

Temperatura, umidade e a cápsula do tempo

Saulo Güths

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

GÜTHS, S. Temperatura, umidade e a cápsula do tempo. In: SILVA, RRG., org. *Preservação documental: uma mensagem para o futuro* [online]. Salvador: EDUFBA, 2012, pp. 79-91. ISBN 978-85-232-1221-6. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.



All the contents of this chapter, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste capítulo, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de este capítulo, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

TEMPERATURA, UMIDADE E A CÁPSULA DO TEMPO

*Saulo Güths*¹

INTRODUÇÃO

A degradação de um objeto ocorre por causas diversas, mas quase todas estão associadas aos níveis de temperatura e umidade relativa do ambiente. Os efeitos de degradação são percebidos pela presença de alterações dimensionais, ressecamento, biodeterioração, corrosão ou outros efeitos decorrentes das reações químicas estimuladas por determinadas condições do meio e características dos materiais. (NIEVES et al., 1998; SEBERA, 2001) Um tipo de degradação de natureza química é por oxidação e hidrólise, que destrói as cadeias de materiais orgânicos, tornando-os frágeis e quebradiços. A temperatura e a umidade atuam de forma combinada, acelerando o processo. Entretanto a umidade é apresentada de duas formas: umidade relativa e umidade absoluta. Nesse texto pretende-se apresentar o conceito dessas grandezas, a dependência com a temperatura, a correlação com o Índice de Preservação, apresentado por Reilly, Nishimura e Zinn (2001) e os fenômenos envolvendo a movimentação de acervos entre salas climatizadas e não climatizadas. Finalmente, será abordado o

¹ Professor Adjunto III, Departamento de Engenharia Mecânica; Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC. Doutor em Ciências Térmicas pela *Université D'Artois* / França.

comportamento de materiais porosos em função da umidade relativa e alguns aspectos discutidos no caso do receptáculo de aço depositado numa caixa de concreto, construída a aproximadamente dois metros abaixo da superfície do solo, onde foram colocadas versões impressas de documentos importantes para a Universidade Federal da Bahia (UFBA), na cerimônia de lançamento da Pedra Fundamental do novo prédio do Instituto de Ciência da Informação (ICI-UFBA). Daremos a esse receptáculo a denominação de Cápsula do Tempo.

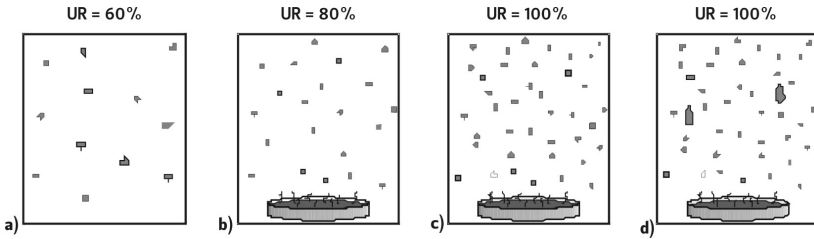
UMIDADE RELATIVA X UMIDADE ABSOLUTA

O ar é uma mistura de aproximadamente nove gases – com predominância de nitrogênio e oxigênio – mais uma pequena fração de água na forma de vapor. A quantidade de água contida em 1 m^3 de ar é denominada Umidade Absoluta, expressa em gramas de vapor d'água por metro cúbico (m^3) de ar. É uma definição simples, e bastante lógica. Ou seja, é absolutamente a quantidade de água que esse ar contém.

Já a Umidade Relativa é um pouco mais complexa para se compreender, requerendo um pouco mais de imaginação. Primeiro, algumas considerações sobre o ar. A pergunta de sempre: ar pesa? Sim!!! Mas quanto? Pode-se dizer que é mais do que se imagina: 1 m^3 de ar pesa em torno de 1 kg.... que é um peso considerável.

Então, agora vamos imaginar um cubo fechado contendo 1 m^3 de ar (ou 1 kg de ar). Esse ar contém uma certa quantidade de água na forma de vapor. Vamos supor 10 gramas. Ou seja, a Umidade Absoluta desse ar é **$10 \text{ g de vapor d'água} / \text{m}^3 \text{ de ar}$** . Mas esse ar pode conter mais água na forma de vapor. Se colocarmos um recipiente de água dentro desse cubo, conforme mostrado na sequência da Figura 1, parte da água (líquida) vai evaporar, fazendo parte agora do ar (na forma gasosa, ou de vapor, que é a mesma coisa).

