

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÕES RURAIS

IRENILZA A. NAAS *autor*

ESTUDO DE VENTILAÇÃO NATURAL EM
EDIFICAÇÕES DE ABRIGO A SUÍNOS

LD
Tese apresentada para o Concurso de Livre-Docência da Cadeira Construções Rurais, da Faculdade de Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.



ABRIL 1986 *autor*

T/UNICAMP
Nlle
BAE/17652

BIBLIOTECA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
UNICAMP

"Não se aprende, Senhor, na fantasia,
Sonhando, imaginando ou estudando,
Senão vendo, tratando e pelejando."

Camões

Luziadas, C.X. 153, vv. 6-8

Ao meu marido,

Bengt

e aos meus filhos,

Olof, Thor e Leif.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela paciência.

Aos meus pais, Expedito e Ivanilde, pelo apoio incondicional e incentivo.

À minha irmã, Ivanilza, pela colaboração.

Aos amigos Lauro e Sandra Pinto, pela ajuda na coleta de informações.

À Ângela Braido, pela dedicação na coleta de dados.

Ao Prof. José Luiz V.Rocha, pela solidariedade.

Aos demais colegas da FEAGRI, pelo companheirismo.

À SOMA (Serviços de Otimização e Matemática Aplicada S/C Ltda.) na pessoa de Luiz Roberto S. Amaral (Tico).

AGRADECIMENTO

"In Memoriam"

Ao Prof. André Tosello, que dedicou suas esperanças e projetou suas aspirações na criação de uma Faculdade de Engenharia Agrícola na Universidade Estadual de Campinas, hoje uma realidade.

ÍNDICE

SUMÁRIO	i
SUMMARY	ii
INTRODUÇÃO	iii
OBJETIVOS	v
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. O SUÍNO E A TERMO-REGULAÇÃO	2
1.1.1. MECANISMOS DE TROCAS TÉRMICAS ENTRE O ANIMAL E O AMBIENTE	4
1.1.2. VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO	6
1.2. CLIMA E ADEQUAÇÃO DA EDUFICAÇÃO	6
1.2.1. ELEMENTOS CLIMÁTICOS E EDIFICAÇÃO.	6
1.2.1.1. RADIAÇÃO SOLAR	7
1.2.1.2. LONGITUDE	8
1.2.1.3. LATITUDE	9
1.2.1.4. UMIDADE RELATIVA ATMOSFÉ- RICA	9
1.2.1.5. MOVIMENTAÇÃO DO AR - VENTOS	10
1.3. ADEQUAÇÃO DA EDIFICAÇÃO AOS CLIMAS	11
1.3.1. EDIFICAÇÃO EM CLIMA QUENTE E SECO.	14
1.3.2. EDIFICAÇÃO EM CLIMA QUENTE E ÚMIDO	16
CAPÍTULO 2 - TEORIA DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES	17
2.1. MECANISMOS DE TROCAS TÉRMICAS SECAS	18

2.1.1. CONVECÇÃO	20
2.1.2. RADIAÇÃO	22
2.1.3. CONDUÇÃO	24
2.2. MECANISMOS DE TROCAS TÉRMICAS ÚMIDAS	26
2.2.1. EVAPORAÇÃO	27
2.2.2. CONDENSAÇÃO	27
2.3. CONDUTÂNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL	28
CAPÍTULO 3 - VENTILAÇÃO	34
3.1. VENTILAÇÃO NATURAL	35
3.1.1. CRITÉRIOS DE VENTILAÇÃO DOS AMBIEN TES	36
3.1.2. VENTILAÇÃO POR AÇÃO DOS VENTOS ...	38
3.1.3. VENTILAÇÃO POR EFEITO CHAMINÉ	40
3.1.4. SIMULTANEIDADE DE "EFEITO CHAMINÉ" E "AÇÃO DOS VENTOS"	49
CAPÍTULO 4 - BALANÇO TÉRMICO DENTRO DE UMA EDIFICAÇÃO DE ABRIGO A SUÍNOS	55
4.1. CONSIDERAÇÕES BÁSICAS	56
4.2. BALANÇO TÉRMICO	57
4.3. DESCRIÇÃO DO MODELO PROPOSTO	60
CAPÍTULO 5 - MATERIAL E MÉTODOS	68
5.1. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL	69
5.1.1. DESCRIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA NO PROGRAMA	69

5.1.2. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA .	76
5.2. COLETA DE DADOS	76
5.2.1. COLETA DE DADOS DA TEMPERATURA <u>IN</u> <u>TERNA</u>	76
5.2.2. COLETA DE DADOS DA TEMPERATURA <u>EX</u> <u>TERNA</u>	78
5.2.3. COLETA DE DADOS DO VENTO	80
5.3. DURAÇÃO DO EXPERIMENTO	80
CAPÍTULO 6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES	82
6.1. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	83
6.1.1. RESULTADOS DO MÊS DE SETEMBRO	84
6.1.2. RESULTADOS DO MÊS DE OUTUBRO	84
6.1.3. RESULTADOS DO MÊS DE NOVEMBRO	101
6.1.4. RESULTADOS DO MÊS DE DEZEMBRO	101
6.2. COMENTÁRIOS SOBRE O EXPERIMENTO	118
6.3. CONCLUSÕES	119
CAPÍTULO 7 - RECOMENDAÇÕES	121
BIBLIOGRAFIA	123
ANEXO 1	130
ANEXO 2	131
ANEXO 3	132
ANEXO 4	133

ANEXO 5	134
ANEXO 6	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. nº	Título	Pág.
1	Curva da produção total de calor para suínos em diferentes estágios de crescimento	3
2	Diagrama dos ventos no globo terrestre	12
3	Esquema explicativo dos mecanismos de trocas térmicas secas em uma edificação	19
4	Esquema explicativo dos coeficientes de condutância térmica superficial	25
5	Esquema explicativo para determinação da resistência térmica	29
6	Variação da resistência térmica de uma lâmina de ar vertical, com a sua espessura	31
7	Pressões externas nas faces de um cubo, com vento normal a uma das faces	41
8	Pressões externas nas faces de um cubo, com vento a 45° de uma das faces	42
9	Distribuição de pressões para edificações de planta retangular, com telhado inclinado a 60°	43
10	Distribuição de pressões para edificações de planta retangular, com telhado inclinado a 30°	44
11	Croquis explicativos das distribuições das pressões em uma caixa cúbica	46

.../.

Fig. nº	Título	Pág.
12	Gráfico para determinação do incremento de vazão, causado pelo excesso de área de uma abertura de ar sobre outra abertura	48
13	Gráfico para determinação da vazão resultante da ação combinada de forças de vento e de efeito chaminé	50
14	Exemplos de fluxo de ar através de espaços vazios - em planta baixa	51
15	Exemplos de fluxo de ar através de espaços parcialmente divididos - em planta baixa	51
16	Exemplos de fluxo de ar através de ambientes que dispõem de aberturas localizadas em paredes opostas - corte transversal	52
17	Exemplos da influência de vegetação baixa e de árvores, segundo a proximidade maior ou menor do edifício	54
18	Esquema básico das fontes de calor dentro de uma edificação de abrigo a suínos	58
19	Esquema de ventilação numa edificação de abrigo a animais	61
20	Fatores que afetam o dimensionamento do fluxo de ventilação	62
21	Vista parcial da edificação estudada	77
22	Posição do termômetro de máxima e mínima na baía	77
23a	Vista da casa de proteção dos termômetros para leitura de temperatura externa	79

Fig. nº	Título	Pág.
23b	Vista dos instrumentos de medidas <u>ex</u> ternas	79
24	Catavento Wild usado no experimento	81
25	Gráfico das Temperaturas Internas (Setembro - 7:00 h)	85
26	Gráfico das Temperaturas Externas (Setembro - 7:00 h)	86
27	Gráfico das Velocidades do Vento (Setembro - 7:00 h)	87
28	Gráfico do Balanço Térmico (Setembro - 7:00 h)	88
29	Gráfico das Temperaturas Internas (Setembro - 14:00 h)	89
30	Gráfico das Temperaturas Externas (Setembro - 14:00 h)	90
31	Gráfico das Velocidades do Vento (Setembro - 14:00 h)	91
32	Gráfico do Balanço Térmico (Setembro - 14:00 h)	92
33	Gráfico das Temperaturas Internas (Outubro - 7:00 h)	93
34	Gráfico das Temperaturas Externas (Outubro - 7:00 h)	94
35	Gráfico das Velocidades do Vento (Outubro - 7:00 h)	95
36	Gráfico do Balanço Térmico (Outubro - 7:00 h)	96
37	Gráfico das Temperaturas Internas (Outubro - 14:00 h)	97
38	Gráfico das Temperaturas Externas (Outubro - 14:00 h)	98

Fig. nº	Título	Pág.
39	Gráfico das Velocidades do Vento (Outubro - 14:00 h)	99
40	Gráfico do Balanço Térmico (Outubro - 14:00 h)	100
41	Gráfico das Temperaturas Internas (Novembro - 7:00 h)	102
42	Gráfico das Temperaturas Externas (Novembro - 7:00 h)	103
43	Gráfico das Velocidades do Vento (Novembro - 7:00 h)	104
44	Gráfico do Balanço Térmico (Novembro - 7:00 h)	105
45	Gráfico das Temperaturas Internas (Novembro - 14:00 h)	106
46	Gráfico das Temperaturas Externas (Novembro - 14:00 h)	107
47	Gráfico das Velocidades do Vento (Novembro - 14:00 h)	108
48	Gráfico do Balanço Térmico (Novembro - 14:00 h)	109
49	Gráfico das Temperaturas Internas (Dezembro - 7:00 h)	110
50	Gráfico das Temperaturas Externas (Dezembro - 7:00 h)	111
51	Gráfico das Velocidades do Vento (Dezembro - 7:00 h)	112
52	Gráfico do Balanço Térmico (Dezembro - 7:00 h)	113
53	Gráfico das Temperaturas Internas (Dezembro - 14:00 h)	114

.../.

Fig. nº	Título	Pág.
54	Gráfico das Temperaturas Externas (Dezembro - 14:00 h)	115
55	Gráfico das Velocidades do Vento (Dezembro - 14:00 h)	116
56	Gráfico do Balanço Térmico (Dezembro - 14:00 h)	117
57	Planta baixa e cortes longitudinal e vertical da edificação estudada	120
58	Vista Interna da edificação estudada	133
59	Vista da área molhada da baixa estudada	133
60	Disposição dos animais na baía	134
61	Vista intermediária entre as baias	134

ÍNDICE DE TABELAS

Tab. nº	Título	Pág.
1	Características físicas e térmicas da edificação estudada	70
2	Características climáticas do local em que se encontra a edificação estudada	71
3	Balanco Térmico da Edificação (Setembro)	72
4	Balanco Térmico da Edificação (Outubro)	73
5	Balanco Térmico da Edificação (Novembro)	74
6	Balanco Térmico da Edificação (Dezembro)	75
7	Resistências térmicas superficiais ($1/h_e ; 1/h_1 = m^2oC$)	131
8	Variação da condutância térmica superficial externa (h_e)	131
9	Resistência térmica de espaços de ar (R_{ar}) confinado entre duas lâminas paralelas	132
	Tabela de conversão de unidades para o Sistema Internacional (SI)	135

...

SUMÁRIO

O motivo de se construir edificação de abrigo para animais é a proteção de intempéries climáticas. Para que essa proteção seja efetiva e eficiente em termos de produtividade animal, faz-se necessária a quantificação da interação de clima, animal e edificação.

Um sistema de ventilação adequada proporciona condição de controlar a temperatura interna, removendo o calor da edificação. Utilizando-se ventilação natural, isto só pode ser alcançado, com a otimização de aberturas associadas com a utilização de materiais de construção adequados.

Embora não haja um sistema de ventilação que possa ser universalizado, esse trabalho propõe e analisa um modelo para dimensionamento de edificação com ventilação natural, para produção de suínos, variando os materiais de construção disponíveis.

O modelo foi testado em um prédio com lote de 100 suínos, inicialmente leitões e depois em fase de terminação.

SUMMARY

The reason why we provide animals with buildings is to give shelter from the weather. In order to have effective protection and efficient pattern for high productivity we must describe and quantify the interaction of climate, animal and building.

The purpose of ^{an} adequate ventilation system is to provide good condition in controlling internal temperature, by removing heat from the building. Using natural ventilation this only can be reached by optimizing the building openings and matching construction material on the design.

Although no single design of a ventilation system is to be applied as a wholesome solution, this work analyses and points a model for designing of a natural ventilated building for swine production, varying the construction material.

The model was validated for a building with a lot of 100 swines from piglets to finishing.

INTRODUÇÃO

Os países em desenvolvimento, cada vez mais, adotam o sistema intensivo de produção animal. Essa produção é avaliada com certa precisão, através de medidas de variáveis apropriadas tais como, ganho de peso, eficiência alimentar, quantidade de leite e trabalho (Anexo 1). A literatura é vasta nas verificações dos fatores ambientais que impõem, coletiva ou separadamente, um certo grau de desgaste nos animais, mensurável pelos resultados das disfunções verificadas na homeotermia. Pesquisas demonstram que a eficiência do desempenho animal é o resultado do funcionamento homeotérmico e, disfunções desse sistema acarretam alterações significantes na eficácia. São variáveis ambientais, os componentes do microclima que se encontram ao redor do rebanho e traduzem-se pelas condições climáticas de temperatura, pressão atmosférica, umidade, ventos, radiação térmica e outras variáveis encontradas nas circunvizinhanças do próprio animal.

Apesar do progresso alcançado pelos conhecimentos nessa área de pesquisa, nos países de clima temperado, pouco é conhecido para os de clima tropical, principalmente na resposta de desempenho do rebanho, quando alteradas ou ajustadas algumas das variáveis ambientais, para algumas espécies. Embora sejam conhecidas as variáveis críticas, temperatura e umidade, ainda fica a cargo do produtor avaliar a rentabilidade do investimento no momento de alterar o seu sistema de produção. O produtor, quando investe, o faz à sua conveniência, nem sempre condizente com o conforto exigido pelo animal em questão, para sua performance ideal. Compatibilizar economicidade com fatores estéticos, sanitários e que favoreçam a otimização da produção não é tarefa fácil, nem de todo impossível; é viável, desde que sejam observados os princípios racionais de ambiência.

A ventilação proporciona a renovação do ar dos ambientes, sendo de grande importância para o conforto térmico, bem como para a higiene das edificações, principalmente para o período mais quente e nos locais de regiões de clima quente e úmido.

A renovação do ar dos ambientes proporciona a dissipação de calor e a desconcentração dos vapores, fumaças, poeiras e de poluentes. A ventilação pode ser feita por meios mecânicos, porém vamos aqui abordar apenas a ventilação natural, como um dos meios de controle térmico do ambiente.

A ventilação natural é o deslocamento do ar através do prédio, pelas aberturas, umas funcionando como entrada, e outras como saídas. Assim, as aberturas para ventilação deverão estar dimensionadas e posicionadas para que funcionem ou como entrada ou como saída do ar. O fluxo de ar que entra ou sai da edificação depende da diferença de pressão entre os ambientes interno e externo, da resistência ao fluxo de ar oferecida pelas aberturas, pelas obstruções internas e de uma série de implicações relativas à forma do prédio.

O dimensionamento de um sistema de ventilação natural é difícil, sob o ponto de vista de engenharia, principalmente porque as quantidade, intensidade e direção do vento modificam-se a cada instante. Entretanto, conhecendo-se a velocidade média do fluxo de ventilação, direção principal e as trocas térmicas efetuadas dentro da edificação, é possível, com certa precisão, dimensionar aberturas que promovam o equilíbrio térmico. Naturalmente que são variáveis todas as características térmicas dos materiais de construção, bem como os espaços físicos que limitam o volume de controle do prédio.

OBJETIVOS

São objetivos deste trabalho:

1. Estudar as formas de ventilação natural, por efeito do vento e por efeito térmico.
2. Compor um modelo matemático que descreva o equilíbrio térmico em uma edificação de abrigo para suínos.
3. Validar o modelo matemático para uma edificação específica, à partir de dados climáticos locais.

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. O SUÍNO E A TERMO-REGULAÇÃO

O suíno é um animal homeotérmico. Seu organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante.

O organismo dos homeotérmicos pode ser comparado a uma máquina térmica - sua energia é conseguida através de fenômenos térmicos. A energia térmica produzida pelo organismo animal advém de reações químicas internas, sendo a mais importante a combinação do carbono, produzido no organismo sob a forma de alimentos, com o oxigênio, extraído do ar pela respiração.

Esse processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos é denominado metabolismo.

O organismo através do metabolismo, adquire energia. Tanto o calor produzido como o dissipado dependem da atividade que o animal desenvolve. A troca de calor entre o suíno e seu ambiente é descrito por McLean (1969) [50]. Os valores estão condensados na Fig. 1.

A manutenção da temperatura interna do organismo relativamente constante, em ambientes cujas condições termo-higrométricas são as mais variadas e variáveis, se faz por intermédio de seu aparelho termo-regulador, que comanda a redução ou o aumento das perdas de calor pelo organismo através de alguns mecanismos de controle.

Quando o organismo perde calor para o ambiente - por condução, convecção radiação, transpiração insensível da pele e dos pulmões - apenas o calor produzido pelo metabolismo, compatível com a atividade do animal, sem ocorrer a nenhum mecanismo de termo-regulação, experimenta a sensação de conforto térmico.

A termo-regulação, apesar de ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra, e, por conseguinte, uma queda de produtividade.

Quando as condições ambientais proporcionam perdas de

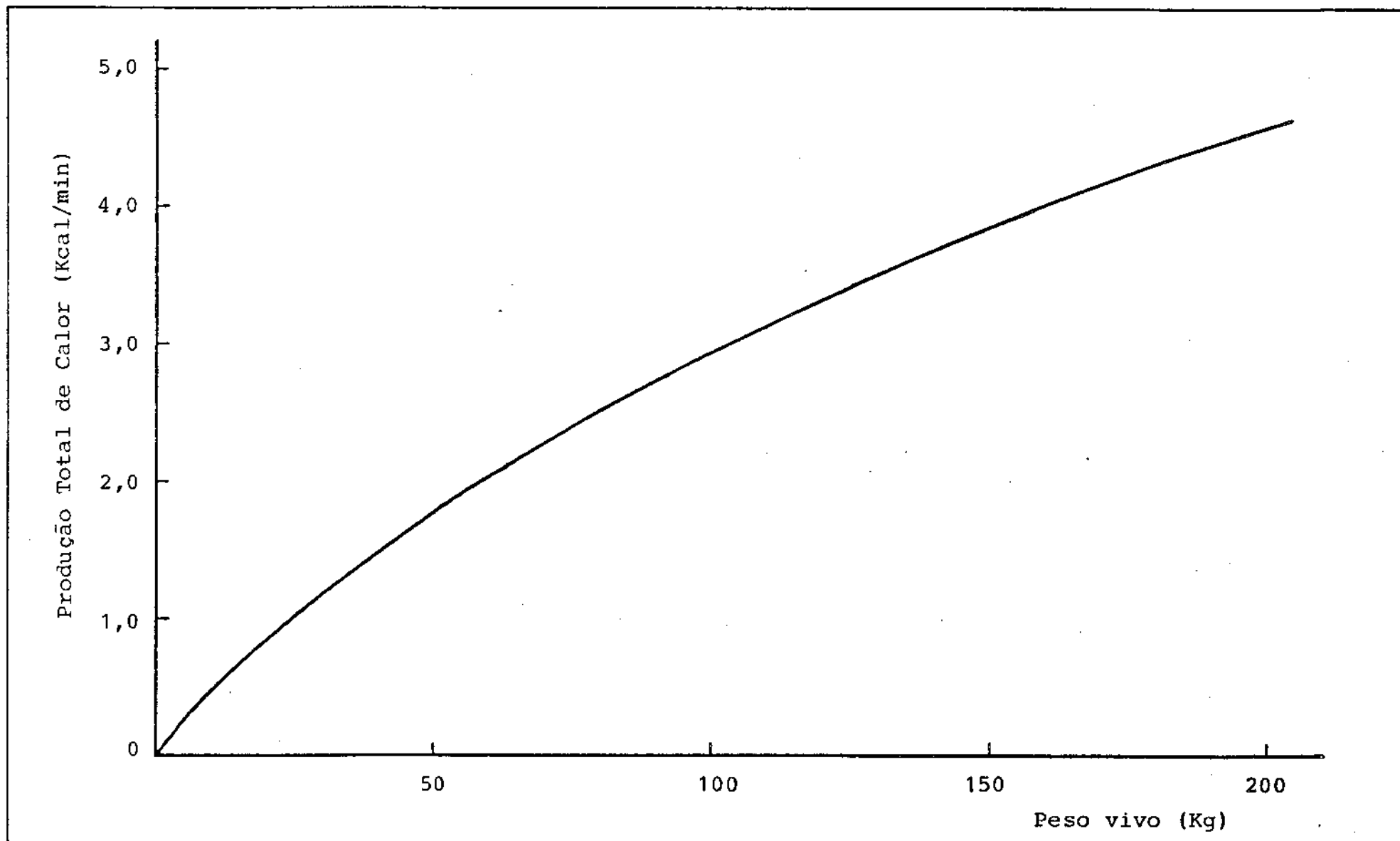


Fig. 1 - Curva da produção total de calor para suínos em diferentes estágios de crescimento (McLean, 1979) [50].

calor do corpo além das necessárias para a manutenção de sua temperatura interna constante, o organismo reage por meio de seus mecanismos automáticos - sistema nervoso simpático - buscando reduzir as perdas e aumentar as combustões internas.

A redução de trocas térmicas entre o animal e o ambiente se faz através do aumento da resistência térmica da pele por meio de vasoconstrição e da ereção dos pêlos. O aumento das combustões internas - termogênese - realiza-se pelo sistema glandular endócrino.

Quando as perdas de calor são inferiores às necessárias para a manutenção de sua temperatura interna constante, o organismo reage por meio de seus mecanismos automáticos - sistema nervoso simpático - proporcionando condições de mais intensa troca de calor entre o organismo e o ambiente e reduzindo as combustões internas. O incremento das perdas de calor para o ambiente se faz por meio da vasodilatação e da queima de gordura.

A redução das combustões internas - termólise - se faz através do sistema glandular endócrino.

