura de ponto de orvalho (°C):	11.85	
Umidade relativa (%):	4.45	
Pressão de vapor (Pa):	1386.65	
Pressão de vapor de saturação (Pa):	31159.61	
Pressão de atmosférica (Pa):	101325.00	
Razão de mistura (kg de vapor/kg ar seco):	0.00863	
Volume específico (m ³ de ar/kg ar seco):	0.986	
Entalpia (k Joule/kg ar seco):	93.21	
Entalpia (k Cal/kg ar seco)	22.19	

Nota: Aplicativo desenvolvido para finalidades acadêmicas.

Figura 05 – Definição de pontos de estado no aquecimento do ar.

b) Resfriamento

O resfriamento do ar ocorre quando o ar cede energia térmica. Isso pode ocorrer, por exemplo, quando ar ambiente passa pelo evaporador de um sistema de geração de frio. Tomando, por exemplo, as condições do ar ambiente temperatura de 20 °C e umidade relativa de 60%, e após a passagem pelo evaporador à temperatura cai para 15 °C, ao utilizar **AgaisPsicro**, são calculadas as condições psicrométricas para os Pontos de Estado 1 e 2 (Figura 06).

c) Umidificação adiabática do ar

No processo de umidificação adiabática há aumento do aporte de vapor no ar, conseqüentemente, a temperatura do ar diminuirá. A umidificação adiabática do ar pode ocorrer, por exemplo, em sistema de acondicionamento do ar em granjas de aves, em que junto aos ventiladores são acoplados sistemas de vaporização de água. Outra ocorrência dá-se na secagem de produtos agrícolas mediante a troca de massa (vapor de água) entre o produto e o ar em movimento.

AgaisPsicro - Cálculos Psicrométricos

AgaisPsicro Créditos Aiuda Fechar

Ponto de Estado 1

Altitude local (m):

Temperatura de bulbo seco (°C):

Temperatura de bulbo úmido (°C):

Ponto de Estado 2 (Aquecimento / Resfriamento)

Temperatura (°C):

Ponto de Estado 3 (Desumidificação, Umidificação)

Temperatura (°C):

Propriedades Ponto de Estado 1	PE2 = Resfriamento	Ponto Estado3
Temperatura de bulbo seco (°C):	15.00	
Temperatura de bulbo úmido (°C):	13.13	
Temperatura de ponto de orvalho (°C):	11.85	
Umidade relativa (%):	81.32	
Pressão de vapor (Pa):	1386.65	
Pressão de vapor de saturação (Pa):	1705.18	
Pressão de atmosférica (Pa):	101325.00	
Razão de mistura (kg de vapor/kg ar seco):	0.00863	
Volume específico (m³ de ar/kg ar seco):	0.828	
Entalpia (k Joule/kg ar seco):	36.94	
Entalpia (k Cal/kg ar seco)	8.79	

Nota: Aplicativo desenvolvido para finalidades acadêmicas.

Figura 06 – Definição de pontos de estado para o processo de resfriamento do ar.

Como representado na Figura 07 o **AgaisPsicro** pode ser utilizado para calcular as propriedades psicrométricas do ar ambiente, ar aquecido e ar de exaustão, corresponde aos Pontos de Estado 1, 2 e 3, respectivamente.

Conforme dados da Figura 07, o ar ambiente com temperatura de 20 °C e umidade relativa de 60% é aquecido até a temperatura de 70 °C, e após a umidificação adiabática a temperatura do ar reduz para 30 °C.

Desse modo, com o aquecimento do ar e a umidificação adiabática em sequência, observa-se:

- a umidade relativa primeiro reduz de 60% para 4,5% e com a umidificação aumenta para 91,39%. Em secadores de grãos quanto maior a umidade relativa do ar de exaustão (PE3) maior será a eficiência do secador;
- a razão de mistura no aquecimento do ar permanece constante 0,00873 kg de vapor/ kg de ar seco; no entanto na umidificação adiabática a mesma aumentará para 0,02474 kg de vapor/ kg de ar seco. Ou seja, para cada 1,0 kg de ar seco

que passar pela massa de grãos será associado ao mesmo mais 0,01601 kg de vapor (16,01 gramas); e

- a entalpia aumenta no processo de aquecimento aumenta de 42,31 para 93,47kJ/ kg de ar seco, ou seja, para cada 1,0 kg de ar seco que passar pelo sistema de aquecimento será associado ao mesmo mais 51,16 kJ (12,18 kcal). E durante a umidificação adiabática a entalpia permanecerá constante em 93,47kJ/ kg de ar seco.