Figura 1– Ar sendo saturado dentro de um cubo hermético



Fonte: Elaborado pelo autor.

Talvez nosso ar contenha, agora, 15 gramas de água na forma de vapor. E a evaporação continua. Mas vai chegar a um limite. Talvez esse ar consiga suportar no máximo **20 g de vapor d'água**. E acima disso não passará. É o limite que esse ar consegue suportar as moléculas de água na forma de vapor. Essa condição é dita saturada, ou com Umidade Relativa igual a 100%. Se tentar evaporar um pouco mais de água do recipiente, o ar já não consegue suportar mais, e condensará esse excesso (Figura 1d).

Ou seja, Umidade Relativa é uma grandeza que nos diz o quanto o ar está próximo do limite de ficar saturado. E a Umidade Absoluta é a quantidade (peso) de vapor d'água que tem 1 m³ desse ar. Analisando a sequência mostrada na Figura 1, pode-se avaliar a Umidade Absoluta e a Umidade Relativa do ar dentro do cubo.

Quadro 1– Relação entre umidade relativa e absoluta

CASO	QUANTIDADE DE VAPOR D'ÁGUA NO CUBO	UMIDADE ABSOLUTA	UMIDADE RELATIVA
Figura 1a	10 gramas	10 g _{vapor} / m ³ _{ar}	60 %
Figura 1b	15 gramas	15 g _{vapor} / m ³ _{ar}	80 %
Figuras 1c e 1d	20 gramas (máximo)	20 g _{vapor} / m ³ _{ar})	100 %

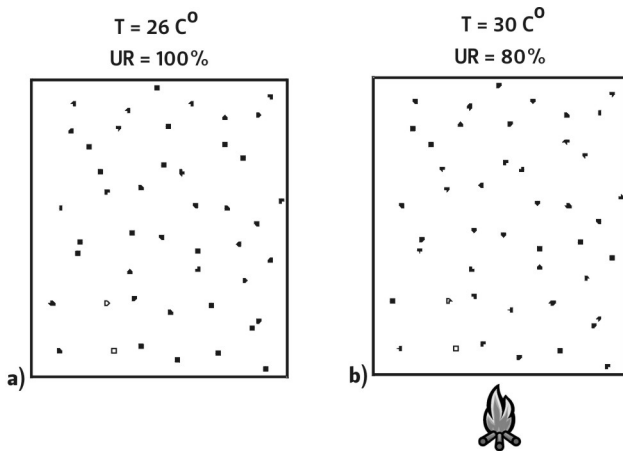
Fonte: Elaborado pelo autor.

O EFEITO DA TEMPERATURA NA UMIDADE

A Umidade Relativa apresenta ainda uma peculiaridade: um ar mais quente consegue suportar mais água na forma de vapor. A razão disso é entendida pelos físicos termodinâmicos. Nós avaliaremos apenas a consequência.

Na Figura 1 foi mostrado o ar sendo umidificado em uma temperatura qualquer, constante (digamos 26°C). Se agora o cubo fosse aquecido até 30°C, o ar poderia suportar mais água na forma de vapor. Não estaria mais no limite, mas com uma folga para receber mais umidade. Ou seja, a Umidade Relativa que estava a 100%, agora tornou-se mais baixa (digamos 80%). Mas e a Umidade Absoluta? Ela não mudou, porque ainda não foi adicionado nada de água. Apenas o ar foi aquecido, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Ar sendo aquecido em cubo hermético



Fonte: Elaborado pelo autor.

É exatamente isso que acontece quando se tem um ambiente fechado (uma sala, uma caixa com documentos ou uma cápsula do tempo). Ou seja, aumentando a temperatura, a Umidade Relativa cai. E vice-versa: se a temperatura diminui, a umidade relativa aumenta.