O suíno confinado passa por uma fase de fadiga - catabolismo - e por uma fase de repouso - anabolismo. O catabolismo, sob o ponto de vista fisiológico, envolve três tipos de fadiga:

- a) física, muscular, resultante da movimentação;
- b) termo-higrométrica, relativa ao calor ou ao frio;
- c) nervosa, particularmente visual e sonora.

A fadiga física faz parte do processo normal do metabolismo. A fadiga termo-higrotérmica é resultante do trabalho excessivo do aparelho termo-regulador, pela existência de condições ambientais desfavoráveis.

1.1.1. MECANISMOS DE TROCAS TÉRMICAS ENTRE O ANIMAL E O AMBIENTE

Ao efetuar trabalho mecânico, os músculos se contraem. Tal contração produz calor. A quantidade de calor liberado pelo animal será em função do trabalho desenvolvido. Esse calor é dissipado através dos mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente, envolvendo as trocas secas - condução, convecção e radiação - e as trocas úmidas - evaporação. O calor perdido para o ambiente através das trocas secas é denominado calor sensível e é função das diferenças de temperatura entre o corpo e o ambiente. Já o calor perdido para o ambiente através das trocas úmidas é denominado calor latente e envolve mudança de estado de agregação - o suor líquido, passa para o estado gasoso, de vapor, através da evaporação. Assim, o organismo perde, para o ambiente, calor sob duas formas: calor sensível e calor latente (Esmay, 1969) [27].

As trocas de calor por convecção dependem da diferença entre a temperatura do ar e do corpo, e do estado de agitação do ar em contato com o animal.

As perdas de energia representadas pelo calor latente correspondem à dissipação através das perdas de vapor d'água pela respiração, e equivalem ao calor que se libertaria proporcionando a condensação dessa quantidade de vapor d'água que se mantém no ar aumentando o teor de umidade.

Sendo a pele o principal órgão termo-regulador do organismo animal, é por meio dela que se realizam as trocas de calor. A temperatura da pele é regulada pelo fluxo sanguíneo que a percorre - quanto mais intenso o fluxo, mais elevada a temperatura da pele. Ao sentir desconforto térmico, o primeiro mecanismo fisiológico a ser ativado é a regulação do fluxo sanguíneo da camada periférica do corpo, a camada subcutânea, através da regulação vasomotora: vasodilatação e vasoconstrição - reduzindo ou aumentando a resistência térmica dessa camada subcutânea. Mangold et al. [48] estudaram os diversos efeitos da temperatura nos suínos em terminação e acharam como média as temperaturas de 20°C e 25°C ideais para uma performance próxima dos 80% de produtividade.

1.1.2. VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO

As condições de conforto térmico são função de uma série de variáveis, que são as variáveis ambientais. É certo que as condições ambientais que podem proporcionar sensação de conforto térmico em habitantes de clima quente e úmido não são as mesmas que proporcionam sensação de conforto em habitantes de clima quente e seco, e, muito menos, em habitantes de regiões de clima temperado ou frio.

A partir das variáveis climáticas do conforto térmico, e de outras variáveis como tipo de confinamento animal e área por animal, considerando-o aclimado e saudável, vem sendo desenvolvida uma série de estudos que procuram determinar as condições de conforto térmico e os vários graus de conforto ou desconforto. Bond et al. (1952) [9], Mangold et al., (1967) [48] e Nelson et al., (1970) [56], analisam a performance do suíno nos vários estágios de crescimento e apontam as variáveis ambientais que mais interferem na produtividade. As variáveis do conforto térmico são diversas e variando diferentemente algumas delas ou até todas, as condições finais podem proporcionar sensações ou respostas semelhantes ou até iguais. As variáveis ambientais que mais afetam a performance do suíno confinado são de três tipos: física, social e térmica. As de origem física são as que agredem fisicamente os animais como sons, imagens e o espaço em que habitam. As de origem social dizem respeito ao comportamento social do animal confinado, como liderança de grupo e organização social de dominadores e dominados. As de origem térmica são as que estão relacionadas com temperatura ambiente, umidade relativa do ar, movimentação do ar e radiação. Essa matéria é amplamente discutida por Beckett et al., (1964) [7], Bianca et al., (1961) [8] e Hanzen et al., (1960) [33].

1.2. CLIMA E ADEQUAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

1.2.1. ELEMENTOS CLIMÁTICOS E EDIFICAÇÃO

Adequar a edificação ao clima de um determinado local significa construir espaços que possibilitem ao animal condições de conforto. Ao projetista cabe tanto amenizar as sensações de desconforto impostas por climas muito rígidos, tais como os de excessivo calor, frio ou vento, como também propiciar ambientes os quais sejam, no mínimo, tão confortáveis como os espaços ao ar livre em climas amenos, para que altos níveis de produtividade sejam atingidos.

Dentre as propriedades físicas do ar atmosférico que caracterizam as condições climáticas de uma região, pode-se distinguir as que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos. A oscilação diária e anual da temperatura ambiente e umidade relativa, a quantidade de radiação solar incidente, no mínimo nas três épocas típicas do ano: solstício e equinócio, grau de nebulosidade do céu, a predominância de época e sentido dos ventos e índices pluviométricos, são os elementos climáticos mais intervenientes no desempenho térmico da edificação.

Dentre os fatores climáticos, os mais significativos são: a radiação solar, a influência da longitude e da latitude, a influência da altitude e a umidade relativa do ar.

1.2.1.1. RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é uma energia eletro-magnética de onda curta, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela Terra. A maior influência da radiação solar é quanto à distribuição da temperatura no Globo. As quantidades de radiação variam em função da época do ano e da latitude.

Cada parcela que compõe o meio ambiente emite radiação solar difusa, cuja intensidade depende da temperatura e da emissividade. O balanço térmico, em termos de radiação entre o animal e o meio ambiente, depende principalmente dos tipos de exposição do animal à radiação.

A energia radiante é absorvida e convertida em energia calorífica. Nos estudos de tolerância à radiação solar por animais domésticos, são apresentadas características físicas importantes, como a pelagem e cor de pele, por Kelly et al. (1954) [43]. Bond et al., (1969) [19] determinou as cargas de radiação incidentes em animais sombreados e não sombreados, bem como a influência de paredes e outras proteções a radiações, na performance de animais domésticos.

A radiação solar penetra na edificação como calor. O conceito da combinação do calor radiante com a troca de calor por convecção, resultando num problema de convecção simples, é desenvolvido por Timmons (1976) [67]. O autor descreve uma temperatura chamada de sol-ar, cuja quantificação e qualificação advém do calor radiante e de ventilação, e que é levada em conta nos cálculos de cargas térmicas na edificação.

A quantidade de radiação solar que atinge o solo depende também da porcentagem de recobrimento do céu e da espessura das nuvens. A nebulosidade, se for suficientemente espessa e ocupar a maior parte do céu, pode formar uma barreira que impede a penetração da radiação solar. Do mesmo modo, pode evitar que o calor desprendido do solo à noite se dissipe na atmosfera.

1.2.1.2. LONGITUDE

A posição de uma localidade A sobre a Terra pode ser especificada a partir de sua latitude e longitude. A longitude é medida com relação ao meridiano de Greenwich. Este meridiano é, por definição, o semi-círculo que passa pelos polos e pelo observatório de Greenwich, situado na Inglaterra. As longitudes são medidas de 0° a 180° a esquerda ou à direita do meridiano de Greenwich.

Tanto a longitude como a latitude, definida a seguir, de terminam os valores das variáveis ligadas à irradiação solar de um determinado local geográfico.

1.2.1.3. LATITUDE

A latitude é medida a partir do Equador, imaginando -se que cada ponto da superfície da Terra esteja contido em um sem-círculo paralelo ao Equador e distante deste segundo um ângulo definido pela altura do círculo. Mede-se a latitude de 0° a 90° e se dirá que ela é Norte, se estiver acima da linha do Equador e Sul se estiver abaixo.

Se o eixo imaginário que une os polos fosse perpendicular ao plano da elíptica, que é o plano de translação da Terra ao redor do sol, cada ponto situado sobre a sua superfície veria o Sol, ao longo do ano, numa mesma posição. Mas sendo este eixo inclinado aproximadamente $23\ 1/2^{\circ}$ em relação ao normal, o Sol, aparentemente percorrerá uma região do céu correspondente, na Terra, àquela compreendida entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, com uma duração de seis meses em cada sentido.

Assim, no dia 21 de junho às 12 horas, o Sol atingirá perpendicularmente o Trópico de Câncer, ponto este máximo de seu percurso no hemisfério norte, e no dia 22 de dezembro atingirá, também às 12 horas, o Trópico de Capricórnio, limite de sua trajetória no hemisfério sul. Estes dois dias típicos são denominados de solstícios, sendo de inverno, se o ponto geográfico do observador situar-se em hemisfério oposto ao sol, e de verão, se estiver no mesmo hemisfério.

1.2.1.4. UMIDADE RELATIVA ATMOSFÉRICA

A umidade atmosférica é consequência da evaporação das águas e transpiração das plantas. Como definição de umidade relativa absoluta tem-se que esta é o peso do vapor de água contido em uma unidade de volume de ar (g/m^3), e a umidade relativa é a relação da umidade absoluta, com a capacidade máxima do ar, àquela temperatura de reter vapor de água.

Isto equivale a dizer que a umidade relativa é uma porcentagem da umidade absoluta de saturação.

A umidade relativa varia em função da temperatura do ar, diminuindo com o aumento desta. Quando o ar, contendo uma certa quantidade de água, é esfriado, sua capacidade de reter água é reduzida, aumentando a umidade relativa até se tornar saturado. A temperatura na qual este ar se satura é denominada de temperatura de ponto de orvalho. Qualquer esfriamento abaixo desta temperatura causa condensação de vapor.

A condensação do vapor d'água, em forma de chuva, provém, em grande parte, de massas de ar úmido em ascensão, esfriadas rapidamente por contato com massas de ar mais frias.

A umidade relativa do ar influencia o conforto animal principalmente se altos valores de umidade relativa são associados a altas temperaturas ambientes, segundo Hinckle et al. (1974) [37].

O efeito de valores de umidade relativa altos ocorrendo ao mesmo tempo que temperaturas elevadas em suínos confinados, foi estudado por Morrison et al. (1969) [52]. Os resultados mostraram que o ganho de peso e consumo de alimentos reduziu com valores de umidade relativa de 80% em temperaturas variando de 22°C a 33°C. Os valores de conversão alimentar são compatíveis com os resultados obtidos por Bond et al. (1966) [16], bem como a análise sobre os valores de exaustão no sistema respiratório dos animais, submetidos a essas condições ambientais.

1.2.1.5. MOVIMENTAÇÃO DO AR - VENTOS

A nível do Globo, o determinante principal das direções e características dos ventos é a distribuição sazonal das pressões atmosféricas. A movimentação das pressões atmosféricas pode ser explicada, entre outros fatores, pela variação do aquecimento e esfriamento das terras e mares, do gradiente da temperatura no Globo e pelo movimento de rotação da Terra.

Denomina-se pressão atmosférica a ação exercida pela massa de ar que existe sobre as superfícies. A variação de temperatura do ar no Globo provoca deslocamentos de massas de ar, pois se a Terra não girasse sobre si mesma, o movimento do ar seria constante e ascendente dos polos para o Equador. O movimento de rotação da Terra provoca uma força desviadora destas direções, denominada de força de Coriolis (Koenigsberger et al., 1977) [44]. Sobre cada hemisfério há cintos de alta e baixa pressão atmosférica, podendo ser permanentes ou cíclicos. O cinto equatorial é a principal região de baixa pressão, o qual é mantido durante todo o ano. Nas latitudes tropicais de ambos os hemisférios há cintos de alta pressão, os quais se deslocam no verão na direção dos polos e no inverno para o Equador. As regiões polares são regiões de alta pressão, permanentes, mas menores do que a dos cintos subtropicais.

Como resultado, têm-se três cintos globais de ventos em cada hemisfério: os alísios, os de oeste e os polares, representados na Fig. 2. Os ventos alísios, os quais são os mais importantes para o Brasil, são originários das regiões subtropicais de alta pressão, nos dois hemisférios, situados entre 30° e 35° de latitude, dirigindo-se para SO no hemisfério norte e NO no hemisfério sul, formando o cinto de calmas equatoriais de baixa pressão, ao longo do Equador. Os ventos de oeste têm suas origens nas regiões subtropicais, mas se deslocam através das regiões sub-árticas de baixa pressão. Os ventos polares são formados pelas massas de ar frio nas regiões polares e árticas de alta pressão.

1.3. ADEQUAÇÃO DA EDIFICAÇÃO AOS CLIMAS

Nas regiões predominantemente quentes no Brasil, a edificação deve contribuir no sentido de minimizar a diferença entre as temperaturas externas e internas do ar.

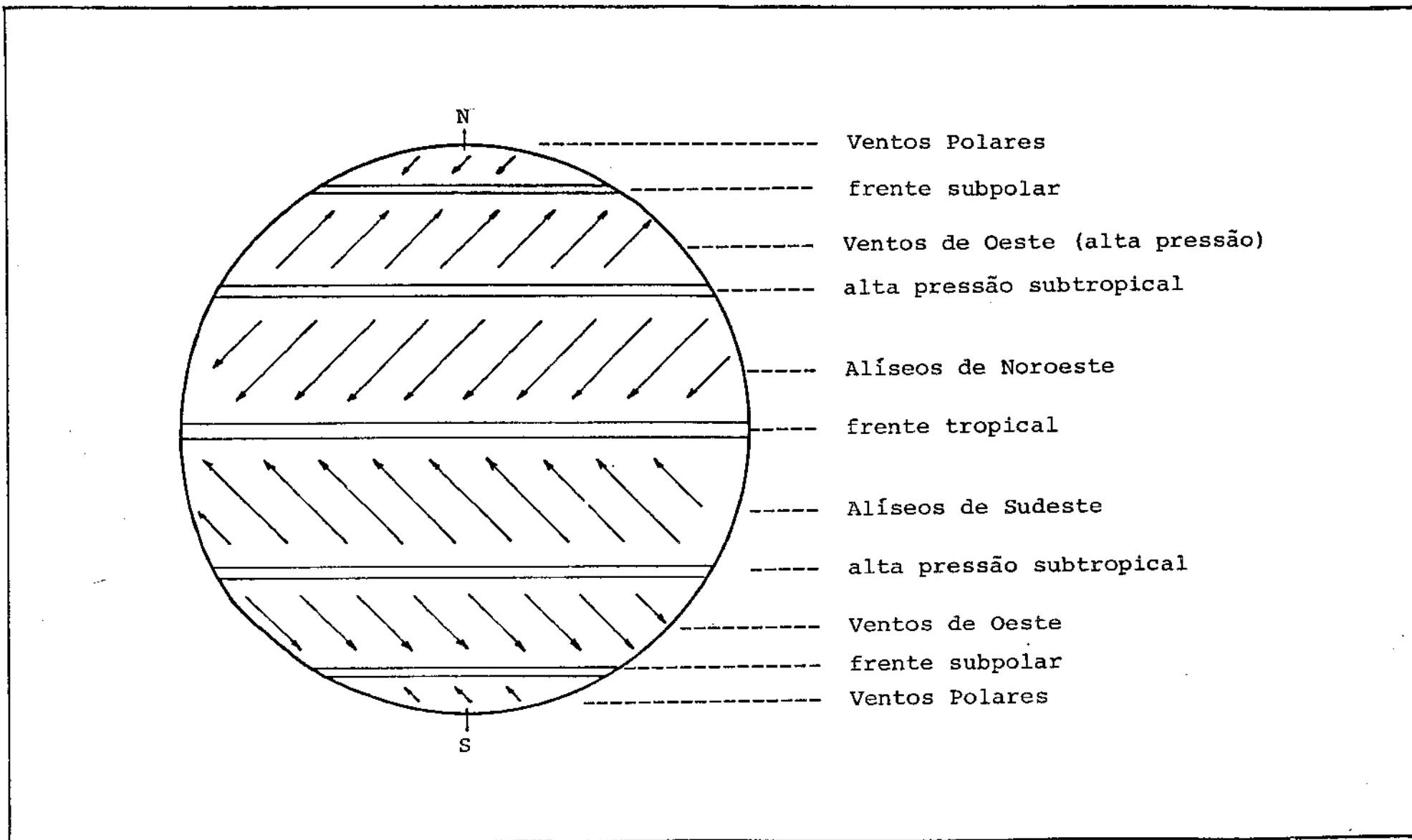


Fig. 2 - Diagrama dos ventos no globo terrestre (Koenigsberger et al.)

[44]

Um desempenho térmico satisfatório da edificação com a utilização apenas de recursos naturais pode não ser possível em condições climáticas muito rígidas. Mesmo nesses casos devem-se procurar propostas que maximizem o desempenho térmico natural, pois assim pode-se reduzir a potência necessária dos equipamentos de refrigeração ou aquecimento, visto que a quantidade de calor a ser retirada ou fornecida ao ambiente, resultará menor.

Há também a eventual possibilidade de não ser preciso o uso destes equipamentos, nas épocas do ano as quais as condições termo-climáticas não sejam tão severas.

Do ponto de vista do desempenho térmico da edificação, podem-se agrupar algumas classificações climáticas encontradas no Brasil, do mapa Brasil - Climas, da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1978) [49], de modo a obter apenas dois grupos distintos; climas quente e seco e úmido, conforme segue:

- quente úmido	quente:	super úmido
		úmido
	subquente:	semi-úmido
		úmido
- quente seco	quente:	semi-úmido
		semi-árido brando
	subquente:	semi-árido mediano
		a muito forte
	subquente:	semi-árido brando

A grande diferenciação que o grau de umidade acarreta nas condições climáticas de um local é quanto à amplitude da temperatura diária. Isto equivale a dizer que quanto mais seco for o clima, maiores serão suas temperaturas extremas (mínimas e máximas).

Este fenômeno se dá em função das partículas de água

em suspensão no ar terem a capacidade de receber calor do sol e se aquecerem.

Quanto mais úmido estiver o ar, maior será a quantidade de água em suspensão. Estas partículas, além de se aquecerem pela radiação solar que recebem, também funcionam de dia, como uma barreira da radiação solar que atinge o solo e, de noite, ao calor dissipado pelo solo.

Nesse sentido, um clima mais seco recebe mais radiação solar que num mais úmido.

À noite, a temperatura do ar é mais baixa do que a do solo, e este então tenderá a entrar em equilíbrio térmico dissipando o calor armazenado durante o dia. Se o ar for úmido, aquelas partículas de água em suspensão que de dia armazenaram calor vão além de dificultar a dissipação do calor do solo, também devolver ao ar o calor retido por elas.

Parte deste calor será devolvido na direção do solo, e a outra parte para a atmosfera. Assim, as temperaturas noturnas do ar vão resultar não muito diversas das diurnas. Já em um clima quente e seco, o solo pode perder este calor armazenado durante o dia com muito mais facilidade, pois não terá muitas partículas de água em suspensão agindo como barreiras térmicas, e do mesmo modo, também o calor adicional transmitido por estas partículas de água não será significativo. Isto vai tornar a temperatura diurna bastante afastada da noturna, ou seja, com uma grande amplitude térmica.

1.3.1. EDIFICAÇÃO EM CLIMA QUENTE E SECO

As diferenças quanto à umidade atmosférica vão gerar partidos distintos em função da conseqüente variação da temperatura diária a qual basicamente definirá as vantagens ou não da ventilação interna. A ventilação não será útil quando o vento

externo estiver em um mesmo instante ou mais frio ou mais quente que a temperatura do ar interno.

Nesse sentido, podem-se adotar partidos de projetos que tenham, primordialmente, uma inércia elevada, a qual acarretará um grande amortecimento do calor recebido e um atraso significativo no número de horas que este calor levará para atravessar os vedos da edificação. Nesse sentido é possível obter-se um desempenho térmico tal do espaço construído, de modo que o calor que atravessa os vedos só atinja o interior da edificação à noite, quando a temperatura externa já está em declínio acentuado, e por isto, parte do calor armazenado pelos materiais durante o dia será devolvido para fora, não penetrando na edificação.

De acordo com Randall (1975) [60], outro fator a se considerar no projeto é o tamanho das aberturas. Já que não há conveniência de ventilação, podem-se ter pequenas aberturas, o que também facilitará a proteção das mesmas quanto à excessiva radiação solar.

Quanto à proteção da radiação solar, são vantajosas soluções arquitetônicas onde as construções sejam as mais compactas possíveis, para possibilitar com que menores superfícies fiquem expostas, tanto à radiação quanto ao vento, o qual normalmente, em clima seco, traz consigo poeira em suspensão.

Em climas quentes secos, a vegetação deve funcionar como barreiras aos ventos, o que também reteria parte da poeira.

De acordo com Morrison et al. (1968) [52], o uso da água como elemento de alteração de micro-climas, também pode ser incorporado às construções, principalmente se localizada nos pátios. Se as condições em planta destes pátios foram tais que permitam que as paredes laterais opostas se auto sombreiem em partes do dia, é possível criar condições micro-climáticas, neste espaço, bastante agradáveis, já que a maior umidade do ar resultará também em melhores condições térmicas.

1.3.2. EDIFICAÇÃO EM CLIMA QUENTE E ÚMIDO

Com relação ao clima quente e úmido, o partido global das edificações é inverso. Como a variação da temperatura noturna não é tão significativa que cause sensação de frio, mas suficiente para provocar alívio térmico, a ventilação noturna é desejável.

Deve-se, então, prever aberturas suficientemente grandes para permitir a ventilação nas horas do dia em que a temperatura externa está mais baixa que a interna. Do mesmo modo, deve-se proteger as aberturas da radiação solar, mas não fazer destas proteções obstáculos aos ventos, segundo Croiset (1972) [26].

Nos climas quentes e úmidos, as construções não devem ter uma inércia muito grande, pois isto dificulta a retirada do calor interno armazenado durante o dia, prejudicando o resfriamento da construção quando a temperatura externa noturna está mais agradável que internamente. Nesse sentido, deve-se prever uma inércia de média a leve, porém com elementos isolantes nos vedos, para impedir que grande parte do calor da radiação solar recebida pelos vedos atravesse a construção e gere calor interno em demasia.