The screenshot shows the 'AgaisPsicro - Cálculos Psicrométricos' window. It is divided into several sections:

- Ponto de Estado 1:** Inputs for local altitude (0 m), dry bulb temperature (20 °C), and wet bulb temperature (15 °C). Buttons for 'Calcular' and 'Limpar' are present.
- Ponto de Estado 2 (Aquecimento / Resfriamento):** Input for temperature (70 °C). Buttons for 'Calcular' and 'Limpar' are present.
- Ponto de Estado 3 (Desumidificação, Umidificação):** Input for temperature (30 °C) and a dropdown for 'PE2'. Buttons for 'Calcular' and 'Limpar' are present.
- Propriedades Ponto de Estado 1:** A list of properties for the initial state, including dry bulb temperature (20.00), wet bulb temperature (15.00), dew point temperature (11.84), relative humidity (59.28), vapor pressure (1385.91 Pa), saturation vapor pressure (2337.75 Pa), atmospheric pressure (101325.00 Pa), mixing ratio (0.00863 kg/kg), specific volume (0.842 m³/kg), enthalpy (42.04 kJ/kg), and enthalpy (10.01 kCal/kg).
- PE2 = Aquecimento:** A list of properties for the heating state, including dry bulb temperature (70.00), wet bulb temperature (29.30), dew point temperature (11.85), relative humidity (4.45%), vapor pressure (1386.65 Pa), saturation vapor pressure (31159.61 Pa), atmospheric pressure (101325.00 Pa), mixing ratio (0.00863 kg/kg), specific volume (0.986 m³/kg), enthalpy (93.21 kJ/kg), and enthalpy (22.19 kCal/kg).
- PE3 = Umedecimento:** A list of properties for the humidification state, including dry bulb temperature (30.00), wet bulb temperature (28.74), dew point temperature (28.37), relative humidity (91.02%), vapor pressure (3861.45 Pa), saturation vapor pressure (4242.24 Pa), atmospheric pressure (101325.00 Pa), mixing ratio (0.02464 kg/kg), specific volume (0.893 m³/kg), enthalpy (93.21 kJ/kg), and enthalpy (22.19 kCal/kg).

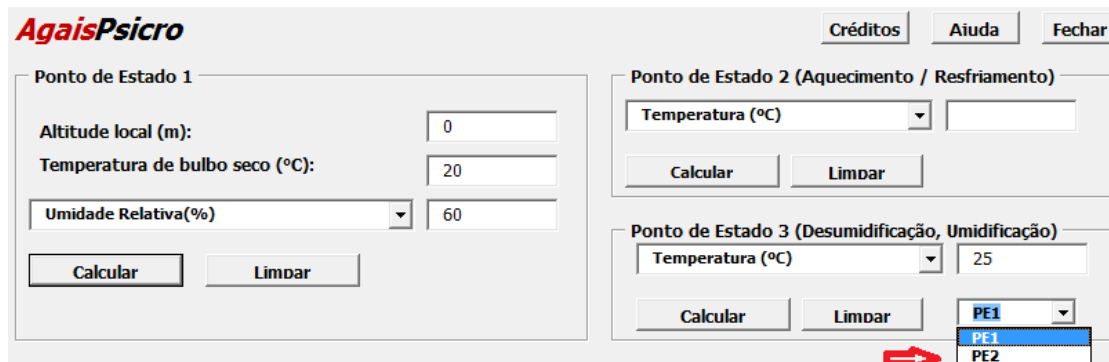
At the bottom, there is a red note: 'Nota: Aplicativo desenvolvido para finalidades acadêmicas.' and a 'Fechar' button.

Figura 07 – Definição de pontos de estado para o processo aquecimento e umidificação adiabática do ar.

d) Desumidificação adiabática

A desumidificação adiabática do ar caracteriza pela perda de vapor de água do para o meio. No pré-processamento de grãos, isso ocorre quando um fluxo de ar úmido passa por uma massa de grãos seca. Nesse caso, o fluxo de ar transferirá um aporte de vapor de água ao ar presente no espaço intergranular.

Exemplo, o fluxo de ar ambiente, com temperatura de 20 °C e umidade relativa de 60% é aplicado em um silo contendo grãos secos. Na saída o fluxo de ar apresentava 25 °C. Ao utilizar o **AgaisPsicro**, o Ponto de Estado 1 refere ao ar ambiente e o Ponto de Estado 3 o de exaustão, nesse caso é necessário selecionar a poção “PE1” na caixa de opções assinalada na Figura 08.