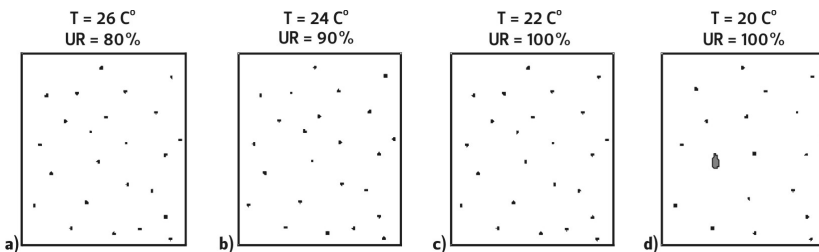
É sempre o inverso. Para cada dois graus de variação da temperatura, a umidade relativa varia aproximadamente 10%.

Ambiente fechado:

Quando a temperatura aumenta, a umidade relativa diminui.
E vice versa.

Certas situações podem representar risco ao acervo. Por exemplo: em uma sala de trabalho sem controle de temperatura é colocado um objeto dentro de uma caixa bem vedada. O ar dentro dessa caixa estará nas condições ambientais dessa sala, por exemplo, 26°C e 80% de UR, conforme mostrado na Figura 3a. Se essa caixa é levada para a área de guarda onde há um aparelho de ar condicionado em funcionamento (com temperatura de 20°C), lentamente o ar dentro da caixa começa a resfriar e a umidade relativa a aumentar. Quando a temperatura chegar a 22°C (Figura 3c) a umidade relativa dentro da caixa será de 100%. Mas a temperatura ainda baixará mais um pouco, chegando a 20°C, que é a temperatura da área de guarda. O ar, que já estava no seu limite, não conseguirá mais manter tanta água na forma de vapor... e esse excesso condensará. Ou seja, vai “chover” dentro da caixa!!!

Figura 3– Processo de resfriamento de um ar enclausurado



Fonte: Elaborado pelo autor.

E então, qual a solução quando precisamos colocar uma caixa (hermética) com documentos em uma sala climatizada? Simplesmente não devemos fechá-la imediatamente. Coloca-se dentro da sala com a tampa aberta, ou semiaberta, deixando assim por um certo período de tempo para que o ar da sala estabilize o ar da caixa. Quanto? Depende da quantidade de documentos, do tipo da caixa, etc. Mas não há problema em deixar mais tempo do que o necessário. Para não errar, deixe um dia assim. Depois, feche normalmente. Mas esse procedimento só é necessário para caixas herméticas. Se ela tiver algum furo, ou for feita de material poroso (papelão), não é necessário. A umidade naturalmente se equilibrará com o exterior.

Caixas herméticas:

Mantenha as caixas abertas por um tempo quando colocá-las em ambientes climatizados.

No caso de uma cápsula do tempo pode ocorrer esse fenômeno, caso o solo da região fique a uma temperatura muito baixa. Para prevenir a ocorrência da condensação deve-se preparar a cápsula em um ambiente climatizado com umidade relativa baixa. Outra solução é pré-condicionar o material, assunto que será abordado na próxima seção.

Note que se o objeto não está dentro de nenhuma caixa, esse cuidado não é necessário. O objeto chegará quente, e lentamente será resfriado até as condições da sala climatizada. Ou seja, não é necessário passar por ante-sala, ou qualquer outro cuidado. Cabe salientar que está sendo avaliado apenas o problema da condensação. Dependendo do objeto, outros cuidados fazem-se necessários, como uma lenta transição entre os dois estados de temperatura e umidade, para reduzir danos por contração/dilatação.

Entretanto se for realizado o caminho inverso – retirada de um objeto de uma sala climatizada para um ambiente não climatizado (mais quente) – pode ocorrer condensação sobre o objeto. Pode-se entender esse fenômeno, analisando o comportamento do ar que fica em contato com a superfície do objeto. O ar externo quente e úmido encontra a superfície fria do objeto e acaba esfriando. Enquanto esfria, a umidade relativa vai aumentando. Se esfriar muito, pode chegar a 100%, e em seguida condensar. Pode-se avaliar previamente se haverá risco de condensação, conhecendo-se as condições internas e externas, analisando a chamada Carta Psicrométrica.

| 85 |

Para não ocorrer esse fenômeno alguns artifícios podem ser empregados. A antessala é um deles. Trata-se de um ambiente que se encontra na média entre o ambiente interno e externo. Deixa-se o objeto nesse ambiente para que sua temperatura aumente o suficiente para que não ocorra condensação quando retirado para o exterior.