A maioria da literatura consultada sugere que a cobertura deve seguir o mesmo tratamento dos vedos, isto é, ser de material com inércia média, mas com elementos isolantes, ou espaços de ar ventilados, os quais têm como característica retirar o calor que atravessa as telhas e que deste modo penetrará nos ambientes.

Em climas úmidos a vegetação não deve impedir a passagem dos ventos, o que dará limitações quanto à altura mínima das copas, de modo a produzirem sombra, mas não servirem como barreiras à circulação do ar.

CAPÍTULO 2

TEORIA DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

Para a compreensão do comportamento térmico das edificações é necessária uma base conceitual de fenômenos de trocas térmicas. Aliás, esse conhecimento permite a melhor compreensão do clima e do relacionamento do organismo animal com o meio ambiente térmico. Para que haja troca de calor num sistema, é necessário que haja variação da energia possuída pelos corpos que o compõem. Toda troca de calor envolve uma transferência de energia. Quando essa transferência de energia implica em variação da temperatura dos corpos, o calor envolvido é denominado calor sensível. Corpos que estejam a temperaturas diferentes trocam calor, os mais "quentes" perdendo e os mais "frios" ganhando. Porém, essa transferência de energia pode ter o seu efeito no sistema representado por uma mudança de estado de agregação, sem ocorrer mudanças de temperatura, sendo que o calor envolvido nesse mecanismo de troca é denominado calor latente. No âmbito do conforto termo-higrométrico, o elemento que proporciona as trocas térmicas por mudança de estado de agregação é a água, e apenas nos casos de passar do estado líquido para o estado de vapor e do estado de vapor para o estado líquido.

2.1. MECANISMOS DE TROCAS TÉRMICAS SECAS

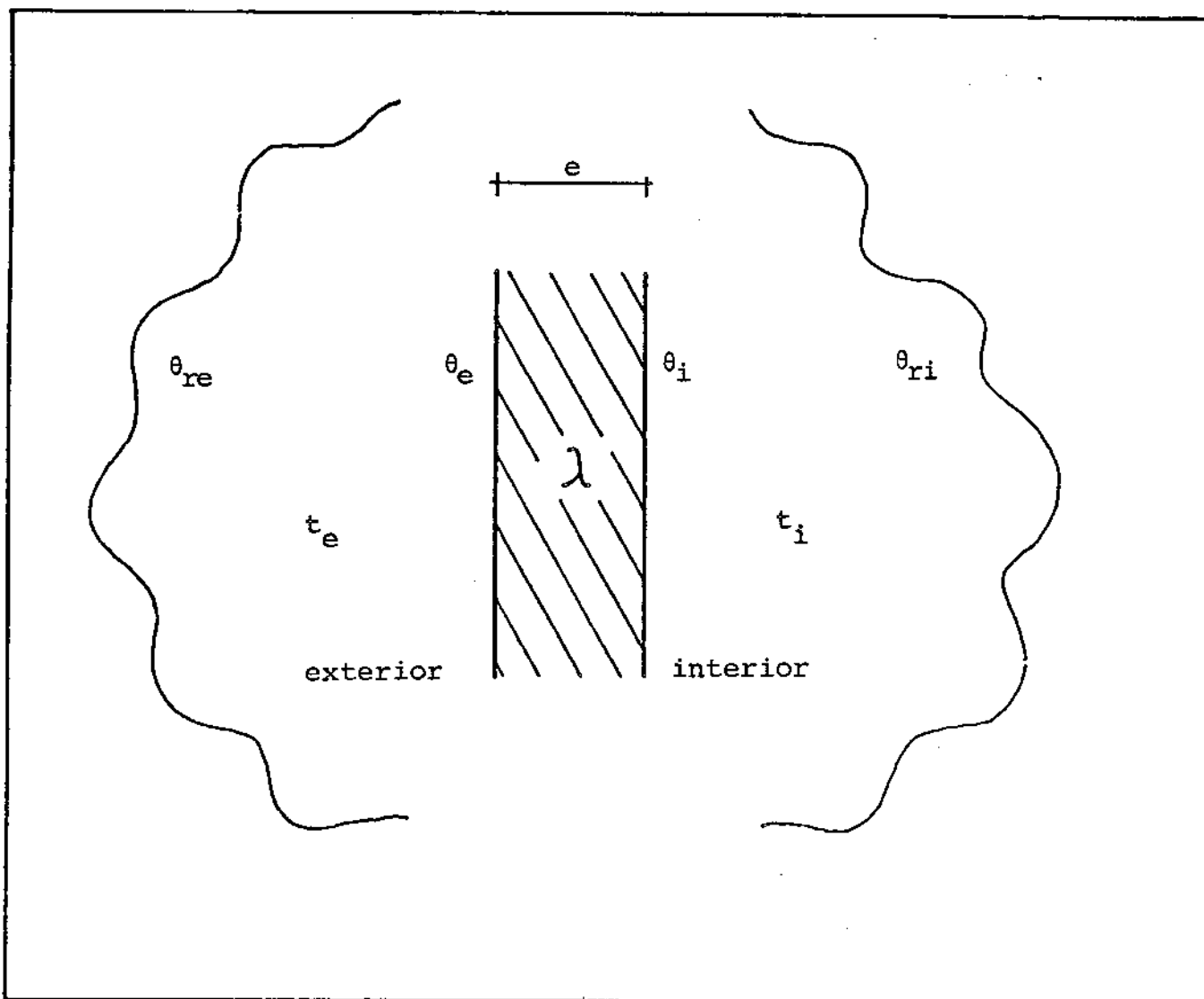
As trocas de calor que envolvem variação de temperatura são denominadas "trocas secas", em contraposição à denominação de "trocas úmidas", em relação às trocas térmicas que envolvem a água. Os mecanismos de trocas secas são: convecção, radiação e condução (Kreith, 1966) [45].

Considerando o esquema apresentado na Fig. 3, onde está representada uma parede de espessura e , que separa um ambiente interno de um ambiente externo, as temperaturas do ar e das superfícies são denominadas como a seguir:

θ_e - temperatura superficial externa da parede,

θ_i - temperatura superficial interna da parede,

t_e - temperatura do ar exterior,



θ_e - temperatura superficial externa da parede ($^{\circ}\text{C}$),
 θ_i - temperatura superficial interna da parede ($^{\circ}\text{C}$),
 t_e - temperatura do ar exterior ($^{\circ}\text{C}$),
 t_i - temperatura do ar interior ($^{\circ}\text{C}$),
 θ_{re} - temperatura radiante do entorno exterior (temperatura superficial) ($^{\circ}\text{C}$),
 θ_{ri} - temperatura radiante do entorno interior (temperatura superficial) ($^{\circ}\text{C}$),
 λ = representa o coeficiente de condutividade do calor do material da parede ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$).

Fig. 3 - Esquema explicativo dos mecanismos de trocas térmicas secas em uma edificação

- t_i - temperatura do ar interior,
 t_{re} - temperatura radiante do entorno exterior (temperatura superficial),
 θ_{ri} - temperatura radiante do entorno interior (temperatura superficial).

A partir da Fig. 3, os três mecanismos de trocas se cas serão explicadas a seguir.

2.1.1. CONVECÇÃO

Convecção é a troca de calor entre dois corpos, sendo um deles um sólido e o outro um fluido (líquido ou gás).

Para o caso de um elemento da construção, o sólido estaria representado por uma parede, por exemplo, e o fluido, pelo ar. Se a temperatura da superfície da parede - θ_e ou θ_i - é diferente da temperatura do ar do recinto por ela limitado - t_e ou t_i - haverá troca de calor por convecção. Para generalizar, a temperatura da superfície da parede será denominada apenas θ e a temperatura do ar, t , ficando esclarecido que as referências são feitas sempre ao mesmo recinto, sendo portanto ou exterior ou interior.

Supondo que a temperatura da superfície da parede (θ) é mais elevada que a temperatura do ar (t) em contato com essa superfície - $\theta > t$ -, o ar, ao entrar em contato com essa superfície que está a uma temperatura superior à sua, se aquece, se expande, torna-se menos denso e sobe, sendo o espaço ocupado pelo ar que está à temperatura t . Desencadeia-se um processo, dinâmico, denominado convecção natural. A convecção natural, que só é função de Δt , da posição da superfície e do sentido de fluxo, cessa apenas quando $\theta = t$.

O fluxo de calor envolvida nesse mecanismo de troca - convecção - será:

$$q_c = h_c (t - \theta) \dots\dots\dots (1) \quad (W/m^2)$$

onde:

q_c - fluxo de calor por convecção (W/m^2),

h_c - coeficiente de trocas térmicas por convecção ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$),

t - temperatura do ar ($^\circ C$),

θ - temperatura da superfície do sólido (parede) ($^\circ C$),
sendo que $t > \theta$ ou $\theta > t$.

As trocas de calor por convecção são ativadas pela velocidade do ar, quando se trata de parede vertical. Nesse caso, mesmo que o movimento do ar seja advindo de causas naturais, como o vento, o mecanismo de troca entre a superfície e o ar passa a ser considerado convecção forçada.

No caso de superfícies horizontais, o sentido do fluxo desempenha importante papel, pois quando o fluxo é ascendente, há coincidência do sentido do fluxo com o natural deslocamento ascendente das massas de ar aquecidas, enquanto que, no caso de fluxo descendente, o ar, aquecido pelo contato com a superfície, encontra nela mesma uma barreira para sua ascensão, dificultando a convecção - seu deslocamento e sua substituição por nova camada de ar à temperatura inferior à sua.

Para h_c , no caso de convecção natural, são adotados os seguintes valores:

- para superfície horizontal, fluxo descendente

$$h_c = 1,2 \quad (W/m^2 \text{ } ^\circ C)$$

- para superfície vertical

$$h_c = 4,7 \quad (W/m^2 \text{ } ^\circ C)$$

- para superfície horizontal, fluxo ascendente

$$h_c = 7 \quad (\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C})$$

2.1.2. RADIAÇÃO

Radiação é o mecanismo de troca de calor entre dois corpos através da natureza eletro-magnética que caracteriza a onda de calor. Não há necessidade de meio para propagação, acontecendo mesmo na ausência de meio ou vácuo (Kelly et al. 1954) [43].

O fluxo de calor envolvido nesse mecanismo de troca será:

$$q_r = h_r (\theta - \theta_r) \dots \dots \dots (2) \quad (\text{W/m}^2)$$

onde:

q_r - fluxo de calor por radiação (W/m^2),

h_r - coeficiente de trocas térmicas por radiação ($\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$),

θ - temperatura da superfície da parede considerada ($^\circ\text{C}$),

θ_r - temperatura de radiação de contorno ($^\circ\text{C}$).

O coeficiente h_r é um parâmetro simplificado, que só é válido em condições convencionalmente simplificadas, sendo admitido o seguinte:

- o ar ambiente contíguo ao elemento da construção representa o conjunto dos elementos com os quais as trocas por radiação se processam, e todos esses elementos estarão, ao longo do dia, à mesma temperatura do ar, ou seja:

$$\theta_{re} = \bar{\theta}_{re} = t_e \quad (^\circ\text{C})$$

$$e \quad \theta_{ri} = \bar{\theta}_{ri} = t_i \quad (^\circ\text{C}).$$

O coeficiente h_r depende principalmente da emissividade de ϵ da superfície. O fluxo de calor emitido por uma superfície, por radiação, será função da sua emissividade, ϵ , da potência quarta de sua temperatura - tomada em graus absolutos, Kelvin - e da constante de Stefan e Boltzmann ($5,7 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ h}^\circ\text{K}^4$):

$$q_r = 5,7 \cdot \epsilon \cdot \left[\frac{T}{100} \right]^4 \quad \dots\dots\dots (3) \quad (\text{W/m}^2)$$

Para o caso de dois corpos que troquem calor por radiação, o fluxo de calor envolvido nesse mecanismo de troca será:

$$\Delta q_r = 5,7 \cdot \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} \cdot F \cdot \left[\frac{T_1}{100} - \frac{T_2}{100} \right]^4 \quad \dots\dots (4)$$

sendo F fator de forma, um número sem dimensão, no máximo igual a 1, e que é função do grau de envolvimento de uma superfície pela outra e que pode ser avaliado por meio do ângulo sólido sob o qual essa superfície "vê" a outra, expresso como uma porcentagem do envolvimento total. A emissividade pode ser expressa em termos de emissividade relativa (ou efetiva) ϵ_r :

$$\epsilon_r = \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

A expressão do fluxo pode ser escrita como a seguir:

$$\Delta q_r = 5,7 \cdot \epsilon_r \cdot F \cdot \frac{(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)}{10^8} \cdot (T_1 - T_2) \quad , \quad (6)$$

sendo que:

$$5,7 \cdot E \cdot F \cdot \frac{(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)}{10^8} = h_r, \dots\dots\dots (7)$$

em $W/m^2 \text{ } ^\circ K$ ou $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.

Então,

$$\Delta q_r = h_r (T_1 - T_2) = h_r (t) \dots\dots\dots (8) \quad (W/m^2).$$

Por ser h_r função de tantas variáveis, deve ser calculada segundo as condições específicas de cada caso. A emissividade expressa a capacidade que um corpo, de determinado material, tem de emitir calor.

2.1.3. CONDUÇÃO

Condução é a troca de calor entre dois corpos que se tocam ou mesmo partes do corpo que estejam a temperaturas diferentes. No que se refere à Fig. 4, $\theta_e \neq \theta_i$.

O fluxo de calor envolvido nesse mecanismo de troca será:

$$q_{cd} = \frac{\lambda}{e} (\theta_e - \theta_i) \dots\dots\dots (9) \quad (W/m^2)$$

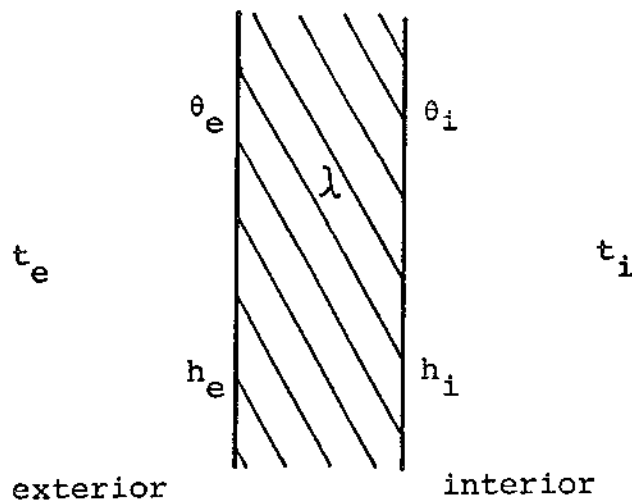
Como $e/\lambda = r$, sendo r a resistência térmica específica da parede ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$):

$$q_{cd} = \frac{\Delta t}{r} \dots\dots\dots (10) \quad (W/m^2)$$

onde:

e - espessura da parede (m),

λ - coeficiente de condutividade térmica do material ($W/m \text{ } ^\circ C$).



- θ_e = temperatura superficial externa da parede ($^{\circ}\text{C}$),
 θ_i = temperatura superficial interna da parede ($^{\circ}\text{C}$),
 t_e = temperatura do ar exterior ($^{\circ}\text{C}$),
 t_i = temperatura do ar interior ($^{\circ}\text{C}$),
 h_e = coeficiente de condutância térmica superficial externa
 ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$),
 h_i = coeficiente de condutância térmica superficial interna
 ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$).
 λ = coeficiente de condutividade térmica do material ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)

Fig. 4 - Esquema explicativo dos coeficientes de condutância térmica superficial

O coeficiente de condutibilidade térmica do material - λ - define-se como sendo o fluxo de calor que passa, na unidade de tempo, através da unidade de área de uma parede com espessura unitária e dimensões suficientemente grandes para que fique eliminada a influência de contorno, quando se estabelece, entre os parâmetros dessa parede, uma diferença de temperatura unitária (Croiset, 1972 [26]).

O coeficiente λ do material depende de:

- densidade do material - a matéria é sempre muito mais condutora que o ar contido em seus poros;
- natureza química do material - os materiais amorfos são geralmente menos condutores que os cristalinos;
- a umidade do material - a água é mais condutora que o ar.

Por outro lado, o coeficiente λ varia com a temperatura, porém, para as faixas de temperatura correntes na construção, pode ser considerado como uma constante característica de cada material.

2.2. MECANISMOS DE TROCAS TÉRMICAS ÚMIDAS

As trocas térmicas que advêm de mudança de estado de agregação da água, do estado líquido para o estado de vapor e do estado de vapor para o estado líquido, são denominadas trocas úmidas, cujos mecanismos são: evaporação e condensação.

2.2.1. EVAPORAÇÃO

Evaporação é a troca térmica úmida proveniente da mudança do estado líquido para o estado gasoso. Para ser evaporada, passando para o estado de vapor, a água necessita de um certo dispêndio de energia (Kreith, 1966) [45].

A velocidade da evaporação é função do estado higrométrica do ar e de sua velocidade. A uma determinada temperatura, o ar não tem capacidade de conter senão uma certa quantidade de vapor d'água, inferior ou igual a um máximo denominado peso de vapor saturante.

A diferença entre o peso de vapor saturante e o peso de vapor contido no ar representa o que se denomina de poder secante do ar.

A velocidade da evaporação é aproximadamente proporcional ao poder secante. A velocidade da evaporação será tanto maior quanto mais quente e mais seco for o ar.

A evaporação é um mecanismo de troca térmica que possibilita ao organismo perder calor latente, podendo representar um fator de contorno termo-higrométrico em climas úmidos, desde que as condições sejam propícias.

2.2.2. CONDENSAÇÃO

Condensação é a troca térmica úmida proveniente da mudança do estado gasoso do vapor d'água contido no ar para o estado líquido.

A condensação é acompanhada de uma dissipação de energia.

Quando o ar, saturado de vapor d'água entra em contato com uma superfície cuja temperatura está abaixo da do seu ponto de orvalho, o excesso de vapor se condensa sobre a superfície, no caso dela ser impermeável - condensação superficial -, ou pode condensar-se no interior da parede, caso haja condições de porosidade.

A condensação superficial se apresenta como um problema no caso de paredes e principalmente de coberturas de baixa resistência térmica e será função da temperatura e do grau higrométrico do ar interior e da temperatura do ar externo, assim como da velocidade do ar.

Um meio para evitar a condensação superficial consiste na eliminação do vapor d'água pela ventilação, um outro consiste em imprimir ao elemento da construção uma resistência térmica R adequada, que pode ser calculada através da expressão:

$$R = \frac{t_i - t_e}{t_i - t_o} \cdot \frac{1}{h_i} \dots\dots\dots (11) \quad (\text{m}^2\text{°C/W})$$

onde:

t_i - temperatura do ar interno (°C),

t_e - temperatura do ar externo (°C),

t_o - temperatura do ponto de orvalho relativa a t_i (°C),

h_i - coeficiente de condutância térmica superficial interna ($\text{W/m}^2\text{°C}$).

2.3. CONDUTÂNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL

A condutância térmica superficial engloba as trocas térmicas que se dão à superfície da parede. O coeficiente de condutância térmica superficial expressa as trocas de calor por convecção e por radiação.

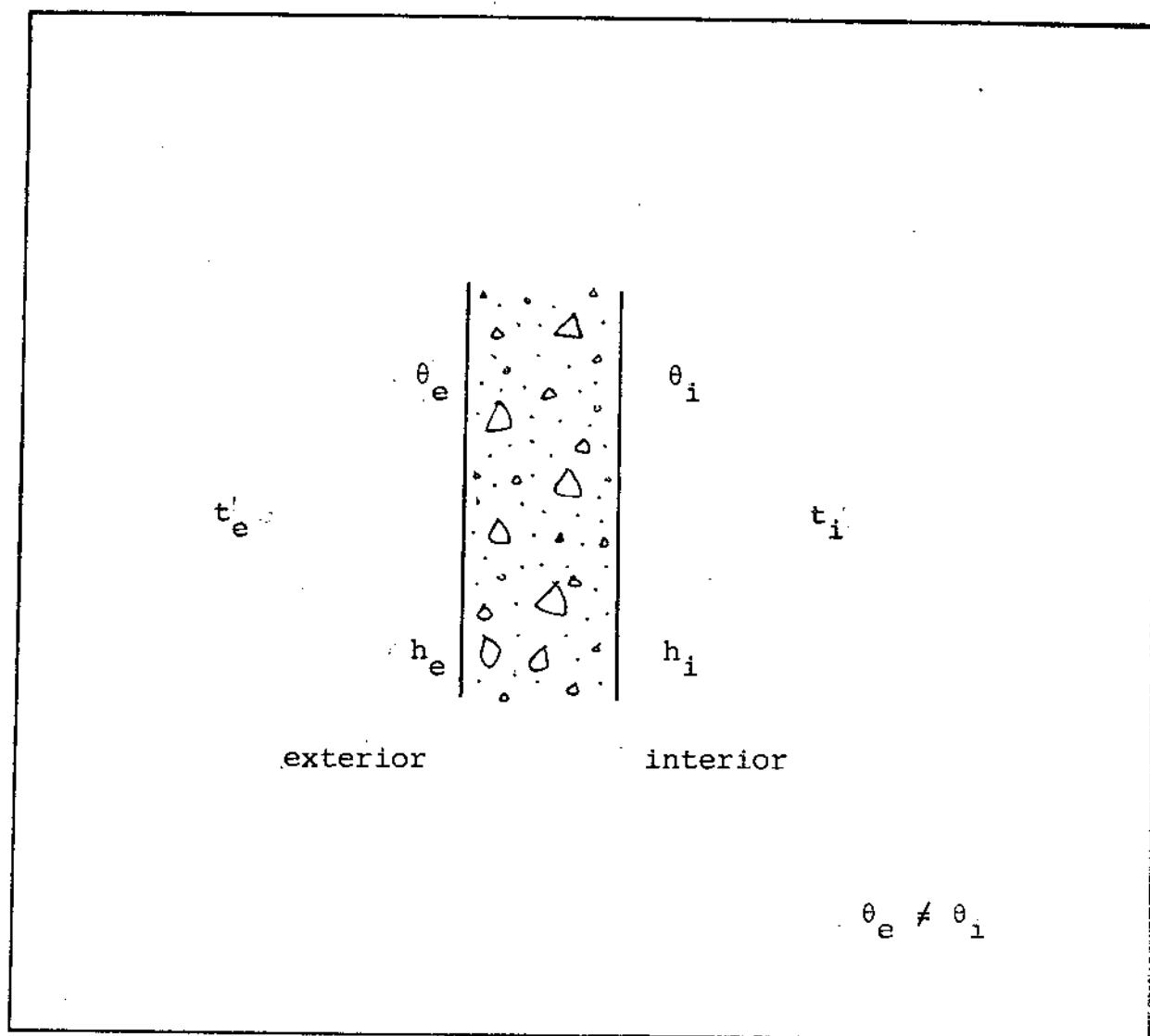


Figura 5 - Esquema explicativo para determinação da resistência térmica

Assim, considerando a Fig. 5 , onde se toma uma lâmina que separa dois ambientes, um externo e outro interno, havendo condições relativas às diferenças de temperatura, as trocas térmicas superficiais poderão ser expressas através dos coeficientes de condutância térmicas superficiais:

$$h_c + h_r = \begin{cases} h_e - \text{coeficiente de condutância térmica superficial externa (W/m}^2\text{°C)}, \\ h_i - \text{coeficiente de condutância térmica superficial interna (W/m}^2\text{°C)}. \end{cases}$$

Também os coeficientes h_e e h_i são parâmetros simplificados, válidos para condições convencionalmente simplificadas admitidas para h_r .