The screenshot shows the 'AgaisPsicro' software interface. It has three main sections for defining states:

- Ponto de Estado 1:** Includes input fields for 'Altitude local (m):' (0), 'Temperatura de bulbo seco (°C):' (20), and 'Umidade Relativa(%)' (60). It has 'Calcular' and 'Limpar' buttons.
- Ponto de Estado 2 (Aquecimento / Resfriamento):** Includes a 'Temperatura (°C)' dropdown menu and 'Calcular' and 'Limpar' buttons.
- Ponto de Estado 3 (Desumidificação, Umidificação):** Includes a 'Temperatura (°C)' dropdown menu (set to 25) and 'Calcular' and 'Limpar' buttons. Below these is a dropdown menu for selecting a point of state, with 'PE1' selected and highlighted. A red arrow points to this dropdown menu.

At the top right, there are buttons for 'Créditos', 'Ajuda', and 'Fechar'.

Figura 08 – Definição de dados de entrada para desumidificação adiabática do ar.

Definido os pontos de estado e acionados os botões “Calcular” são calculadas as condições psicrométricas conforme a Figura 09. Como pode ser observado nas colunas 1 e 2, os valores calculados são iguais devido a opção por “PE1” destacado na Figura 08, assim no local destinado aos dados de PE2, foi ocupado por PE1.

Ao comparar os dados de PE1 e PE3, Figura 09, constata-se que a umidade relativa do ar reduziu de 60 para 34,22%, o que está associado à redução da razão de mistura de 0,00873 para 0,00672 kg de vapor/ kg de ar seco. Ou seja, a cada 1,0 kg de ar seco que cruza o leito de grãos é transferido ao ar intergranular 0,002 kg de vapor (2,0 gramas). A modelo da razão de mistura, a pressão de vapor também reduziu de 1.402,65 para 1.083,59 Pa. Quanto à entalpia o valor permaneceu constante, pois o processo de umidificação é adiabático.

5. Ponderações finais

Este boletim foi elaborado com o objetivo de descrever o uso do aplicativo **AgaisPsicro**, que proporciona aos profissionais da área de processamento de grãos uma ferramenta para o uso da psicrometria na tomada de decisões quando da condução de operações como: aeração em silo pulmão, secagem, seca-aeração, e aeração ou refrigeração de produtos armazenados.

Para o uso adequado do aplicativo o usuário deverá ter conhecimento prévio sobre psicrometria e higroscopia.

AgaisPsicro - Cálculos Psicrométricos

AgaisPsicro Créditos Aiuda Fechar

Ponto de Estado 1

Altitude local (m):

Temperatura de bulbo seco (°C):

Temperatura de bulbo úmido (°C):

Ponto de Estado 2 (Aquecimento / Resfriamento)

Temperatura (°C):

Ponto de Estado 3 (Desumidificação, Umidificação)

Temperatura (°C):

Propriedades Ponto de Estado 1	= PE1	PE3 = Desumedecimento
Temperatura de bulbo seco (°C):	<input type="text" value="20.00"/>	<input type="text" value="25.00"/>
Temperatura de bulbo úmido (°C):	<input type="text" value="15.00"/>	<input type="text" value="15.17"/>
Temperatura de ponto de orvalho (°C):	<input type="text" value="11.84"/>	<input type="text" value="7.93"/>
Umidade relativa (%):	<input type="text" value="59.28"/>	<input type="text" value="33.68"/>
Pressão de vapor (Pa):	<input type="text" value="1385.91"/>	<input type="text" value="1066.69"/>
Pressão de vapor de saturação (Pa):	<input type="text" value="2337.75"/>	<input type="text" value="3167.01"/>
Pressão de atmosférica (Pa):	<input type="text" value="101325.00"/>	<input type="text" value="101325.00"/>
Razão de mistura (kg de vapor/kg ar seco):	<input type="text" value="0.00863"/>	<input type="text" value="0.00662"/>
Volume específico (m³ de ar/kg ar seco):	<input type="text" value="0.842"/>	<input type="text" value="0.854"/>
Entalpia (k Joule/kg ar seco):	<input type="text" value="42.04"/>	<input type="text" value="42.04"/>
Entalpia (k Cal/kg ar seco)	<input type="text" value="10.01"/>	<input type="text" value="10.01"/>

Nota: Aplicativo desenvolvido para finalidades acadêmicas.

Figura 09 – Definição de pontos de estado para desumidificação adiabática do ar.

6. Bibliografias consultadas

1993 ASHRAE Handbook: Fundamentals (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta GA, USA).

ASAE Standard 1988. Psychrometric Data, ASAE D271.2 DEC94 (ASAE, St Joseph, MI USA).

MELO, E. C., LOPES, D. C., CORRÊA, P. C. GRASPSI - Programa computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. Engenharia na Agricultura, Viçosa: MG, v. 12, n. 2, p. 154-162. 2004.