Outro artifício bastante simples consiste em colocar o objeto dentro de um saco plástico no momento de retirar para o ambiente externo. Se ocorrer condensação, essa se dará na superfície externa do plástico. O objeto poderá ser retirado do saco plástico depois que sua temperatura já chegou próxima da temperatura do ambiente externo.

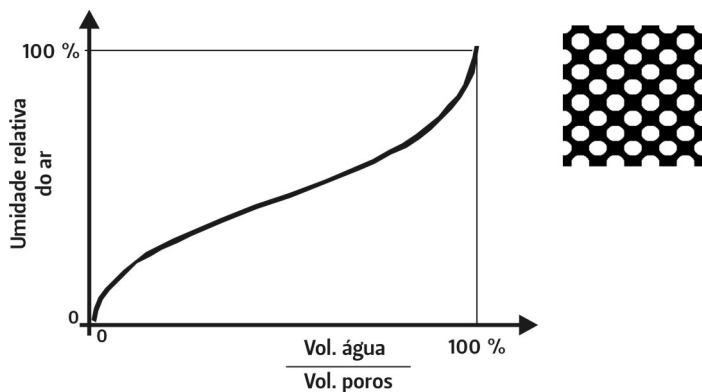
Risco de Condensação em objetos:
Apenas quando sai da sala climatizada.

O tempo que o objeto deve ser deixado dentro da antessala ou do saco plástico depende das condições climáticas, tamanho e tipo do objeto etc. Normalmente, 24 horas são largamente suficientes para prevenir desse risco.

MATERIAIS POROSOS

86 | Todo material orgânico torna-se poroso quando seco – onde havia água, fica um espaço vazio – formando uma rede de canais e poros de diferentes dimensões. Quando o ar ambiente fica em contato com esse material, ocorre um fenômeno físico chamado adsorção. Moléculas de vapor d'água do ar começam a preencher esses poros (inicialmente os menores). Quanto maior a umidade relativa do ar, mais, e maiores, poros são preenchidos. Ou seja, o material naturalmente retém uma certa quantidade de água, dependendo da umidade relativa do meio ambiente. Essa quantidade varia para cada tipo de material (e de porosidade). O Gráfico 1 mostra a quantidade de poros (ou volume de poros) que é preenchido em função da umidade relativa do ar.

Gráfico 1– Volume de poros preenchidos em função da umidade relativa do ar



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando a umidade relativa do ar é zero, os poros estão vazios. Mas à medida que a umidade relativa do ar aumenta, um maior número de poros é preenchido. E quando a umidade relativa do ar é de 100%, todos os poros ficam cheios d'água!!! Ou seja, o material fica praticamente encharcado. É por isso que os papéis ficam moles e dilatados quando a umidade relativa do ar é alta. E quando o ar seca, os papéis (e todos os meios porosos) perdem água e se contraem.

Um material bastante suscetível é a madeira. Se uma peça está equilibrada em um ambiente com umidade relativa alta, ela contém bastante água. Se levada para um ambiente com umidade relativa mais baixa, ela vai tentar se equilibrar, perdendo água e como consequência diminuindo seu volume. Isso gera grandes tensões internas, podendo romper a estrutura, formando trincas e rachaduras.

Uma consequência do fenômeno de adsorção² de umidade é observada no crescimento de fungos. Os fungos utilizam essa água adsorvida para crescer. Quanto maior a quantidade de água adsorvida – ou seja, maior umidade relativa do ar –, maior a probabilidade de ocorrer crescimento de fungos. Autores afirmam que materiais orgânicos apresentam riscos de crescimento de fungos se a umidade relativa do ar for maior que 65%. Varia um pouco com o tipo de material. Couro é mais sensível que madeira e papel. Sabendo que a umidade relativa média no Brasil é de 80 %, o risco para o acervo é realmente grande.

Outro detalhe interessante é que a quantidade de água adsorvida por um meio poroso depende quase que unicamente da umidade relativa. Não importa muito a temperatura. Ambientes com ar condicionado comum (sem controle de umidade) muitas vezes apresentam elevados valores de umidade relativa. Um livro colocado nesse ambiente vai então adsorver uma grande quantidade de água, ambiente fértil para crescimento de fungos. E muitos tipos de fungos proliferam a temperaturas baixas. Basta encontrar água disponível no objeto para que proliferem. Ambientes climatizados devem, então, dispor de dispositivos para controle de umidade.