Se h_e e h_i são coeficientes de condutância térmica superficiais, as resistências térmicas superficiais serão $1/h_e$ e $1/h_i$, externa e interna, respectivamente.

As tabelas do anexo 2 apresentam valores de condutâncias e resistências térmicas superficiais para paredes externas e internas, consideradas de materiais correntes e sujeitas a velocidades do ar de 2m/s para superfícies externas e 0,5m/s para superfícies internas.

A Tabela 8 , anexo 2 , apresenta a variação da condutância térmica superficial externa, h_e , segundo a velocidade do vento, para casos especiais e conhecidos, posto que há um consenso em se adotar 2m/s, ou, no máximo, 3m/s, para a velocidade do ar externo, em se considerando o meio urbano.

Os espaços de ar confinados, portanto não ventilados, entre duas lâminas paralelas, apresentam resistência térmica que será função dos seguintes fatores:

- a) Espessura da lâmina de ar - a resistência térmica de uma lâmina de ar varia, para uma parede vertical, segundo o gráfico apresentado na Fig. 6 .

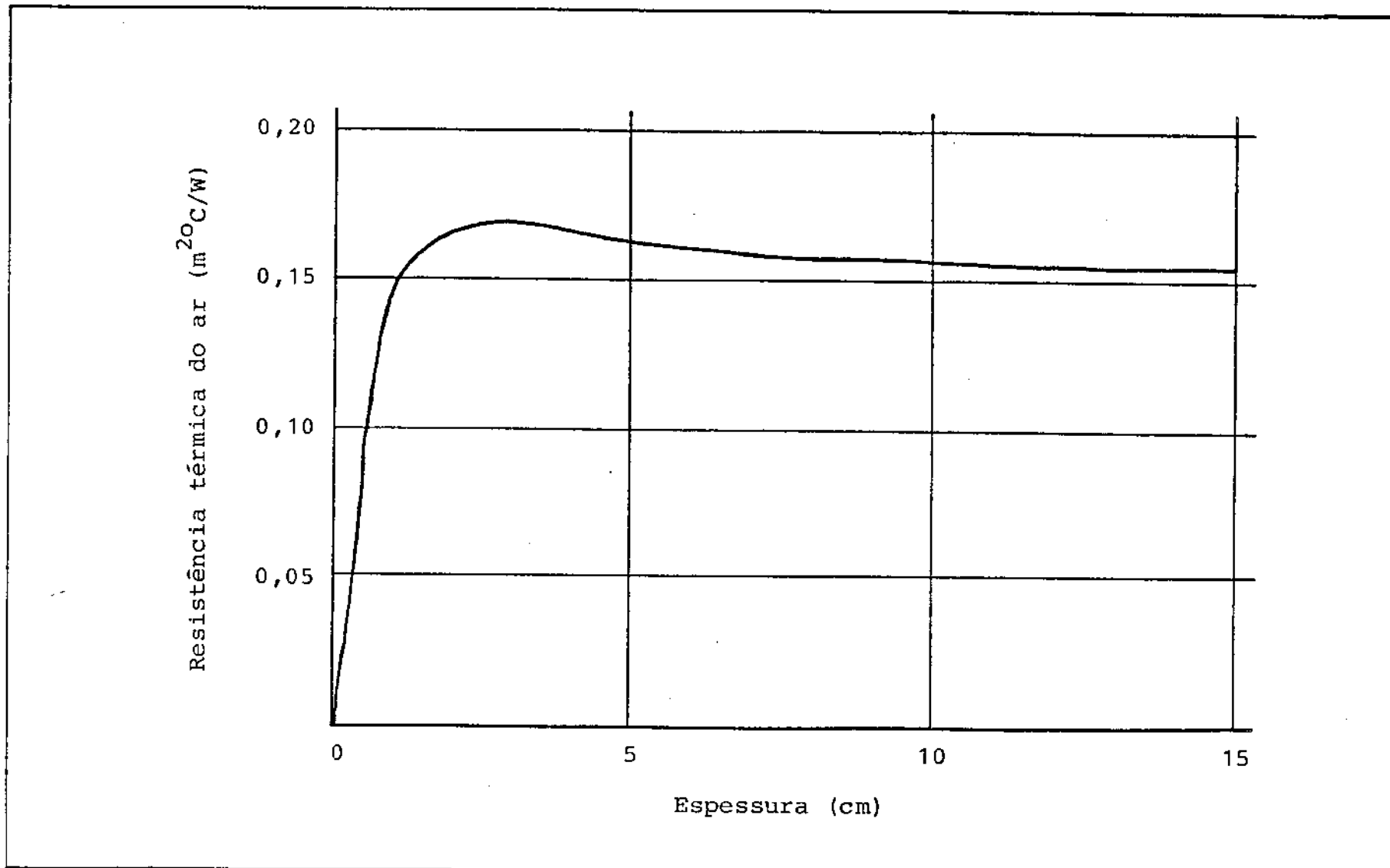


Fig. 6 - Variação da resistência térmica de uma lâmina de ar vertical, com a sua espessura (ASHRAE,1978) [5].

- b) O sentido do fluxo - devido às trocas por convecção.
 c) Emissividade das superfícies em confronto - devido às trocas por radiação.

Para os espaços de ar contidos entre planos paralelos, a transmissão por radiação depende da emissividade relativa (ou efetiva) do espaço de ar, r , fator que traduz a ação mútua das radiações entre as superfícies em confronto:

$$\epsilon_r = \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} \dots\dots\dots(12)$$

sendo:

ϵ_r - emissividade relativa,

ϵ - emissividade próprias da face interna de cada uma das paredes.

Para materiais correntes ($\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0,90$), sendo $r = 0,82$. Utilizando-se pintura de alumínio numa das faces internas ($\epsilon_1 = 0,90$; $\epsilon_2 = 0,50$), $\epsilon_r = 0,47$. Utilizando-se folha de alumínio numa das faces internas ($\epsilon = 0,20$), $\epsilon_r = 0,20$. E, utilizando-se folha de alumínio em ambas as faces internas, $\epsilon_r = 0,11$.

A Tabela 3 , anexo 2 , apresenta valores de resistência térmica de espaços de ar (R_{ar}) confinado entre duas lâminas paralelas.

O Coeficiente Global de Transmissão Térmica - K - engloba as trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e as trocas térmicas através do material (por condução) . Portanto, engloba as trocas de calor referentes e um determinado material, segundo a espessura da lâmina, segundo seu coeficiente de condutibilidade térmica λ , e segundo a posição horizontal ou vertical da lâmina e ainda do sentido do fluxo.

O Coeficiente K quantifica a capacidade do material a ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma dife

rença de temperatura entre os dois ambientes que o elemento cons
tituído por tal material separa ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$). Define-se como sendo
o fluxo de calor que atravessa, na unidade de tempo, a unidade
de área do elemento constituído do material, quando se estabe
lece uma diferença unitária de temperatura entre o ar confinan
te com suas faces opostas.

Por definição, chama-se Coeficiente Global de Trans
missão Térmica do material e se representa por K, a quantidade
tal que $K = 1/R$, portanto:

$$q = K(\Delta t) \dots\dots\dots (13) \quad (W/m^2)$$

em regime permanente, sendo q - fluxo de calor.

CAPÍTULO 3

VENTILAÇÃO

A renovação do ar dos ambientes pode ocasionar ganho ou perda de calor, segundo a temperatura externa seja maior que a interna ou a temperatura interna seja maior que a externa.

As trocas térmicas devidas à ventilação do recinto são proporcionais ao calor específico do ar, à taxa de renovação horária do ar do recinto, ao volume do recinto e à diferença de temperatura do ar interno e externo.

A carga térmica transferida pela ventilação será:

$$Q_{\text{vent}} = 0,26 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t \dots\dots\dots (14) \quad (W)$$

onde:

Q_{vent} = carga térmica da ventilação, em W,

calor específico do ar = $0,26 \text{ W/m}^3\text{ }^\circ\text{C}$,

N = número de renovações/hora,

Δt = diferença de temperatura interna e externa, em $^\circ\text{C}$.

No cálculo das cargas térmicas, adota-se uma taxa de renovação adequada ao ambiente, para depois dimensionar as aberturas.

3.1. VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação proporciona a renovação do ar dos ambientes, sendo de grande importância para a higiene das edificações, sendo-o também para o conforto térmico de verão nos abrigos localizados em regiões de clima temperado e de clima quente e úmido.

A renovação do ar dos ambientes proporciona a dissipação de calor e a descontração de vapores, fumaças, poeiras e de poluentes. A ventilação pode ser feita por meios mecânicos, porém aqui será abordada apenas a ventilação natural, como um dos meios de controle térmico do ambiente.

A ocupação das edificações por animais, máquinas, equipamentos, e a exposição à radiação solar vão ocasionar, nos ambientes internos, temperaturas superiores às do ar externo. Esse crescimento de temperatura, no caso de inverno nos climas quentes ou no caso geral de climas frios, pode ser um fator positivo, porém, nos casos de verão dos climas temperados ou geral de climas quentes, principalmente os úmidos, certamente será um fator negativo, agravante das condições térmicas ambientais.

A ventilação natural é o deslocamento do ar através do edifício, através de aberturas, umas funcionando como entrada e outras, como saída. Assim, as aberturas para ventilação de verão estar dimensionadas e posicionadas para que funcionem ou como entrada ou como saída do ar. O fluxo de ar que entra ou sai do edifício depende da diferença de pressão entre os ambientes internos e externos, da resistência ao fluxo de ar oferecida pelas aberturas, pelas obstruções internas e de uma série de implicações relativas à forma.

A diferença de pressões exercidas sobre uma construção pelo ar pode ser causada pelo vento ou pela diferença de densidade do ar interno e externo, ou por ambas as forças agindo simultaneamente. A força dos ventos promove a movimentação do ar através do ambiente, produzindo a ventilação denominada "por ação dos ventos". O efeito da diferença de densidade provoca o denominado "efeito chaminé". Assim, a ventilação natural das edificações se faz através de dois mecanismos:

- ventilação por "ação dos ventos",
- ventilação por "efeito chaminé".

3.1.1. CRITÉRIOS DE VENTILAÇÃO DOS AMBIENTES

O primeiro critério de ventilação dos ambientes se baseia nos requisitos básicos de exigências do ser vivo, que são o suprimento de oxigênio e a desconcentração máxima de gás carbônico

co, que requer maiores taxas de ventilação que o suprimento de oxigênio.

A renovação do ar que seja apenas suficiente para a diluição da concentração de gás carbônico é insuficiente para a desconcentração de odores provenientes de outros gases, que podem causar desconfortos gerais.

Outra importante função da ventilação é a remoção do excesso de calor dos ambientes. Os excessivos ganhos de calor solar, principalmente no verão, assim como o calor gerado no próprio animal, devido à presença de fontes como motores, equipamentos, sistemas de iluminação, etc., podem provocar o desconforto térmico. A ventilação desses ambientes pode promover melhorias nas condições termo-higrométricas, podendo representar um fator de conforto térmico de verão ao incrementar as trocas de calor por convecção e evaporação entre o corpo e o ar do recinto.

A velocidade máxima de movimentação de ar perto do animal confinado é recomendada, tanto por McLean (1969) [50] como Carpenter (1974) [20] não exceder 0,2 m/s e até mesmo esse nível de ventilação é considerado alto para outros autores. Entretanto, esse valor é para ventilação forçada. Jedele (1966) [39] e Morrison (1968) [53] acrescentam que, velocidades de ventilação de ordem superior a 0,2 m/s podem acarretar doenças pulmonares.

Quando a ventilação não é suficiente para renovar o ar interno, pode ocorrer acréscimo nos teores de amônia e consequentemente odores desagradáveis. Bianca *et al.* (1961) [8] estudou a influência da concentração de gases na saúde dos animais confinados e estimou que as concentrações máximas desejáveis no ar são de 0,01% de sulfito de hidrogênio, 0,05% de amônia e 0,25% de dióxido de carbono.

Excrementos e urina acumulados no chão e nas valas de drenagem são a maior fonte de produção de gases. A evaporação dessa umidade somada com a umidade evaporada do animal são as maiores fontes de carga de calor latente em edificações de confinamento de animais.

Embora ASHRAE Handbook of Fundamentals (1983) [5] forneça dados básicos de produção de calor latente e evaporação a diferentes temperaturas, o cálculo total fica dependendo do manejo dos animais. No caso estudado e na maioria dos suínos confinados no país, lavam-se comumente as instalações até duas vezes ao dia. Essa atitude inibe a formação ilimitada de amônia mas dificulta sobremaneira a estimativa de calor por evaporação e umidade das edificações.

3.1.2. VENTILAÇÃO POR AÇÃO DOS VENTOS

A diferença de pressões exercida sobre a edificação pode ser causada pela ação dos ventos, que provoca a formação de zonas expostas a pressões positivas e outras expostas a pressões negativas. Essa situação proporciona condições de ventilação do ambiente pela abertura de vãos em paredes sujeitas a pressões positivas (sobre pressões) para entrada de ar e em paredes sujeitas a pressões negativas (sub-pressões), para saída de ar.

A distribuição das pressões sobre a edificação depende da direção dos ventos com relação à edificação e do fato de estar exposto às correntes ou protegido por obstáculos. A pressão exercida sobre um determinado ponto da edificação depende da velocidade do vento e do seu ângulo de incidência.

O fluxo da ventilação devido à ação dos ventos pode ser calculado por meio da seguinte expressão:

$$Q_v = k \cdot A_o \cdot v \cdot (c_e - c_s) \dots\dots\dots (15) \quad (m^3/s),$$

onde:

Q_v - fluxo ou vazão de pela ação dos ventos (m^3/s),

k - coeficiente de perda de carga por ação dos ventos (0,6),

A_o - área equivalente das aberturas (m^2),

v - velocidade de vento externo resultante na abertura (m/s),

c_e - coeficiente de pressão da abertura na entrada de ar,

c_s - coeficiente de pressão da abertura na saída de ar.

No que se refere ao A_0 , será função das áreas das aberturas de entrada e de saída do ar, dentro da seguinte relação:

$$\frac{1}{A_0^2} = \frac{1}{A_e^2} + \frac{1}{A_s^2} \dots\dots\dots (16)$$

sendo:

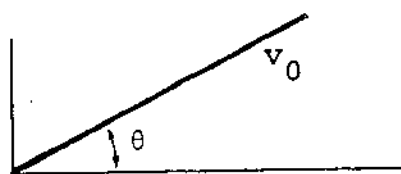
A_e - área da abertura de entrada (m^2),

A_s - área da abertura de saída (m^2).

No caso de o vento não ser normal à abertura:

$$v = v_0 \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (17) \quad (m/s)$$

sendo:



normal à entrada de ar

No que se refere aos coeficientes de pressão c_e e c_s , há alguns estudos, feitos através de modelos, que fornecem seus valores para os casos particulares estudados. O caso mais simples se refere a uma edificação de forma cúbica, sobre o qual incide, em uma das faces, um fluxo de ar laminar e de velocidade uniforme. Na face a montante, as pressões são positivas. No teto, as pressões são negativas. Nas faces laterais e posterior, as pressões também são negativas. Assim, na face a montante, so

bre a qual o vento incide, há sobrepressão, e nas outras faces, há sub-pressão. A Fig. 7 apresenta, na forma gráfica, a distribuição das pressões relativas, para a hipótese em estudo, obtidas de ensaios em modelos. A escala apresentada à esquerda da figura permite a obtenção dos coeficientes c_e e c_s .

Já no mesmo edifício cúbico, porém, com o vento incidindo a 45° (paralelo à diagonal da face de topo), as duas faces de montante estão submetidas a condições de sobrepressão, enquanto que o teto e as duas faces a jusante estão submetidas a condições de sub-pressão. A Fig. 8 apresenta, na forma gráfica, a distribuição das pressões relativas, sendo que escala apresentada à esquerda da figura permite a obtenção dos coeficientes c_e e c_s .

Tomando o caso de um edifício de planta retangular, com cobertura de duas águas e telhado a 60%, com vento incidindo perpendicularmente a uma das faces mais extensas, os ensaios forneceram as informações contidas na Fig. 9, na qual a escala apresentada à esquerda permite a obtenção dos coeficientes c_e e c_s .

No caso da mesma edificação paralelepipedica do caso anterior, porém com telhado de duas águas inclinado a 30° , os ensaios demonstraram que as pressões se distribuem segundo a Fig. 10, sendo que os coeficientes c_e e c_s podem ser obtidos por meio da escala apresentada à esquerda.

3.1.3. VENTILAÇÃO POR EFEITO CHAMINÉ

Os ganhos de calor a que um edifício está submetido ocasionam a elevação de temperatura do ar contido no seu interior. O ar aquecido torna-se menos denso e com uma tendência natural à ascensão. Se um recinto dispuser de aberturas próximas ao piso e próximas ao teto ou no teto, o ar interno, mais aque

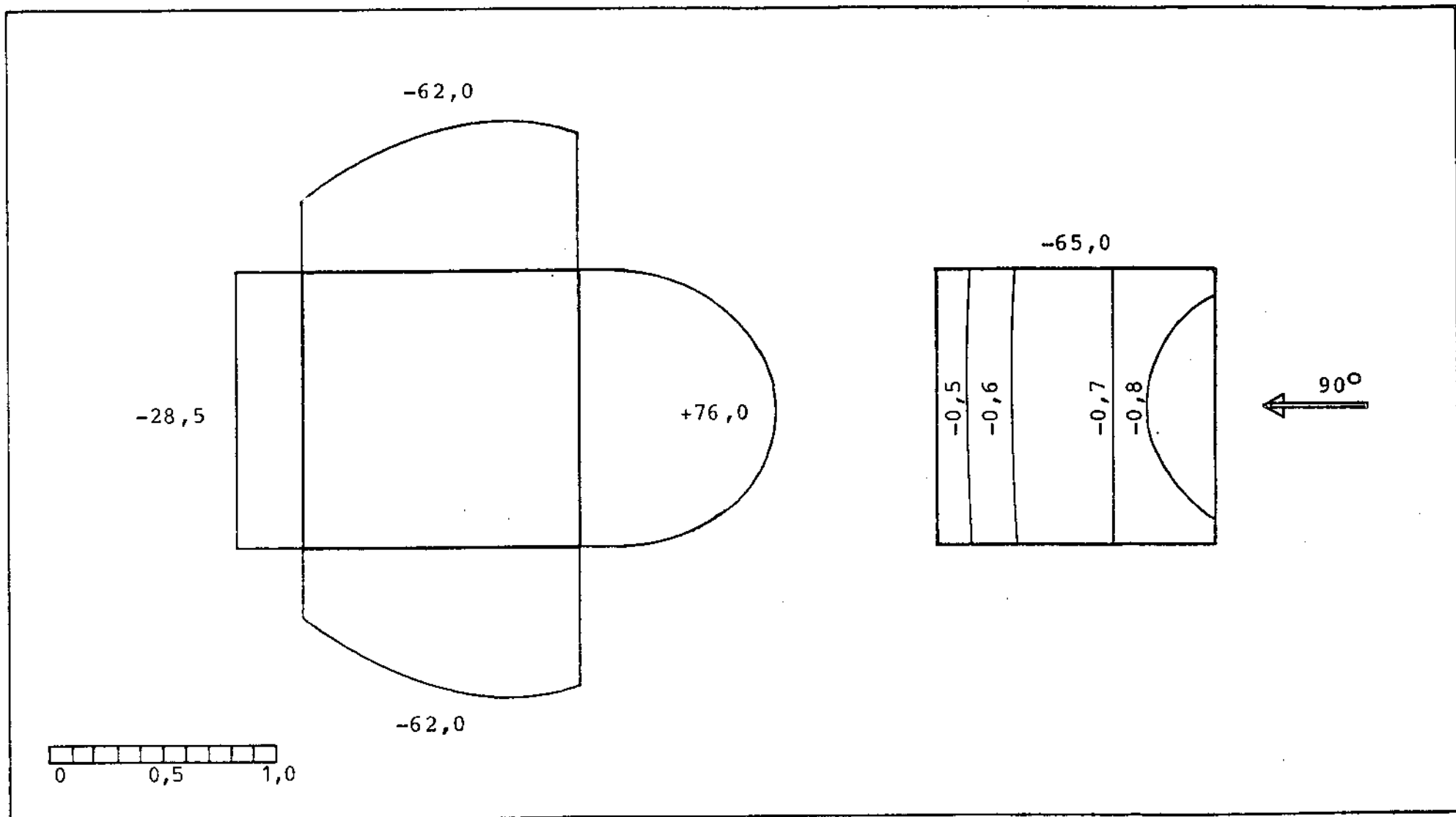


Fig. 7 - Pressões externas nas faces de um cubo, com vento normal a uma das faces
(Toledo, E., 1967) [68]

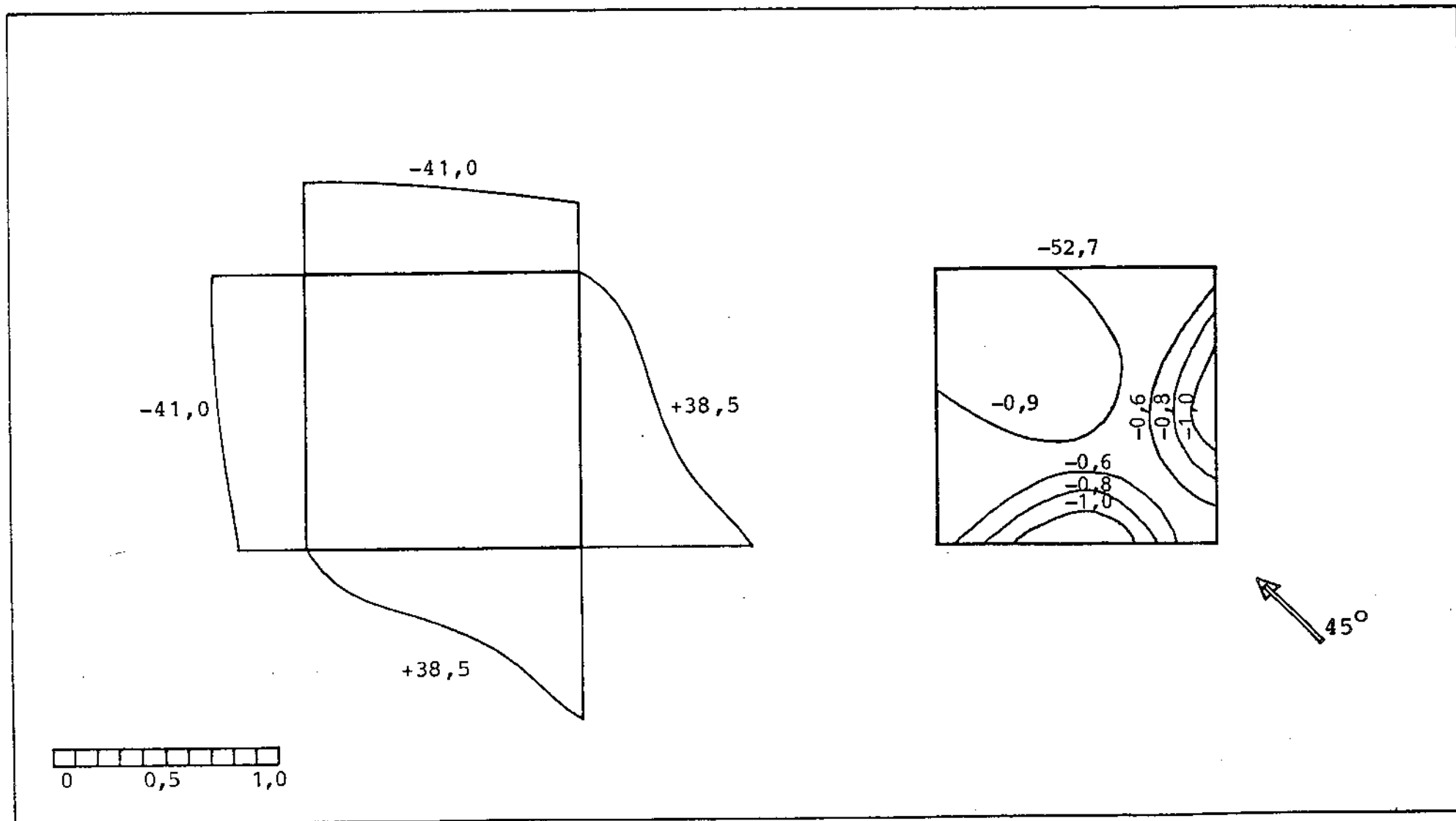


Fig. 8 - Pressões externas nas faces de um cubo, com vento a 45° de uma das faces
(Toledo, E., 1967) [68]

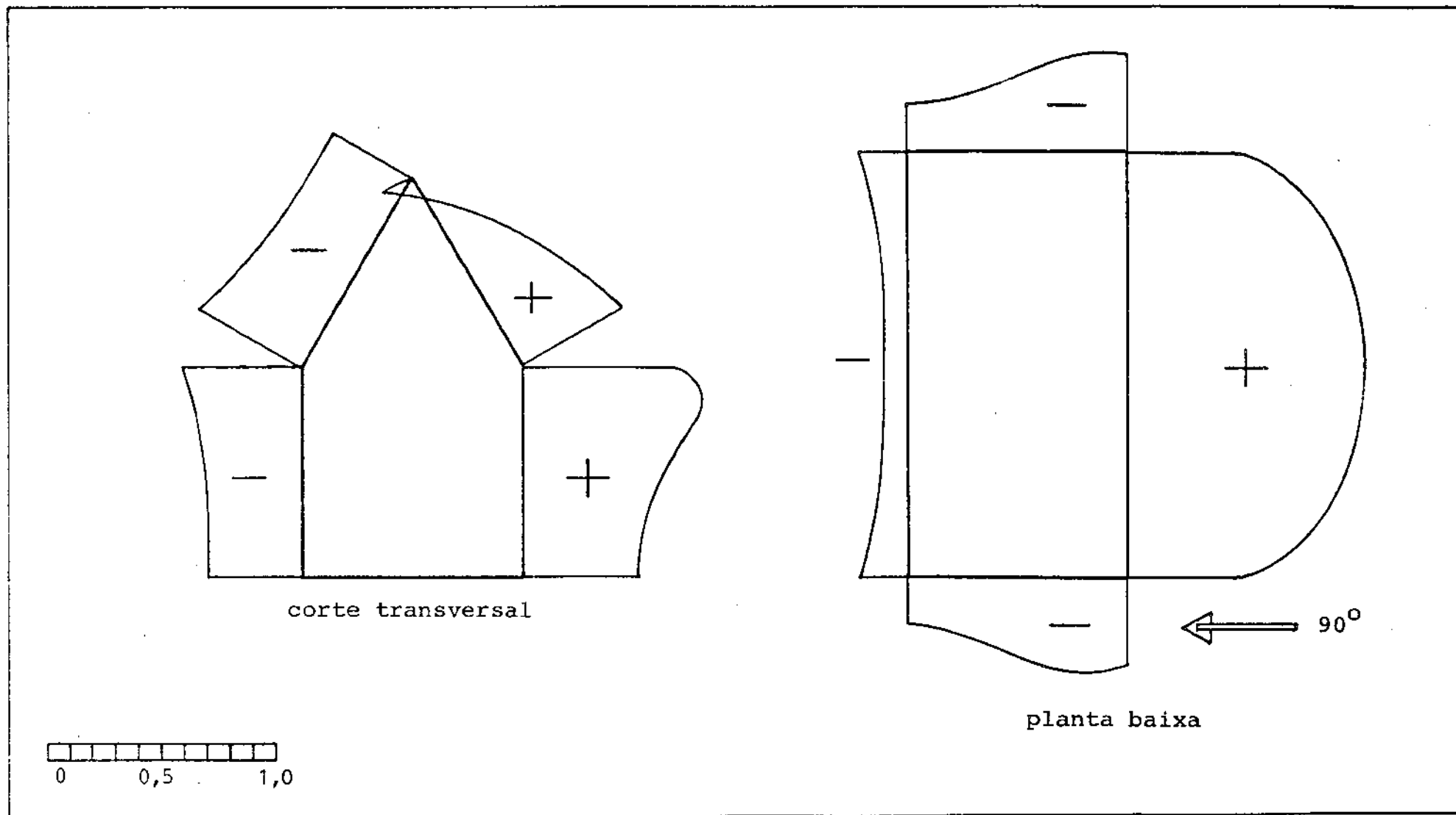


Fig. 9 - Distribuição de pressões para edificações de planta retangular, com telhado inclinado a 60° (Toledo, E., 1967) [68].

A escala permite a leitura dos coeficientes de pressão de abertura de entrada e saída do ar (c_e e c_s).

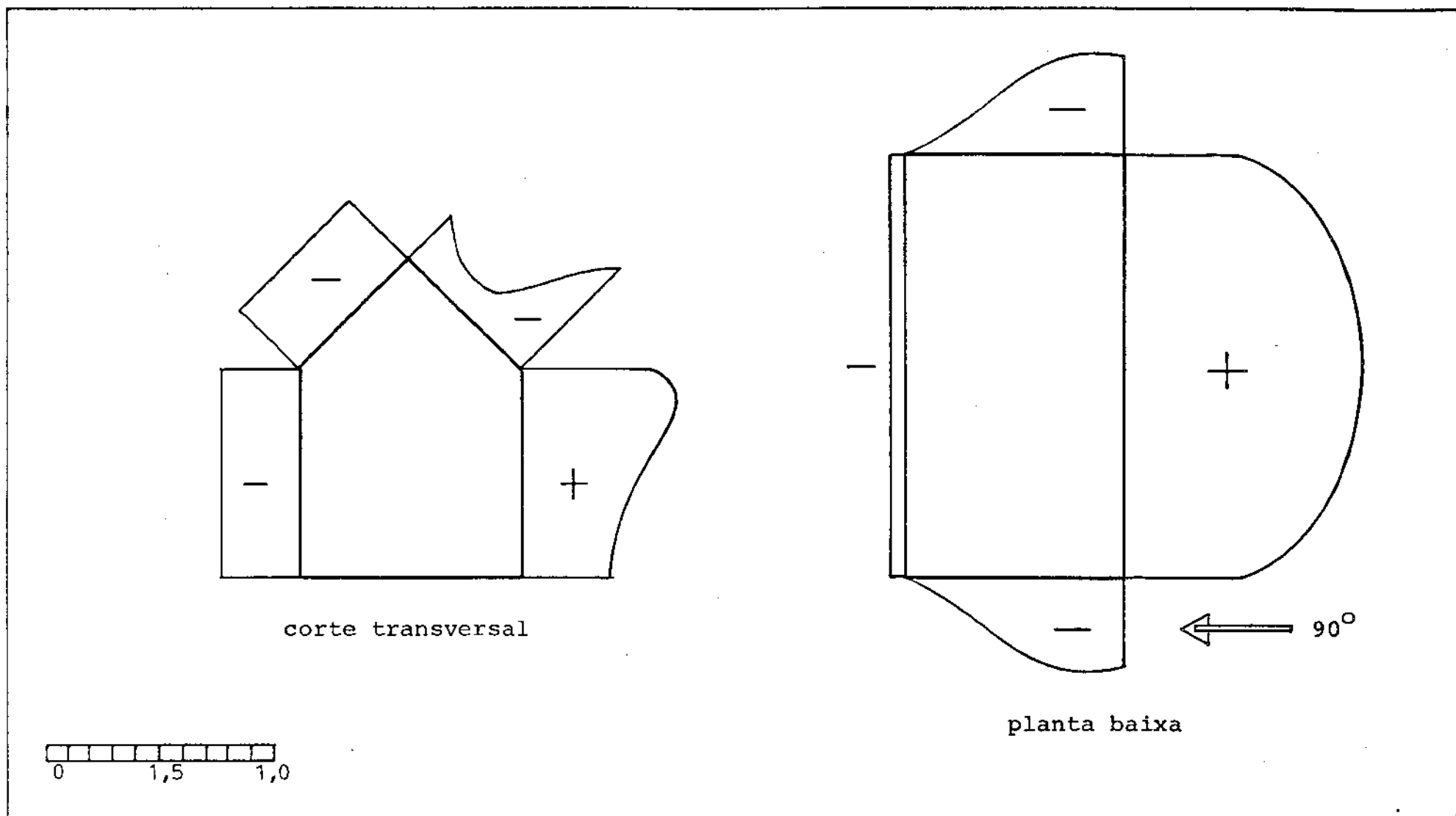


Fig. 10 - Distribuição de pressões para edificações de planta retangular, com telhado inclinado a 30° (Toledo, E., 1967) [68].

A escala permite a leitura dos coeficientes de pressão de abertura de entrada e saída de ar (c_e e c_s).

cido que o externo, terá a tendência de sair pelas aberturas altas, enquanto que o ar externo, cuja temperatura é inferior à do ar interno, encontrará condições de penetrar pelas aberturas baixas. Observa-se também que o fluxo de ar será tanto mais intenso quanto mais baixas forem as aberturas de entrada de ar e quanto mais altas foram as aberturas de saída de ar. O estudo da ventilação por efeito chaminé é feito considerando apenas as diferenças de pressões originadas das diferenças de temperaturas do ar interno e externo ao edifício.

Para a compreensão do fenômeno das diferenças de pressão entre o interior e o exterior do edifício, ocasionadas pela diferença de temperaturas interna e externa, toma-se uma caixa cúbica de aresta h , cuja temperatura do ar interior, t_i , é mais elevada que a temperatura do ar externo, t_e . Uma abertura periférica horizontal, localizada logo abaixo da face superior do cubo, ocasionará uma distribuição de pressões segundo a Fig. 11a, que mostra, através de vetores, as diferenças de pressões interna/externa nas paredes do cubo, estando o interior em estado de depressão, sub-pressão ou rarefação, sendo que as pressões interna e externa se igualam no rasgo.

No caso da abertura ser feita próxima à base do cubo, como mostra a Fig. 11b, as pressões interna e externa se igualam no rasgo, e as diferenças de pressões interna/externa nas paredes do cubo estão representadas pelos vetores, estando o interior do cubo em estado de sobrepressão ou compressão.

A terceira situação considerada, admite uma abertura horizontal próxima à face superior e outra próxima à face inferior do cubo, o que proporcionará depressão na região inferior e sobrepressão na região superior. Nestas condições, o ar penetra no cubo pelo rasgo inferior e sai do cubo pela abertura superior e as diferenças de pressão estão distribuídas segundo os vetores representados na Fig. 11c. Observa-se a existência de uma linha em que se dá a passagem da condição de subpressão do ar interno para a condição de sobrepressão. Essa zona, em que a diferença de pressões externa e interna é nula, é denominada Zona

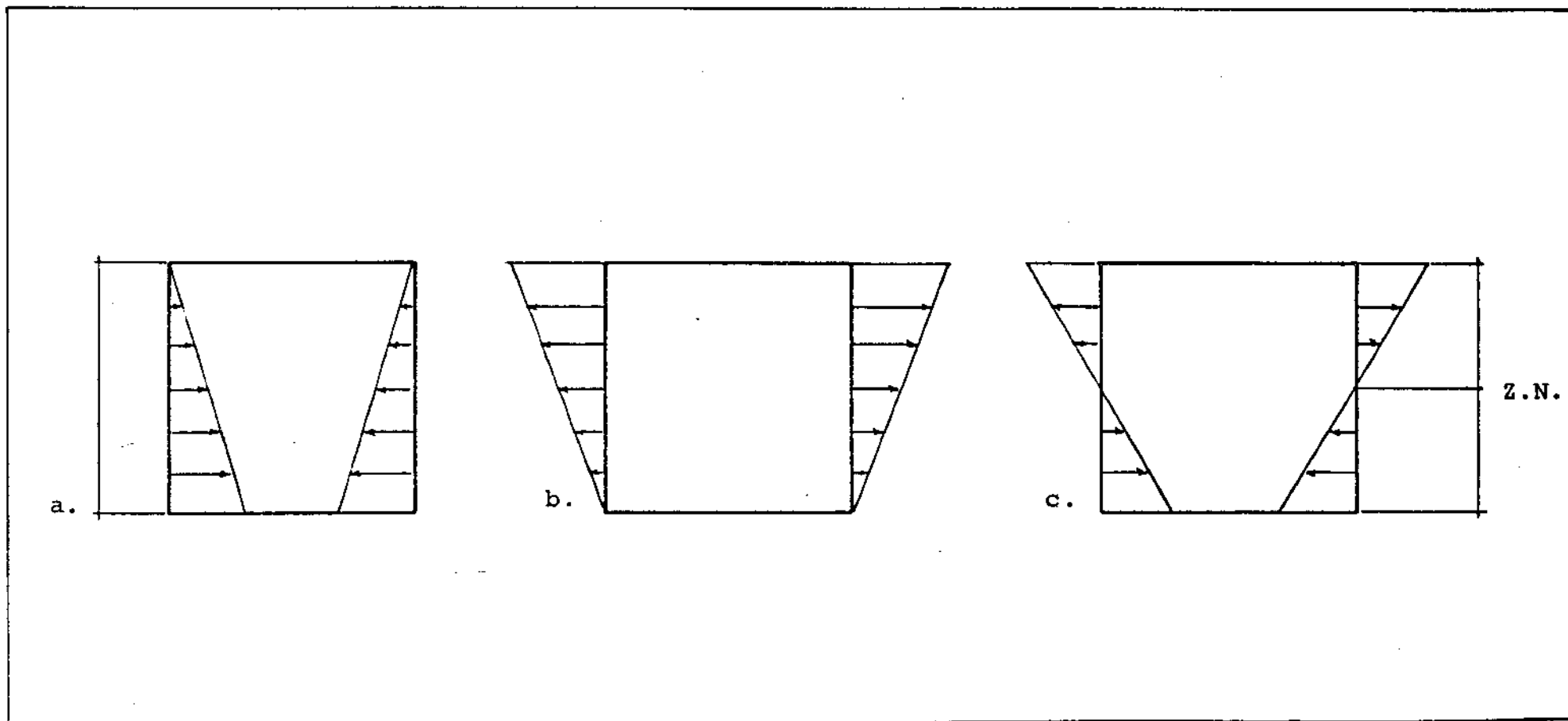


Fig. 11 - Croquis explicativos das distribuições das pressões em uma caixa cúbica.
 Z.N. = zona neutra.

Neutra (Z.N.). Uma pequena abertura nessa cota não ocasionará fluxo de ar.

No que se refere à vazão de ar, a fórmula básica advém da analogia hidráulica, admitindo-se para a massa específica do ar um valor correspondente a uma temperatura média do ar externo e interno, e uma diferença de pressão referida às meias alturas das aberturas. Admitidas essas hipóteses, válidas para casos de edificações de usos genéricos, a fórmula básica para o cálculo da vazão de ar por "efeito chaminé" será:

$$\phi_c = 0,128 \cdot A \cdot h (t_i - t_e) \dots\dots\dots (18) \quad (m^3/s)$$

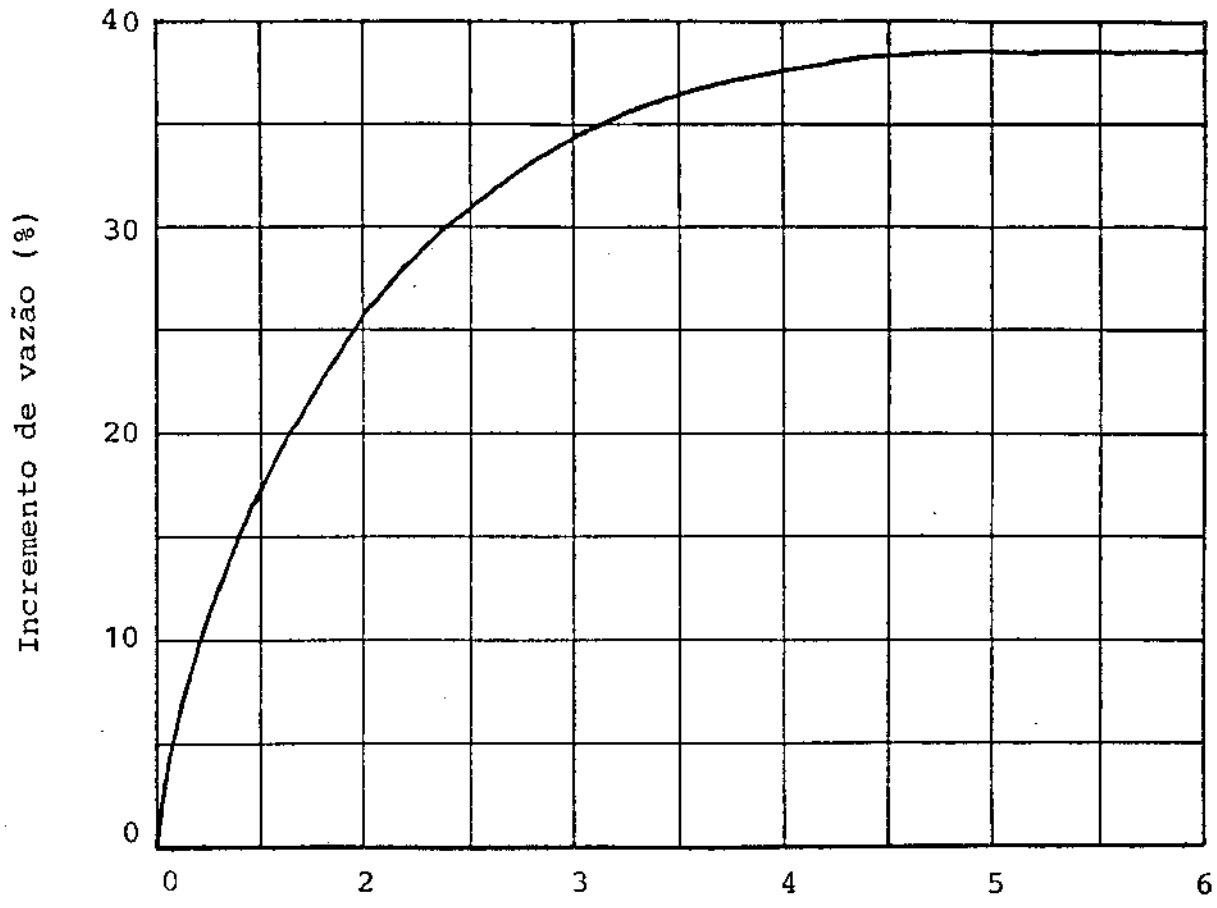
onde:

- ϕ_c - vazão de ar por "efeito chaminé",
- A - área da abertura, segundo seja esta ou aquela a menor (m^2),
- h - altura medida a partir da metade da altura da abertura de entrada de ar até a metade da abertura de saída do ar (m),
- t_i - temperatura média do ar interno na altura h ($^{\circ}C$),
- t_e - temperatura do ar externo, à sombra ($^{\circ}C$).

Quando as duas aberturas, de entrada e de saída, têm áreas iguais, a fórmula acima fornece já a vazão de ar produzida pelo "efeito chaminé". Porém, quando as aberturas não são iguais, o incremento na vazão causado pelo excedente da área de uma abertura sobre a outra pode ser calculado através do gráfico apresentado na Fig. 12.