ÍNDICE DE PRESERVAÇÃO

Um tipo de degradação de natureza química é a que ocorre por oxidação e hidrólise, que destrói as cadeias de materiais orgânicos,

2 **Adsorção:** Fixação de moléculas de uma substância (o **adsorvato**) na superfície de outra substância (o **adosrvante**).

tornando-os frágeis e quebradiços. Reilly, Nishimura e Zinn (2001) apresentou um método que relaciona a deterioração química em função da temperatura e umidade relativa para um material orgânico frágil (*slide colorido*) estabelecendo o Índice de Preservação (IP), que permite estimar em quanto tempo ocorrerão sinais de degradação por oxidação e hidrólise, provocando perda de flexibilidade, sinalizando que houve quebra das cadeias orgânicas.

A Tabela 1 apresenta os valores do Índice de Preservação em função da temperatura (eixo superior horizontal) e da Umidade Relativa do ar (eixo vertical esquerdo). O corpo da tabela é o Índice de Preservação, expresso em anos.

Tabela 1– Índice de Preservação (em anos) em função da Temperatura e da Umidade Relativa do ar

UR\T	6°C	8°C	11°C	14°C	17°C	19°C	22°C	25°C	28°C	31°C	33°C
30 %	525	356	243	168	116	81	57	40	29	21	15
35 %	451	307	210	145	101	71	50	35	25	18	13
40 %	387	264	182	126	88	62	43	31	22	16	12
45 %	333	228	157	109	76	54	38	27	19	14	10
50 %	287	197	136	95	66	47	33	24	17	12	9
55 %	247	170	118	82	58	41	29	21	15	11	8
60 %	213	147	102	72	51	36	26	18	13	10	7
65 %	184	128	89	62	44	31	22	16	12	9	6
70 %	160	111	77	54	39	28	20	14	10	8	6
75 %	138	96	67	48	34	24	17	13	9	7	5
80 %	120	84	59	42	30	21	15	11	8	6	4
85 %	104	73	51	36	26	19	14	10	7	5	4
90 %	90	63	45	32	23	16	12	9	6	5	3
95 %	79	55	39	28	20	15	11	8	6	4	3

Fonte: Extraído de REILLY, J. M.; NISHIMURA e D. W.; ZINN (2001)

Nota-se que um filme colorido armazenado em uma temperatura de 25oC e 80% de UR vai mostrar sinais de degradação em apenas 11 anos. Esses valores apresentados por Reilly, Nishimura e Zinn (2001) são exclusivos para *slides* coloridos, que são materiais relativamente frágeis, mas podem ser estendidos a qualquer outro material orgânico, aplicando-se um fator proporcional à taxa de reação.

Na Tabela 1 nota-se que o tempo de vida aumenta quando a temperatura e a umidade relativa são diminuídas. Entretanto, existem limites. Reduzindo-se muito a umidade relativa, pode haver uma contração muito elevada e perda de flexibilidade, podendo causar dano ao material. E o mesmo pode ocorrer se a temperatura for muito reduzida. Falhas nos sistemas de climatização, com variações abruptas e/ou frequentes, também podem incorrer em danos ao acervo. Cada caso deve ser cuidadosamente analisado por profissionais qualificados para avaliar a relação benefício/risco/custo.

CÁPSULA DO TEMPO

Os documentos guardados em uma cápsula do tempo estarão sujeitos aos fenômenos de oxidação e hidrólise, potencializados pela temperatura e umidade. Controlar a temperatura da cápsula é inviável, mas é possível escolher um local onde a temperatura seja a mais baixa possível. Enterrar no solo é uma boa opção, pois é um local que apresenta boa estabilidade térmica e temperaturas mais baixas. O risco é a infiltração de umidade.