Quando há uma certa carga térmica (Q) no interior de um recinto, uma determinada condição de temperatura do ar exterior e se pretende que a temperatura do ar interior se mantenha num valor Δt superior à temperatura externa, pode-se calcular a vazão requerida, utilizando-se a seguinte expressão:

$$\phi = \frac{Q}{c_p \cdot (t_i - t_e)} \dots\dots\dots (19) \quad (m^3/h)$$



Razão entre abertura de entrada e saída de ar ou vice-versa.

Fig. 12 - Gráfico para determinação do incremento de vazão, causado pelo excesso de área de uma abertura de ar sobre outra abertura (ASHRAE, 1983) [5].



onde:

$$c_p = 0,28 \text{ W/Kg } ^\circ\text{C}, \text{ calor específico do ar à pressão constante,}$$

3.1.4. SIMULTANEIDADE DE "EFEITO CHAMINÉ" E "AÇÃO DOS VENTOS"

A simultaneidade dos processos pode resultar na soma das forças, porém pode agir em contraposição e prejudicar a ventilação dos ambientes. A identidade de uma ou de outra situação depende da análise de cada caso, especificamente. Pode-se partir do cálculo da vazão proporcionada pelo "efeito chaminé", sob hipótese de ser o único agente e verificar a velocidade do ar nas aberturas de saída. Esse dado permite verificar a partir de que velocidade de vento a sua ação predomina sobre o "efeito chaminé". Na realidade, há então a necessidade de uma análise acerca das forças e da ação resultante dos dois processos.

Quando a ventilação natural de uma edificação é criteriosamente estudada, verifica-se a conjugação dos dois processos. Para a determinação dessa ação conjugada, calculam-se as vazões resultantes de cada força, separadamente, e a vazão real proporcionada pelas duas forças pode ser dada por meio do gráfico apresentado na Fig. 13.

A posição e as dimensões das janelas exercem uma grande influência na ventilação. São apresentados, a seguir, alguns esquemas dessa influência, para casos de espaços vazios ou parcialmente divididos - Figs. 14 e 15.

Os esquemas apresentados na Fig. 16 mostram, em corte, as variações do fluxo de ar para o caso de um ambiente que dispõe de aberturas localizadas em fachadas opostas e que está

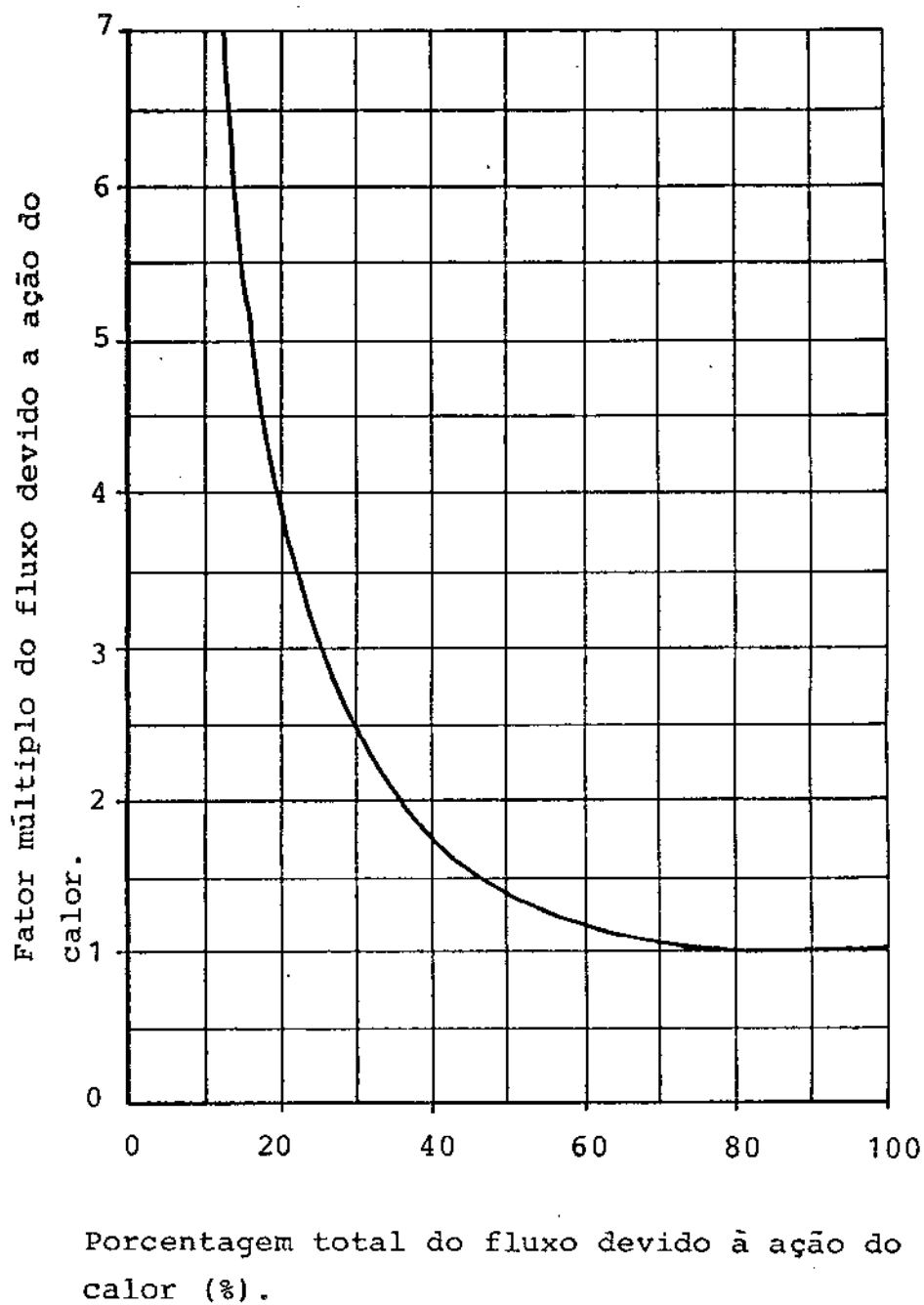


Fig. 13 - Gráfico para determinação da vazão resultante da ação combinada de forças de vento e de efeito chaminé (ASHRAE, 1983) [5].

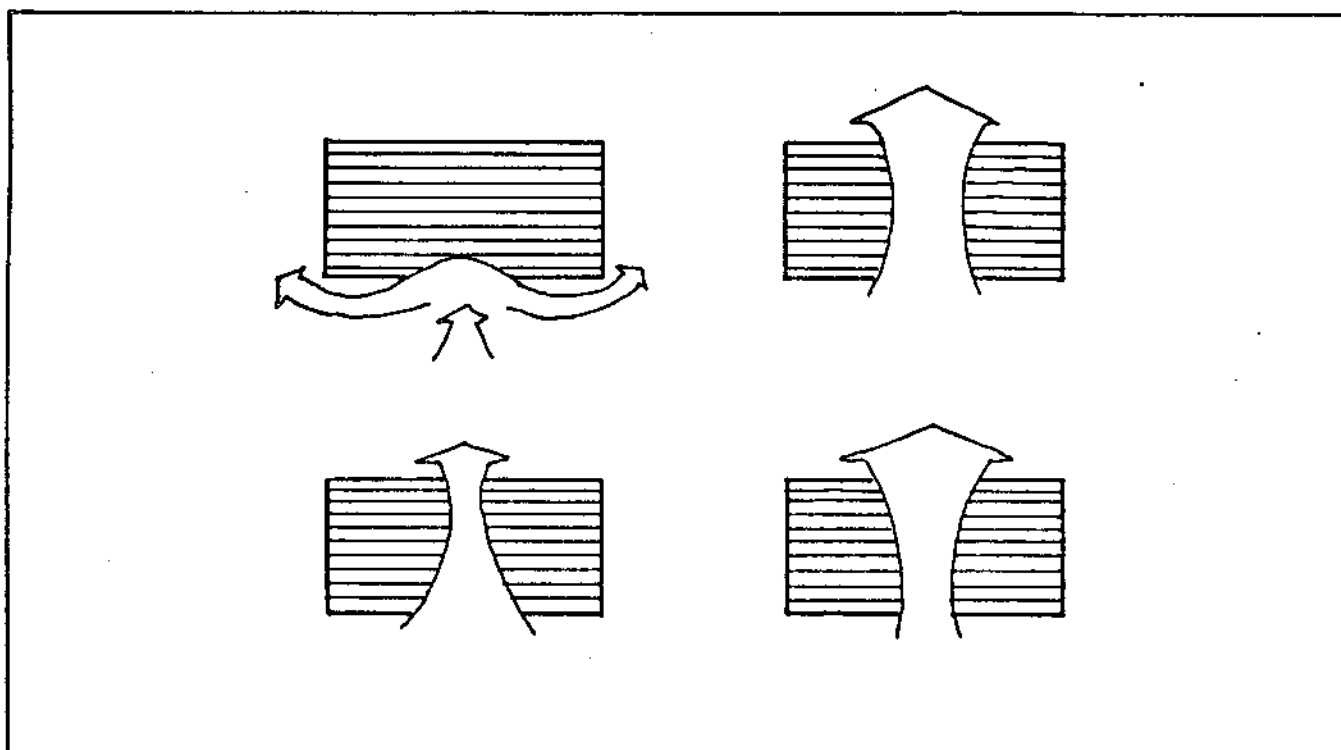


Fig. 14 - Exemplos de fluxos de ar através de espaços vazios - em planta baixa (Croiset, M., 1972) [26].

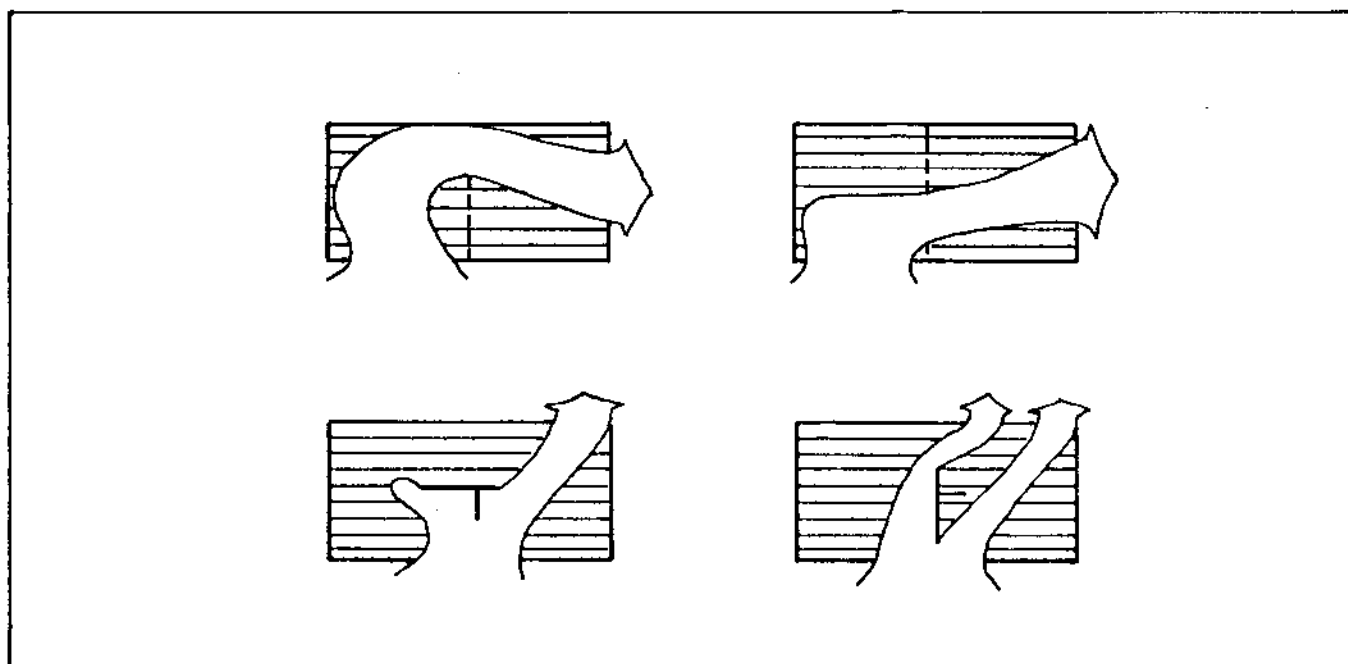


Fig. 15 - Exemplos de fluxo de ar através de espaços parcialmente divididos - em planta baixa (Croiset, M., 1972) [26].

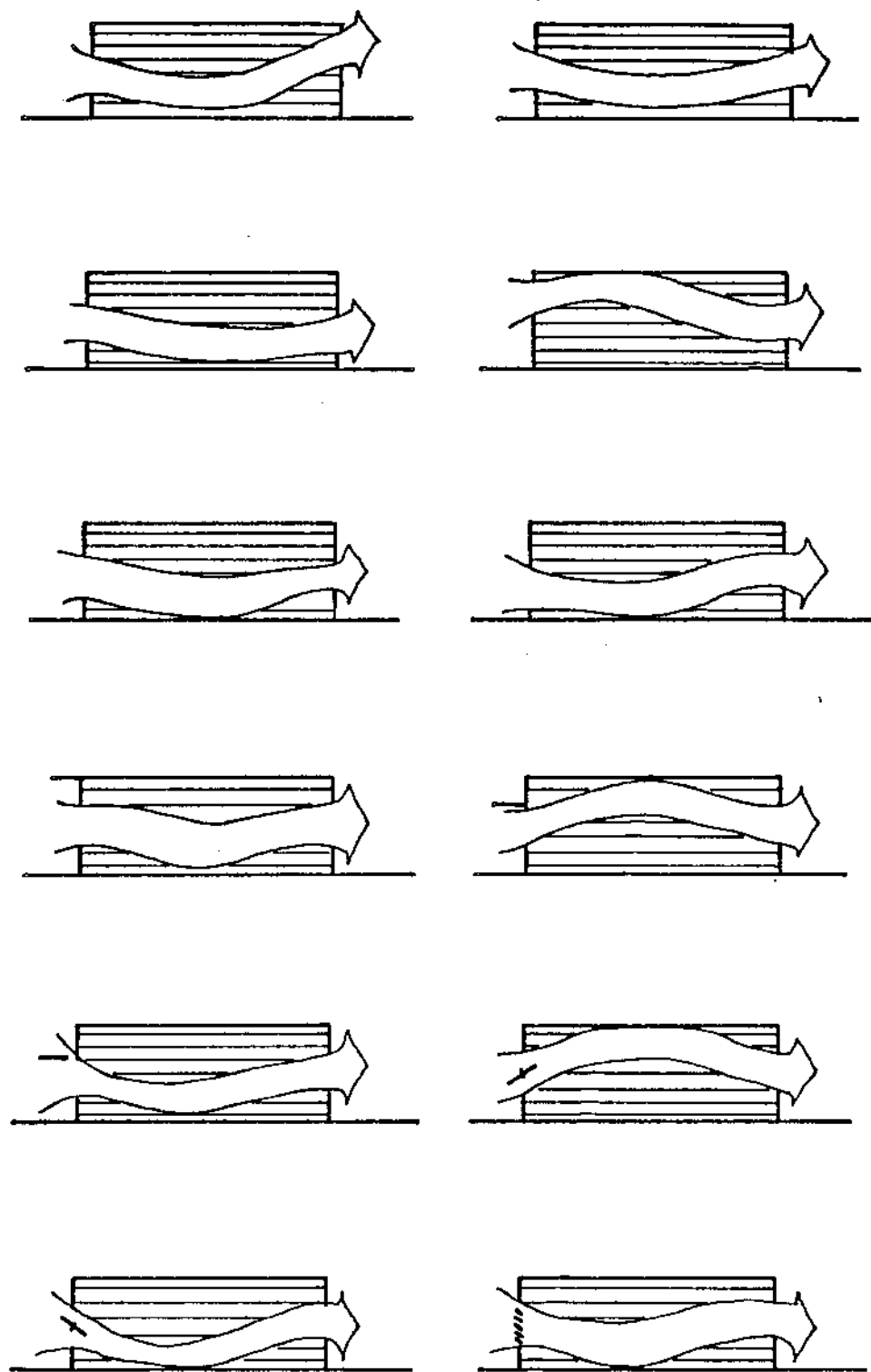


Fig. 16 - Exemplos de fluxo de ar através de ambientes que dispõem de aberturas localizadas em paredes opostas - corte transversal (vários autores).

livre de obstruções, tais como divisórias. As figuras mostram a influência da disposição das aberturas de entrada e de saída do ar.

Por outro lado, a presença de obstáculos externos pode imprimir, também, importantes alterações no fluxo de ar através de um recinto. A vegetação é um elemento que não pode deixar de ser considerado. A Fig. 17 apresenta exemplos que procuram ilustrar alguns casos.

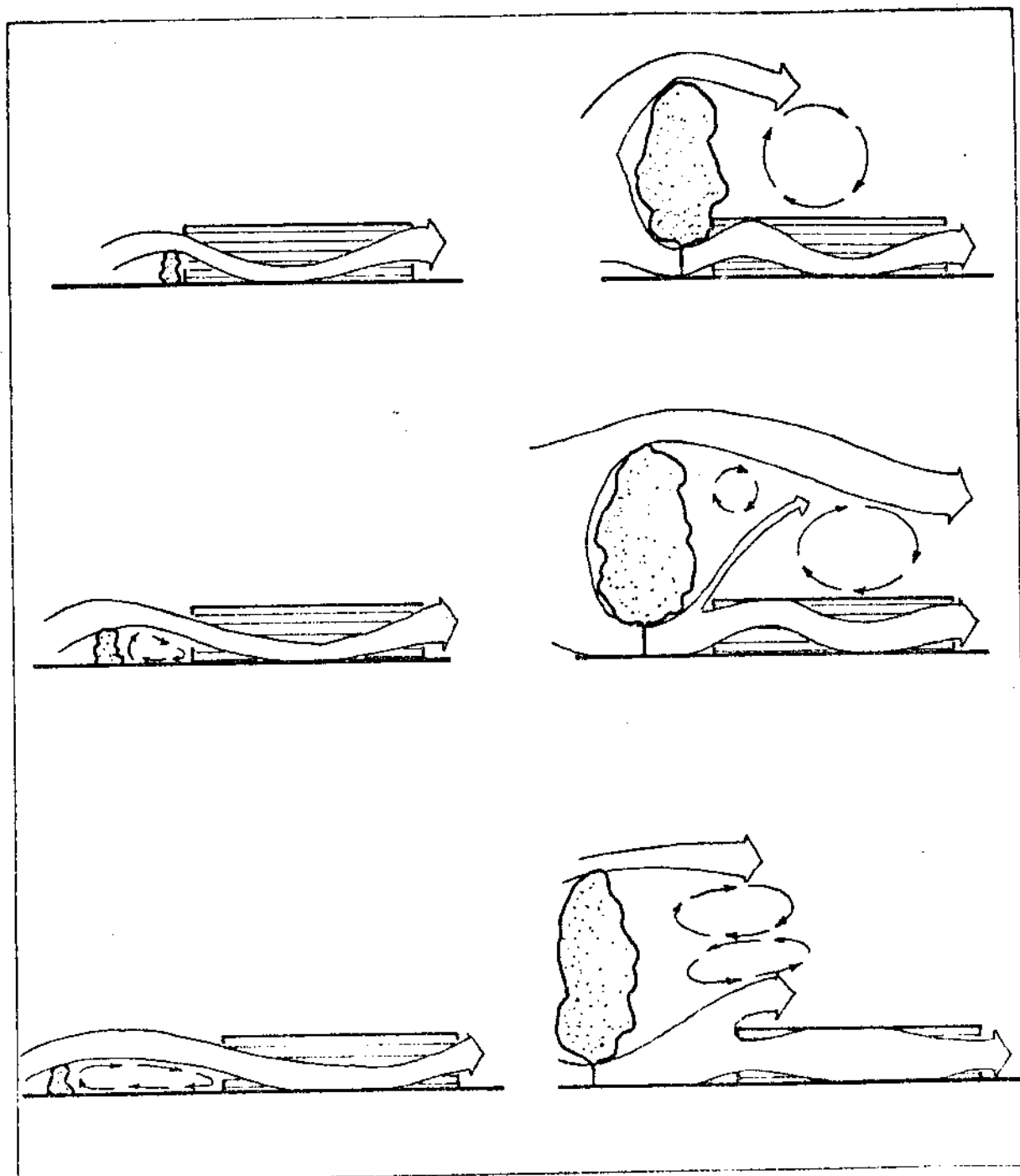


Fig. 17 - Exemplos da influência de vegetação baixa e de árvores, segundo a proximidade maior ou menor do edifício (cortes)

CAPÍTULO 4

BALANÇO TÉRMICO DENTRO DE UMA
EDIFICAÇÃO DE ABRIGO A SUÍNOS

As características operacionais dos animais confina dos são descritas por Esmay, M., 1969 [27], Heitman et al., 1963, [35] e McLean, J.A., 1969 [50]. O conhecimento dessas caracterís ticas permite o dimensionamento adequado das edificações para a brigo aos animais, em regime de produção intensiva.

Para que se tenha uma visão otimizada da ventilação des sas edificações é necessário conhecer com precisão os seguintes dados:

- (a) o meio ambiente ótimo para produção intensiva de de terminado animal doméstico, e
- (b) balanço térmico envolvido no processo de produção.

4.1. CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

Nem toda a energia metabolizável ingerida pelo animal se reverte em produção. Há uma série de ineficiências no siste ma, sob o ponto de vista de engenharia do processo (Teter, N. C. et al., 1976, [64]). Parte dessa energia é utilizada pelo ani mal para realizar funções essenciais da sua vida e manter sua temperatura basal dentro da região de conforto térmico. A ener gia metabolizável perdida para o ambiente sob a forma de calor é mensurável, considerando-se que, durante o processo de troca de calor a temperatura do animal se mantém constante.

Para o caso específico de suínos, o peso é a variável que mais influi nos casos de produção de calor, e também para cálculos das energias ingerida, perdida para o ambiente, metabo lizável e de manutenção (Bond, T.E. et al., 1959, [12]).

A maioria das equações de ventilação descritas na li teratura consultada provêm de clima temperado e fazem o balanço térmico da edificação considerando um volume de ar forçado atra vés de ventilação artificial. Entretanto, é possível descrever as equações envolvidas no balanço térmico de uma edificação

aberta, com ventilação natural, utilizando-se as equações básicas de termodinâmica (Koenigsberger, O. et al., 1977, [44]).

4.2. BALANÇO TÉRMICO

A Fig. 18 mostra o esquema da termodinâmica de uma edificação típica de abrigo a suínos. Naturalmente que a direção do fluxo de calor varia com as temperaturas interna e externa, mas no decorrer de um ano, no Brasil, a direção do fluxo de calor indicada na Fig. 18 é a mais usual.

No balanço térmico da edificação são levados em consideração o calor produzido dentro da estrutura, bem como o calor recebido pela incidência solar, principalmente no teto, e o calor trocado por condução nas paredes e no teto.

Em uma observação mais detalhada, pode-se chegar a mais variáveis de calor afetando a estrutura de abrigo, como mostrado em Nääs, I.A. 1980, [55]. Todavia, em termos práticos, numa visão mais ampla, desprezando-se os valores de calor transmitido para o solo, através do piso, calor de radiação das paredes transmitido para dentro das baias e o calor estocado na edificação conforme recomendado por Oliveira, J.L., 1980, [58], torna mais viável o dimensionamento de uma ventilação natural adequada. Isto posto, o balanço térmico da edificação da Fig. 18 é:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm (Q_{ve} \pm Q_{vs}) - Q_e = 0 \dots\dots (20)$$

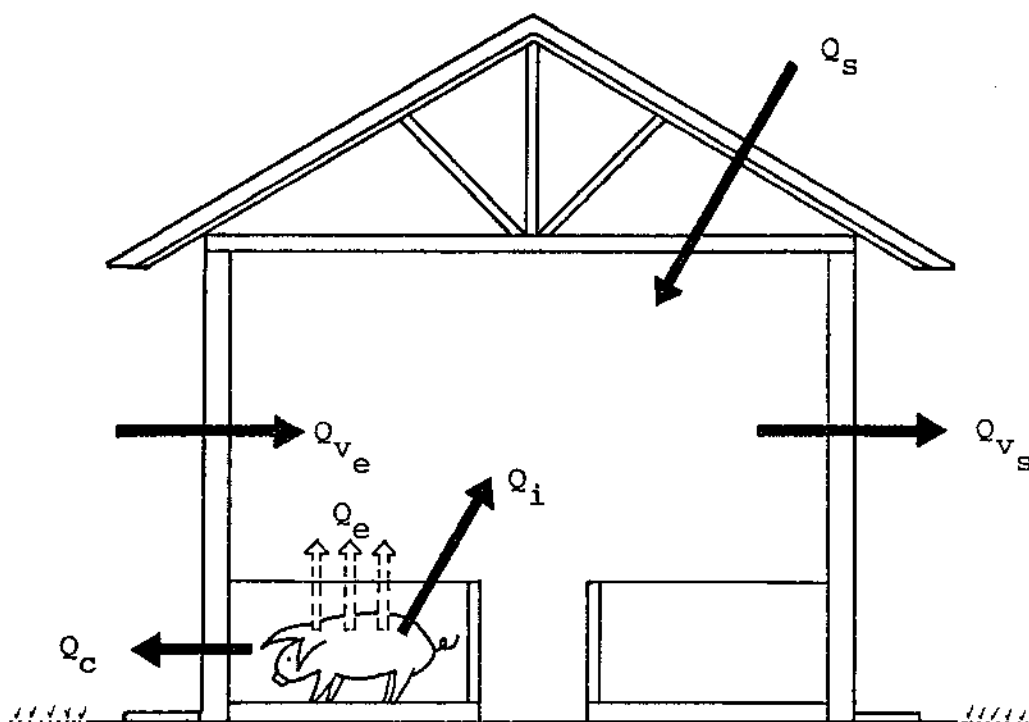
onde:

Q_i = calor produzido pelo animal (W),

Q_s = carga térmica solar (W),

Q_c = calor transmitido por condução (W),

Q_{ve} = calor de ventilação de entrada do ar (W),



onde:

- Q_c = calor trocado por condução (W)
- Q_e = calor de evaporação (W)
- Q_i = calor dissipado pelo animal (W)
- Q_s = calor produzido pela irradiação solar (W)
- Q_{ve} = calor de ventilação - entrada (W)
- Q_{vs} = calor de ventilação - saída (W)

Fig. 18 - Esquema básico das fontes de calor dentro de uma edificação de abrigo a suínos

Q_{v_s} = calor de ventilação da saída do ar (W),

Q_e = calor de evaporação.

Nessa equação estão inseridos valores de fluxo de ar pelo efeito do calor, assim como pelo efeito do vento. Na maioria dos casos, velocidades e direção do vento, temperatura interna efetiva e distribuição do fluxo de ar na edificação não podem ser previstos com precisão (ASHRAE, 1983, [5]). O método eficaz de cálculo é chegar nos valores de fluxo separadamente e depois, usando a relação entre o fluxo produzido pelo gradiente de temperatura e o fluxo de ventilação, utilizar o gráfico da Fig. 13 para ter o valor aproximado do fluxo total, com um múltiplo do fluxo por efeito térmico.

São vários os fatores que influenciam a temperatura e consequentemente o ambiente, em uma estrutura aberta. Para esse estudo em particular, foram considerados os seguintes itens:

- a temperatura externa;
- a massa de ar ventilada na edificação;
- a quantidade de calor transmitida por condução através das paredes;
- a quantidade de energia solar absorvida principalmente pelo telhado; e
- a quantidade de calor latente e sensível gerados na parte interna da edificação.

Foram desprezados outros componentes térmicos já citados anteriormente, bem como o calor de fermentação de dejetos.

O volume de controle do ar que entra e sai da edificação é o limitado pelas paredes externas e telhado, mostradas na Fig. 18.

O objetivo é validar a equação de balanço térmico, considerando o fluxo de ventilação natural, e avaliando o comportamento da edificação em termos de capacidade de retenção de calor,

para certos parâmetros de clima, como temperatura externa e velocidade de ventos.

4.3. DESCRIÇÃO DO MODELO PROPOSTO

A ventilação afetando as condições climáticas dentro de uma edificação de abrigo para animais é bem descrita por Jedele, D.G., 1966 [39], Randall, J.M., 1975 [60] e [61], Muchling, A. J., 1976, [54] e Bruce, J.M., 1981 [18].

A Fig. 19 mostra as várias entradas e saídas de um sistema de ventilação, sua configuração e seus efeitos.

A ventilação forçada em abrigos de animais confinados foi amplamente estudada por vários autores, e é cabível uma previsão do microclima dentro da estrutura, uma vez que há quase que total conhecimento do volume de ar controlado. No caso da ventilação natural estimam-se parâmetros, uma vez que a movimentação dos ventos real é apenas de valor aproximado à medida.

Randall, J.M., 1975 [60] propõe um esquema de ventilação numa edificação de abrigo a animais, mostrado na Fig. 20 , que, embora concebido para ventilação forçada, pode ser extrapolado para a utilização de estudo de ventilação natural.

Tomando-se em consideração as sugestões de Bruce, J.M., 1981 [18] e Oliveira, J.L., 1980 [58], para efeito de cálculo, a estrutura é suficientemente extensa, de forma que os gradientes de temperatura no piso e nos espaços bem próximos às paredes e teto foram considerados desprezíveis. Todos os materiais de construção envolvidos são considerados tecnicamente homogêneos, de forma que as variáveis térmicas retiradas de tabelas possam ser utilizadas.

Não foi considerada a resistência térmica superficial dos componentes da estrutura, uma vez que essa representa uma parcela muito difícil de ser estimada.

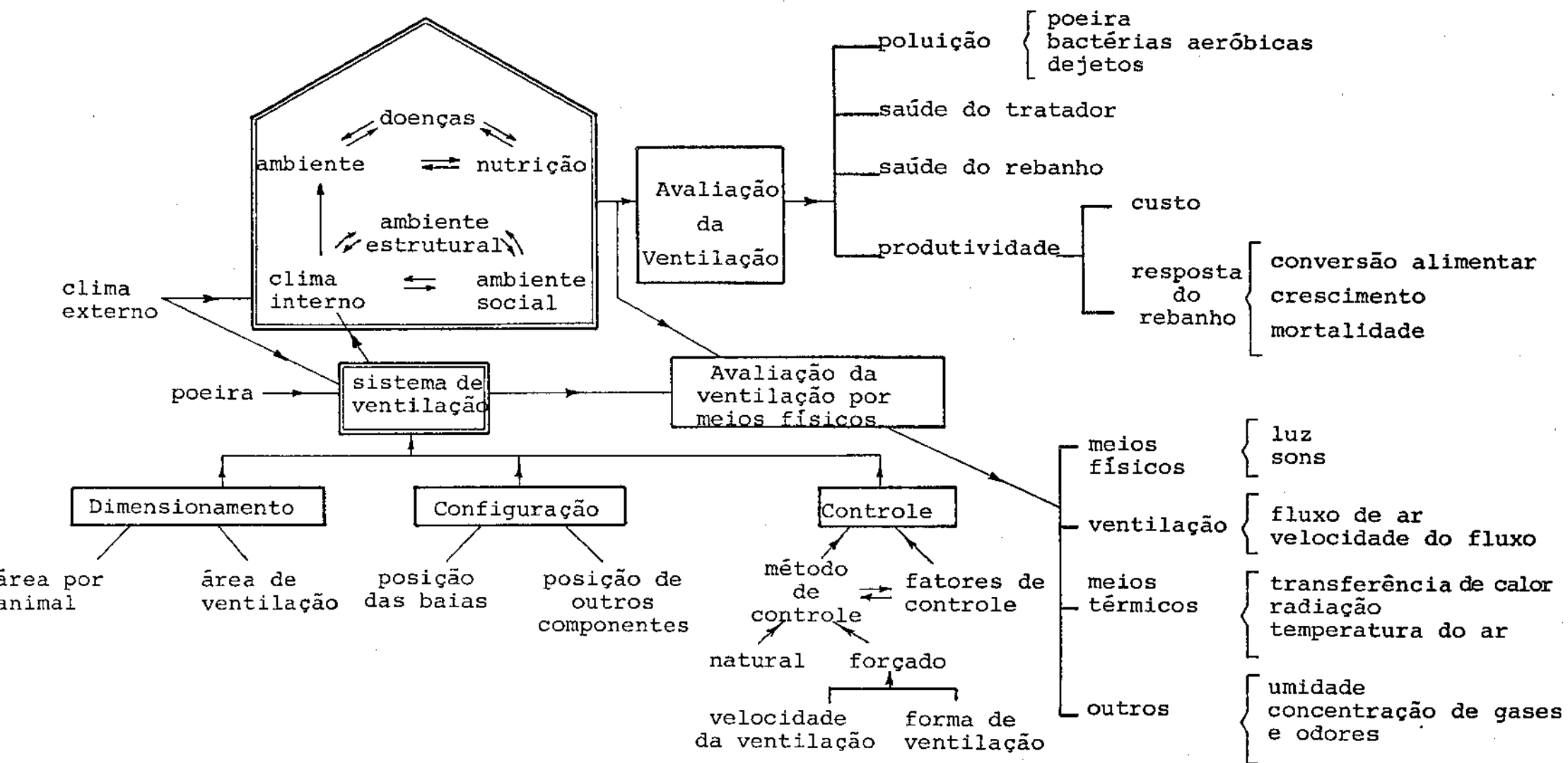


Fig. 19 - Esquema de ventilação numa edificação de abrigo a animais.

Randall, J.M., 1975 [60]

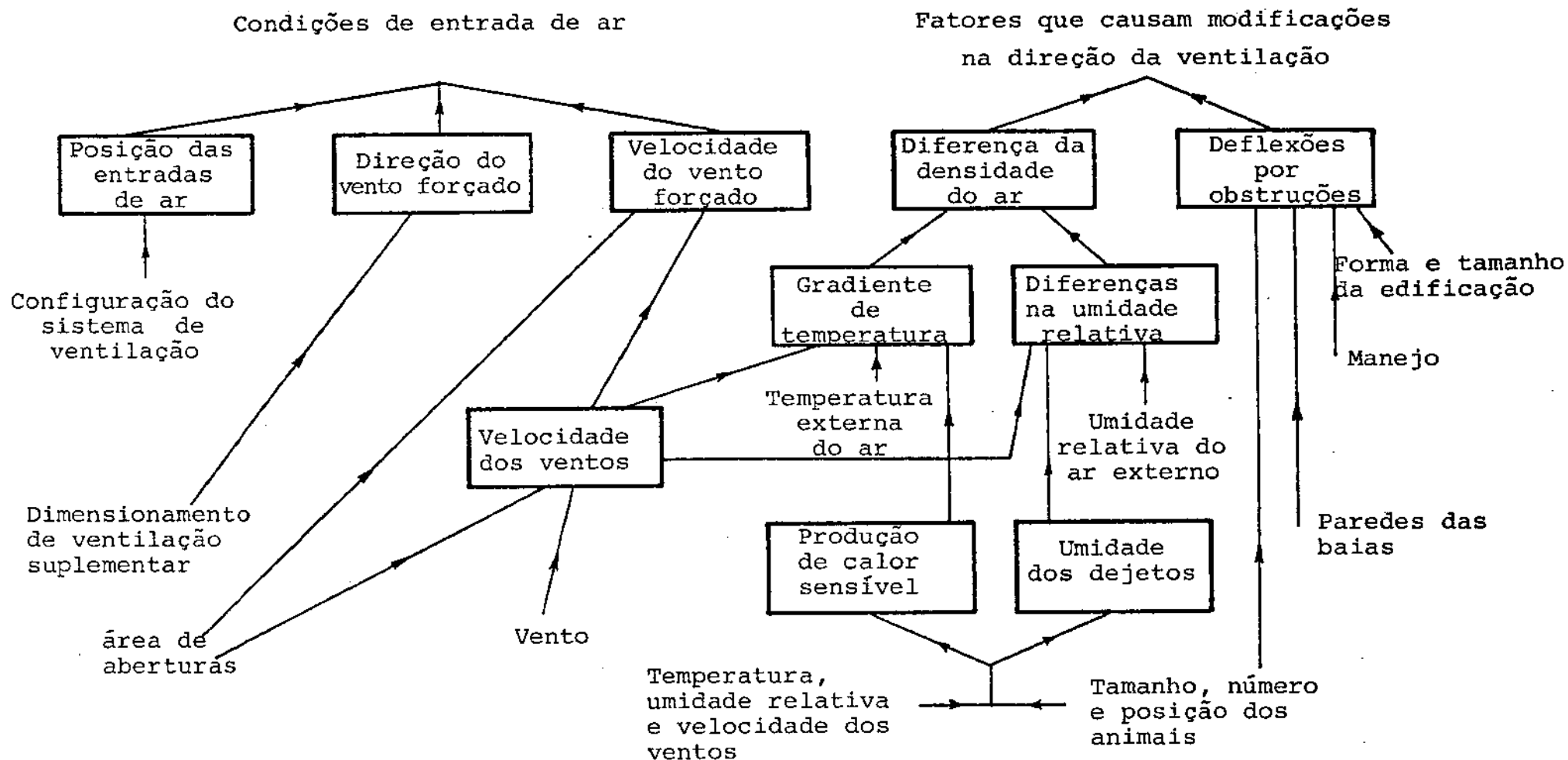


Fig. 20 - Fatores que afetam o dimensionamento do fluxo de ventilação.
 Randall, 1975 [60]

Dentro do volume de controle considerado, o calor dissipado pelo animal e levado ao ambiente pode ser descrito pela equação (21) estudada por Bond, T.E., 1959 [9],

$$Q_i = Q_{i_n} \times n \dots\dots\dots (21) \quad (W)$$

$$Y = \log Q_{i_n} \dots\dots\dots (22)$$

$$Y = 2,477 + 0,0154m - 0,577 \left(\frac{32 + 1,8 t_i}{100} \right) +$$

$$0,030 m^2 + 0,710 \left(\frac{32 + 1,8 t_i}{100} \right) -$$

$$0,142 m \left(\frac{32 + 1,8 t_i}{100} \right) \dots\dots\dots (23)$$

onde:

- Q_{i_n} = calor produzido por um porco (W)
 m = log do peso vivo do porco (kg)
 t_i = temperatura interna ($^{\circ}C$)
 n = nº de porcos na edificação

O calor transmitido para dentro da edificação, que vem da carga de calor solar, produzido pela incidência da irradiação solar total no telhado, é descrita pela eq. (24), de Froota, A.B., 1984 [30], como segue:

$$Q_s = Q_{op} \times At \dots\dots\dots (24) \quad (W)$$

onde:

$$Q_{op} = \frac{\alpha K}{h_e} \cdot I_g + K \cdot \Delta t \dots\dots\dots (25) \quad (W/m^2)$$

Q_{op} = quantidade de calor radiante para material opaco (W/m^2)

Q_s = quantidade de calor solar (W)

α = coeficiente de absorção da radiação solar

K = coeficiente global de transmissão térmica ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

h_e = coeficiente de condutância superficial externa
($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

I_g = intensidade de radiação solar global (W/m^2)

Δt = gradiente de temperatura ($^\circ C$)

A_t = área do telhado (m^2)

Quanto à quantidade de calor transmitida por condução, é a seguinte:

$$Q_c = \frac{\lambda}{e} \cdot \Delta t \cdot A_p \dots\dots\dots (26) \quad (W)$$

onde:

Q_c = quantidade de calor de condução (W)

λ = coeficiente de condutância térmica ($W/m \text{ } ^\circ C$)

e = espessura da parede (m)

Δt = gradiente de temperatura ($^\circ C$)

A_p = área das paredes (m^2)

A eq.(26) é descrita em Frota, A.M. et al., 1984 [30], bem como em Koeninsberger, O. et al., 1978 [44].

As trocas de calor envolvidas na ventilação natural precisam ser estudadas em duas etapas: o calor transmitido para dentro da edificação, através das aberturas de entrada de ar localizadas frontalmente à direção principal dos ventos, e o calor removido por essa ventilação, ao sair pelas aberturas de saída do vento, localizadas em face oposta à direção predominante de vento. As equações que descrevem o fenômeno são analisadas pelo ASHRAE, 1983 [5], assim como por Carpenter, G.A., 1981 [21] e Bruce, J.M., 1981 [18].

A quantidade de calor vinda pelo fluxo de ar ventilado para dentro da edificação é dada pela eq. (27), da ASHRAE, 1983 [5]:

$$Q_{ve} = F \cdot \delta \cdot e \cdot t_e \dots\dots\dots (27) \quad (W)$$

e

$$F = E \cdot A \cdot v \dots\dots\dots (28) \quad (m^3/s)$$

onde:

Q_{ve} = calor transmitido por ventilação para dentro da edificação (W)

F = fluxo de entrada do ar (m^3/s)

E = eficiência das aberturas

A = área das aberturas (m^2)

v = velocidade dos ventos (m/s)

δ = densidade do ar (kg/m^3)

c = calor específico do ar ($J/kg^{\circ}C$)

t_e = temperatura externa do ar ($^{\circ}C$)

Quanto à eficiência das aberturas, são os seguintes os valores achados na referência acima citada: 0,5 a 0,6 para entrada de ar perpendicular ao fluxo, e 0,25 a 0,35 para aberturas diagonais ao fluxo.

O calor retirado da edificação pela ventilação é expresso como:

$$Q_{vs} = \xi \cdot N \cdot V \cdot t_i \dots\dots\dots (29) \quad (W)$$

onde:

Q_{vs} = quantidade de calor removido pela ventilação (W)

N = número de renovações de ar

V = volume da edificação (m^3)

ξ = constante experimental ($W/m^3 \text{ } ^\circ C$)

t_i = temperatura interna ($^\circ C$)

O número de renovações do ar é descrito por Frota, A.M. et al., 1984 [30] e Koeningsberger, O. et al., 1977 [44] como as vezes em que o volume de ar da edificação é renovado. Isso se dá principalmente quando o fluxo de ar vem com velocidade maior ou igual a 1 m/s. Para se estimar coerentemente as renovações do volume total ou parcial foi utilizada a seguinte variação de N:

para $6 \geq v \geq 4$ m/s , $N = 1$

$1 \leq v < 4$ m/s , $N = 0,5$

É muito raro $N = 0$ mesmo que a velocidade de vento se ja igual a zero, posto que a própria movimentação dos animais e pessoal técnico gera um fluxo de ar dentro da edificação.

O calor de evaporação é dado pela seguinte equação, de Bruce, J.M., 1981 [18]:

$$Q_e = Q_{ep} \cdot n + Q_{ea} \dots \dots \dots (30) \quad (W)$$

onde:

$$Q_{ep} = \left[75,6 \frac{v^{0,6}}{m^{0,13}} (t_p - t_i) + \frac{1}{5,3 + 91,3 \left(\frac{v^{0,6}}{m^{0,13}} \right)} \right] a_p \quad (W)$$

$$Q_{ea} = (\delta \cdot c \cdot v) t \times A_m \dots \dots \dots (31) \quad (W)$$

onde:

Q_e = calor total de evaporação (W)

Q_{ep} = calor latente de evaporação por porco (W)

Q_{ea} = calor sensível de evaporação da edificação (W)

a_p = área total da pele do porco (m^2)

v = velocidade do vento (m/s)

m = peso vivo do animal (kg)

δ = densidade do ar (kg/m^3)

c = calor específico do ar ($\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$)

t = gradiente de temperatura ($^\circ\text{C}$)

A_m = área de piso (m^2)

n = número de porcos.

A área total da pele do animal vivo é função de seu peso e pode ser descrita como:

$$a_p = 0,03 \cdot m^{0,67} \dots\dots\dots (37) \quad (\text{m}^2)$$

As equações aqui expostas, substituídas na eq. (20), descrevem o balanço térmico de uma edificação, com características construtivas especificadas e sendo utilizada para criação intensiva de suínos.

A avaliação do desempenho térmico da edificação vazia, será processada quando não houver animais dentro dela, ou seja, $n = 0$, ou ainda $Q_i = Q_e = 0$, resolvendo a eq. (20) para a incógnita t_i (temperatura interna).