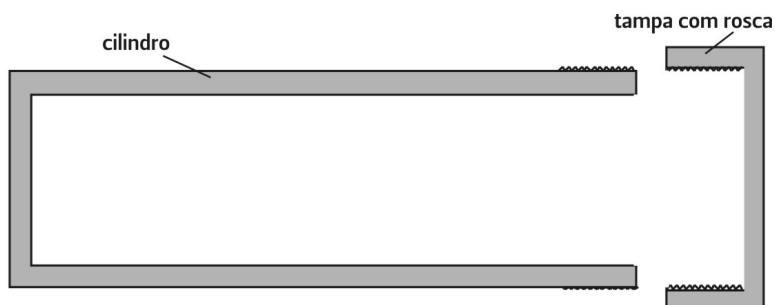
Em relação à umidade relativa, pode-se tomar o cuidado de estabilizar os documentos com uma umidade relativa mais baixa antes de selar a cápsula. Entretanto a oxidação e a hidrólise continuarão ocorrendo. O fenômeno da oxidação necessita de oxigênio para ocorrer, e a hidrólise necessita da água adsorvida no material. Retirar completamente a água resulta nos problemas descritos na seção anterior: contração, empenamento, risco de fissura e perda de flexibilidade. Resta apenas reduzir a umidade até valores seguros.

Já a oxidação pode ser eliminada com a retirada, ou substituição, do oxigênio. No caso da Cápsula do Tempo do ICI-UFBA, foram discutidas algumas técnicas para inibição da oxidação dos documentos. A extração completa do ar (vácuo) ou a substituição do ar por gás inerte (argônio, nitrogênio) foram descartadas, pois necessitaria de técnicas apuradas para umidificar o gás em um valor correto.

O uso de absorvedores de oxigênio foi considerado o procedimento mais adequado. Trata-se de um procedimento relativamente simples e de baixo custo, bastante utilizado na indústria alimentícia. Normalmente apresentam-se na forma de pastilhas compostas com materiais oxidantes (usualmente ferro) que absorvem o oxigênio do ar, preservando o nível de umidade da cápsula. A quantidade de absorvente depende do volume da cápsula, quantidade de documentos e nível de umidade desejado.

Uma cápsula do tempo requer vedação completa, seja contra água líquida, vapor d'água ou oxigênio. Vidro e metal são materiais que satisfazem essas condições. Entretanto, outros fatores devem ser levados em conta: resistência à corrosão, resistência mecânica e facilidade de fabricação/montagem. Aço inox do tipo 316 satisfaz razoavelmente essas premissas. Em relação à facilidade de fabricação e montagem, a forma cilíndrica, com uma das bases soldada e outra na forma de uma tampa rosqueada foi indicada como a mais viável (Figura 4).

Figura 4 – Esquema da Cápsula do Tempo em aço inox 316.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, a vedação da rosca é o “calcanhar de Aquiles” do dispositivo. O dispositivo possível de ser obtido no prazo e com os recursos disponíveis foi no formato de caixa, o que impedia a adoção de rosca. Chegou-se à conclusão de que vedação com parafina seria a forma mais indicada, dado sua baixa permeabilidade a líquidos e gases e ao fato da parafina não exalar gases que poderiam reagir com os documentos. Como forma de proteção adicional ao aço inox, toda a cápsula foi recoberta com uma camada de parafina. A parafina poderia ser do tipo industrial, facilmente encontrada no mercado, e assim foi feito. Cabe salientar que ainda trata-se de um assunto em aberto onde outras soluções podem ser avaliadas.

REFERÊNCIAS

NIEVES, V. et al. Microbial control in archives, libraries an museums by ventilation systems. *Restaurator*, v. 19, n. 2, p. 85–107, 1998.

PARK, S. C. HVAC for historic buildings. *ASHRAE Journal*, v. 41, n. 4. p. 91–98, abr. 1999.

REILLY, J. M.; NISHIMURA, D. W.; ZINN, E. *Novas ferramentas para preservação: avaliando os efeitos ambientais a longo prazo sobre coleções de bibliotecas e arquivos*. Traduzido por José Luiz Pedersoli Júnior. 2. ed. Rio de Janeiro: Projeto Conservação Preventiva em Bibliotecas e Arquivos, 2001. Disponível em: <http://143.106.151.46/cpba/pdf_cadtec/19.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2011.

SEBERA, D.K. *Isopermas: uma ferramenta para o gerenciamento ambiental*. Traduzido por José Luiz Pedersoli Júnior. 2. ed. Rio de Janeiro: Projeto Conservação Preventiva em Bibliotecas e Arquivos. 2001. <http://143.106.151.46/cpba/pdf_cadtec/18.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2011.

VAN WILEN, D.; SONNTAG, R.; BORGNAKKE, C. *Fundamentos da termodinâmica Clássica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.