CAPÍTULO 5

MATERIAL E MÉTODOS

Tendo sido estudadas as equações que descrevem o balanço térmico de uma edificação de abrigo para animais, fica estabelecido que a quantidade de calor que entra na edificação deve ser igual à quantidade de calor que deixa a edificação. Esse critério é apreciado não se considerando a capacidade de armazenamento de calor do prédio em um determinado instante. Tendo em vista a teoria já exposta nos itens anteriores, faz-se necessária uma avaliação experimental.

5.1. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Foi elaborado um programa de computador que calcula a quantidade total de troca de calor na edificação em um determinado instante.

5.1.1. DESCRIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA NO PROGRAMA

Foram inseridas nas equações que levam ao balanço térmico da edificação, os valores obtidos e mostrados nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

Os dados de temperatura interna e externa foram coletados às 7:00 horas e às 14:00 horas que, conforme literatura consultada, constituem-se nos pontos extremos de mínimo e máximo.

Para o cálculo da quantidade de calor por radiação solar Q_s , tanto para 7:00 horas como para 14:00 horas, a área de telhado computada foi de 80% da área real, uma vez que a irradiação solar direta não se dá ao mesmo tempo nas duas águas do telhado.

No cálculo da quantidade de calor de ventilação, Q_{v_s} , a área de aberturas foi computada como 50% da área total, conforme sugerido em ASHRAE, 1983 [5], pelo fato do vento se dire

Tabela 1 - Características físicas e térmicas da edificação estudada.

Coefficiente de condutância térmica das paredes (W/m ⁰ C)	0,50
Espessura das paredes (m)	0,10
Área de paredes (m ²)	75,0
Coefficiente de absorção da radiação solar	0,90
Coefficiente global de transmissão térmica (W/m ² °C)	1,44
Coefficiente de condutância superficial externa (W/m ² °C)	20,0
Área de telhado (m ²)	312,86
Volume de ar da edificação (m ³)	828,15
Constante experimental de ventilação (W/m ³ °C)	0,26
Eficiência das aberturas	0,3
Área das aberturas (m ²)	116,25
Área de piso (m ²)	312,50

Tabela 2 - Características climáticas do local em que se encontra a edificação estudada (Fazenda Baronesa, Km. 14, Rodovia Itatiba-Bragança Paulista, São Paulo).

Latitude	23°37'		
Longitude	46°39'		
Intensidade de radiação solar global (W/m ²) para 7 horas	set/out	116	
	meses nov/dez	201	
Intensidade de radiação solar global (W/m ²) para 14 horas	set/out	186	
	meses nov/dez	276	
Densidade do ar (Kg/m ³)	1,13 a 1,23		
Calor específico do ar (J/Kh ^{°C})	1.004,88		

Tabela 3

BALANÇO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

mes : SETEMBRO

I	I	I		I		I		I	I				
		VELOCIDADE	TEMPERATURA	TEMPERATURA	PESO								
I	I	DO VENTO	EXTERNA	INTERNA	DO PORCO								
I	I	(m/s)	(C)	(C)	(kg)								
I	I	7:00	14:00	7:00	14:00	7:00	14:00	I	I				
I	1	I	4.00	5.00	I	19.80	20.70	I	16.00	21.00	I	0.00	I
I	2	I	0.00	6.00	I	19.50	20.80	I	16.00	22.00	I	0.00	I
I	3	I	3.00	4.00	I	19.30	19.80	I	0.00	23.00	I	0.00	I
I	4	I	4.00	2.00	I	20.50	23.70	I	18.00	25.00	I	0.00	I
I	5	I	0.20	2.00	I	20.30	23.80	I	17.00	25.00	I	0.00	I
I	6	I	3.00	4.00	I	19.80	21.30	I	16.00	23.00	I	0.00	I
I	7	I	5.00	4.00	I	19.80	21.20	I	16.00	25.00	I	0.00	I
I	8	I	1.00	4.00	I	20.60	26.60	I	17.00	28.00	I	0.00	I
I	9	I	0.10	3.00	I	19.80	27.10	I	0.00	29.00	I	0.00	I
I	10	I	0.20	0.40	I	20.20	20.60	I	0.00	25.00	I	0.00	I
I	11	I	1.00	2.00	I	21.00	27.20	I	18.00	28.00	I	0.00	I
I	12	I	0.10	0.30	I	18.10	23.40	I	16.00	28.00	I	0.00	I
I	13	I	1.00	0.30	I	18.70	30.40	I	16.00	31.00	I	0.00	I
I	14	I	0.10	3.00	I	19.30	30.60	I	16.00	30.00	I	0.00	I
I	15	I	1.00	4.00	I	20.60	27.00	I	17.00	28.00	I	0.00	I
I	16	I	1.00	0.30	I	20.20	30.60	I	0.00	31.00	I	0.00	I
I	17	I	0.10	0.30	I	20.00	31.80	I	0.00	32.00	I	0.00	I
I	18	I	0.50	0.40	I	20.00	23.50	I	0.00	30.00	I	0.00	I
I	19	I	0.10	3.00	I	19.90	30.30	I	17.00	31.00	I	0.00	I
I	20	I	0.10	0.40	I	19.70	31.20	I	16.00	31.00	I	0.00	I
I	21	I	0.10	0.60	I	20.00	23.80	I	18.00	28.00	I	17.50	I *
I	22	I	1.00	4.00	I	21.00	28.20	I	16.00	29.00	I	18.20	I
I	23	I	0.10	0.30	I	20.20	27.40	I	0.00	31.00	I	19.06	I
I	24	I	1.00	2.00	I	21.20	24.00	I	18.00	30.50	I	19.84	I
I	25	I	0.10	0.20	I	12.00	26.00	I	0.00	29.50	I	20.62	I
I	26	I	0.10	0.10	I	12.00	27.50	I	0.00	30.00	I	21.40	I
I	27	I	0.10	0.10	I	13.00	27.50	I	16.00	31.00	I	22.18	I
I	28	I	0.10	0.10	I	13.00	26.00	I	16.00	29.50	I	22.96	I
I	29	I	0.00	2.00	I	23.00	26.10	I	18.00	30.00	I	23.74	I
I	30	I	0.00	0.20	I	22.50	25.10	I	20.00	29.00	I	24.52	I

* Início do experimento com 100 animais na edificação.

Tabela 4

BALANÇO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

mes : OUTUBRO

I	I	I		I		I		I	I				
		VELOCIDADE	TEMPERATURA	TEMPERATURA	PESO								
I	I	DO VENTO	EXTERNA	INTERNA	DO PORCO								
I	I	(m/s)	(C)	(C)	(kg)								
I	I	7:00	14:00	7:00	14:00	7:00	14:00	I	I				
I	1	I	0.00	0.00	I	11.00	20.00	I	9.00	25.00	I	25.30	I
I	2	I	0.10	0.00	I	11.00	25.50	I	8.50	23.50	I	26.86	I
I	3	I	1.00	1.00	I	20.90	25.50	I	15.00	24.00	I	27.64	I
I	4	I	0.10	0.30	I	14.00	28.50	I	13.50	26.50	I	28.42	I
I	5	I	1.00	3.00	I	11.80	30.00	I	10.00	29.50	I	29.20	I
I	6	I	1.00	2.00	I	13.00	29.50	I	12.50	27.00	I	29.98	I
I	7	I	0.00	3.00	I	15.00	30.50	I	13.00	26.00	I	30.76	I
I	8	I	1.00	4.00	I	17.50	21.50	I	12.00	25.00	I	31.54	I
I	9	I	1.00	2.00	I	16.40	25.00	I	14.50	22.00	I	32.32	I
I	10	I	3.00	3.00	I	14.00	25.00	I	12.00	22.50	I	33.10	I
I	11	I	2.00	2.00	I	15.00	26.00	I	13.00	23.00	I	33.88	I
I	12	I	2.00	0.00	I	11.50	26.50	I	10.00	22.50	I	34.66	I
I	13	I	1.00	2.00	I	12.50	31.00	I	10.00	28.00	I	35.44	I
I	14	I	1.00	2.00	I	12.50	25.00	I	11.00	23.50	I	36.22	I
I	15	I	0.00	1.00	I	9.50	30.00	I	9.50	25.00	I	37.00	I
I	16	I	1.00	3.00	I	9.50	34.00	I	8.00	0.00	I	37.78	I
I	17	I	1.00	4.00	I	11.00	23.50	I	9.00	0.00	I	38.56	I
I	18	I	3.00	2.00	I	17.50	30.00	I	15.00	27.00	I	39.34	I
I	19	I	0.00	1.00	I	16.00	29.50	I	15.00	27.00	I	40.12	I
I	20	I	1.00	5.00	I	16.50	30.00	I	16.00	0.00	I	40.90	I
I	21	I	0.30	3.00	I	20.00	27.00	I	0.00	0.00	I	41.68	I
I	22	I	0.00	0.00	I	21.50	25.50	I	0.00	0.00	I	42.46	I
I	23	I	1.00	4.00	I	13.00	29.50	I	10.00	25.50	I	43.24	I
I	24	I	1.00	2.00	I	15.00	26.50	I	14.00	23.50	I	44.02	I
I	25	I	1.00	0.20	I	16.50	28.50	I	15.50	25.50	I	44.80	I
I	26	I	2.00	3.00	I	18.50	29.50	I	16.00	24.50	I	45.58	I
I	27	I	0.00	3.00	I	19.50	27.50	I	16.00	25.00	I	46.36	I
I	28	I	1.00	4.00	I	17.50	27.50	I	0.00	24.00	I	47.14	I
I	29	I	2.00	2.00	I	17.00	22.50	I	0.00	0.00	I	47.92	I
I	30	I	1.00	0.10	I	16.50	20.40	I	0.00	0.00	I	48.70	I

Tabela 5

BALANÇO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

mes : NOVEMBRO

I	I	I		I		I		I	I
		VELOCIDADE	TEMPERATURA	TEMPERATURA	PESO				
I DIA	I	DO VENTO	EXTERNA	INTERNA	DO PORCO				
I	I	(m/s)	(C)	(C)	(kg)				
I	I	7:00 14:00	7:00 14:00	7:00 14:00	I				
I 1	I	1.00	0.20	I 18.50	30.10	I 16.00	28.00	I 49.48	I
I 2	I	1.00	0.00	I 18.00	29.50	I 19.00	26.00	I 50.26	I
I 3	I	1.00	3.00	I 16.50	21.50	I 0.00	0.00	I 51.04	I
I 4	I	2.00	2.00	I 16.50	20.50	I 0.00	0.00	I 51.82	I
I 5	I	0.40	0.40	I 13.60	26.20	I 0.00	0.00	I 52.60	I
I 6	I	3.00	3.00	I 15.90	21.50	I 20.00	29.00	I 53.38	I
I 7	I	1.00	0.20	I 14.00	27.50	I 0.00	0.00	I 54.16	I
I 8	I	1.00	3.00	I 13.50	27.00	I 19.00	27.00	I 54.94	I
I 9	I	0.10	0.00	I 21.20	28.00	I 0.00	0.00	I 55.72	I
I 10	I	0.20	4.00	I 25.00	28.60	I 18.00	29.00	I 56.50	I
I 11	I	1.00	0.00	I 20.50	28.50	I 21.00	29.00	I 57.28	I
I 12	I	2.00	0.00	I 20.50	27.00	I 21.00	27.00	I 58.06	I
I 13	I	4.00	0.00	I 20.30	31.00	I 0.00	0.00	I 58.84	I
I 14	I	0.00	0.10	I 14.20	24.00	I 20.00	30.00	I 59.62	I
I 15	I	2.00	3.00	I 14.70	37.00	I 0.00	0.00	I 60.40	I
I 16	I	1.00	4.00	I 14.50	23.10	I 22.00	31.00	I 61.18	I
I 17	I	2.00	4.00	I 26.50	23.50	I 15.00	25.00	I 61.96	I
I 18	I	1.00	5.00	I 15.60	26.50	I 18.00	25.00	I 62.74	I
I 19	I	3.00	3.00	I 18.50	30.00	I 0.00	0.00	I 63.52	I
I 20	I	0.10	3.00	I 19.00	25.50	I 16.00	27.00	I 64.30	I
I 21	I	0.00	4.00	I 16.20	26.70	I 0.00	0.00	I 65.08	I
I 22	I	0.00	6.00	I 17.50	24.00	I 21.00	23.00	I 65.86	I
I 23	I	6.00	8.00	I 22.30	24.60	I 0.00	0.00	I 66.64	I
I 24	I	0.00	0.00	I 23.90	37.80	I 0.00	0.00	I 67.42	I
I 25	I	1.00	3.00	I 18.00	22.00	I 22.00	29.00	I 68.20	I
I 26	I	0.00	4.00	I 15.00	24.00	I 23.00	32.00	I 68.98	I
I 27	I	1.00	3.00	I 16.40	24.70	I 0.00	0.00	I 69.76	I
I 28	I	4.50	6.00	I 17.00	21.70	I 22.00	30.00	I 70.54	I
I 29	I	4.00	4.00	I 17.70	18.50	I 0.00	0.00	I 71.32	I
I 30	I	0.00	2.00	I 19.00	17.00	I 21.00	32.00	I 72.10	I

Tabela 6

BALANÇO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

mes : DEZEMBRO

I	I	I		I		I		I	I				
		VELOCIDADE	TEMPERATURA	TEMPERATURA	PESO								
I	I	DO VENTO	EXTERNA	INTERNA	DO PORCO								
I	I	(m/s)	(C)	(C)	(kg)								
I	I	7:00	14:00	7:00	14:00	7:00	14:00	I	I				
I	1	I	0.00	3.00	I	21.90	28.50	I	19.50	26.00	I	72.88	I
I	2	I	1.00	2.00	I	22.50	25.50	I	19.00	25.00	I	73.66	I
I	3	I	1.50	2.50	I	22.00	28.00	I	18.00	24.50	I	74.44	I
I	4	I	2.00	2.50	I	17.00	16.50	I	16.00	15.00	I	75.22	I
I	5	I	2.50	2.00	I	17.20	22.20	I	15.00	20.00	I	76.00	I
I	6	I	1.00	2.00	I	15.50	28.20	I	15.00	25.50	I	76.78	I
I	7	I	0.00	2.50	I	14.00	27.70	I	13.00	25.00	I	77.56	I
I	8	I	0.00	2.50	I	16.70	23.50	I	13.50	20.00	I	78.34	I
I	9	I	0.00	1.00	I	18.00	24.00	I	0.00	0.00	I	79.12	I
I	10	I	0.00	1.00	I	18.00	25.00	I	15.00	0.00	I	79.90	I
I	11	I	1.50	2.50	I	18.20	23.50	I	15.50	22.00	I	80.68	I
I	12	I	0.00	0.00	I	20.50	25.00	I	16.00	0.00	I	81.46	I
I	13	I	2.00	3.00	I	22.50	23.50	I	0.00	0.00	I	82.24	I
I	14	I	1.00	2.00	I	22.30	22.50	I	0.00	0.00	I	83.02	I
I	15	I	0.00	3.00	I	20.40	24.80	I	18.00	23.00	I	83.80	I
I	16	I	0.00	2.00	I	25.00	26.70	I	20.00	25.00	I	84.58	I
I	17	I	1.50	1.00	I	25.60	29.50	I	0.00	25.50	I	85.36	I
I	18	I	0.00	0.00	I	20.00	0.00	I	0.00	0.00	I	86.14	I
I	19	I	1.00	2.00	I	24.70	28.50	I	22.00	25.00	I	86.92	I
I	20	I	0.00	2.50	I	21.20	23.00	I	20.00	22.00	I	87.70	I
I	21	I	0.00	2.00	I	24.50	26.00	I	20.50	25.00	I	88.48	I
I	22	I	0.00	0.00	I	25.20	0.00	I	0.00	0.00	I	89.26	I
I	23	I	2.00	3.00	I	23.70	23.50	I	18.50	22.00	I	90.04	I
I	24	I	2.00	2.00	I	22.00	28.00	I	18.00	26.00	I	90.82	I
I	25	I	0.00	0.00	I	15.60	23.50	I	0.00	0.00	I	91.60	I
I	26	I	1.00	3.00	I	24.00	27.00	I	0.00	25.00	I	92.38	I
I	27	I	0.00	4.00	I	24.00	22.00	I	20.00	21.00	I	93.16	I
I	28	I	1.00	1.00	I	21.50	0.00	I	0.00	0.00	I	93.94	I
I	29	I	2.00	2.00	I	24.50	0.00	I	20.00	25.00	I	94.72	I
I	30	I	0.00	0.00	I	24.20	23.50	I	22.00	0.00	I	95.50	I

cionar em, no máximo, 50% das aberturas para entrada.

Com respeito ao cálculo do calor de evaporação, Q_e , a área do piso sujeita à exposição constante de umidade excessiva, foi considerada como 10% da área total do piso, conforme sugerido por Bruce, M.J., 1981 [18].

A densidade do ar, por ser função da temperatura, teve variação de 1,13 a 1,23 Kg/m³.

5.1.2. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA

A edificação é localizada na Fazenda Baroneza, km. 14 da Rodovia Itatiba-Bragança Paulista. Construída na direção nordeste-sudoeste. Tem como materiais de construção, blocos comuns de concreto de 0,10 m de espessura revestidos com argamassa grossa. O telhado é de telha de fibro-cimento pintado de preto. O piso é de pedra mineira, com exceção dos ripados de concreto que ocupam cerca de 10% da baía (vista parcial na Fig. 21).

5.2. COLETA DE DADOS

Foram tomados os dados climáticos necessários para a solução das equações contidas no equilíbrio térmico, às 7:00 horas e às 14:00 horas, que, conforme literatura consultada, constituem-se nos pontos extremos de mínimo e máximo de temperatura do ar.

5.2.1. COLETA DE DADOS DA TEMPERATURA INTERNA

Temperatura e fluxo de calor estão intimamente relacionados.



Fig. 21 - Vista parcial da edificação estudada.

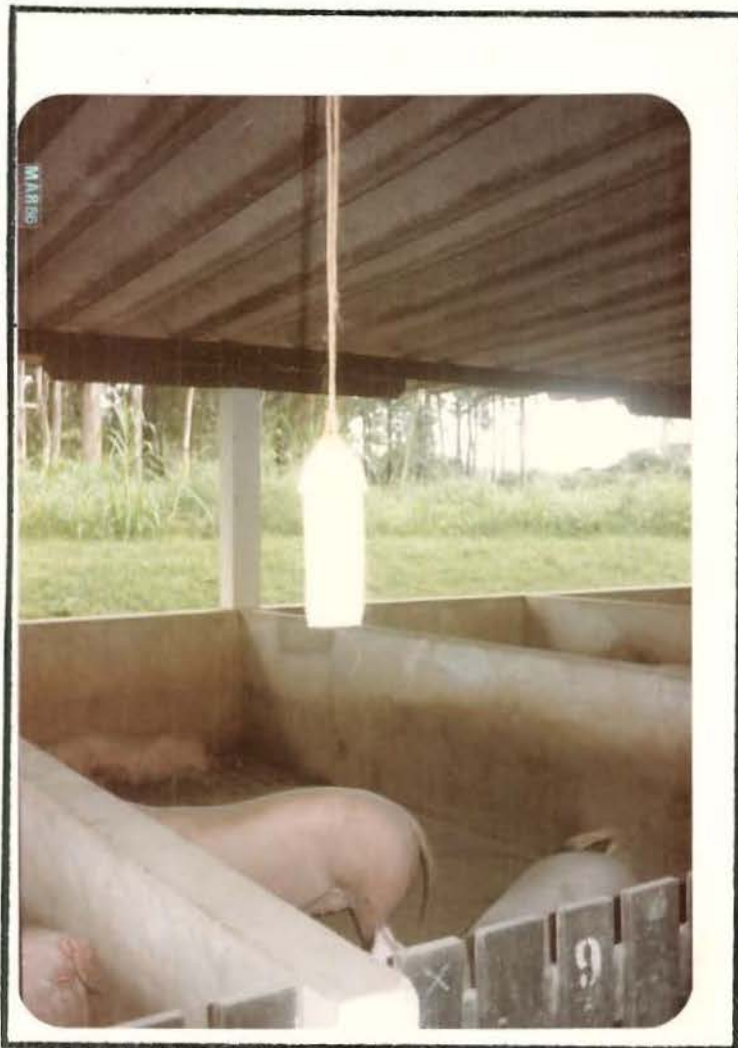


Fig. 22 - Posição do termômetro de máxima e mínima.

A mediçãõ de temperaturas internas estã circundada por trẽs problemas: (1) localizaçãõ do instrumento; (2) medida da temperatura de bulbo seco sem o efeito de radiaçãõ das paredes circunvizinhas e (3) medida de variações bruscas de temperatura.

Bond, T.E., 1969 [17] recomenda a localizaçãõ do termõmetro perto do animal. Entretanto, ẽ difıcil de se conseguir uma proximidade desejãvel, sem que o equipamento seja danificado. No caso especıfıco desse experimento, foi utilizado o termõmetro de mãxima e mınima, disposto no centro geomẽtrico de 90% da ẽrea de piso das baias, onde se concentram os animais, exatamente no seu limite de alcance, conforme Fig. 22.

O efeito de radiaçãõ em medidas de temperatura de bulbo seco e de termõmetro de mercũrio, ẽ discutido por Gebhart, B., 1971 [31], sem todavia ser quantificado. O mesmo ẽ discutido por Bond, T.E., 1969 [17], que recomenda o termõmetro de globo para as medidas de calor radiante do ambiente, mostrando entretanto limitações concernentes a situações em que o calor de ventilaçãõ seja alto, devido a variações significativas de velocidade do vento em edificações abertas.

Uma vez que foi introduzido na equaçãõ de equilıbrio tẽrmico um termo matemãtico a respeito da quantidade de calor por radiaçãõ solar, os termõmetros de mãxima e mınima, distribuidos em trẽs localizações geometricamente eqũidistantes na edificaçãõ, registraram valores com precisãõ de $0,5^{\circ}\text{C}$, o que ẽ um valor de divisãõ de escala comum nos termõmetros.

5.2.2. COLETA DE DADOS DA TEMPERATURA EXTERNA

As medidas de temperatura externa foram tomadas de termõmetro de mãxima e mınima, localizados em abrigo, conforme mostram as Figs. 23a e b. As dimensões do abrigo sãõ de acordo com o estabelecido em estações meteorolõgicas oficiais. O abrigo contendo



Fig. 23a - Vista da casa de proteção dos termômetros para leitura de temperatura externa.

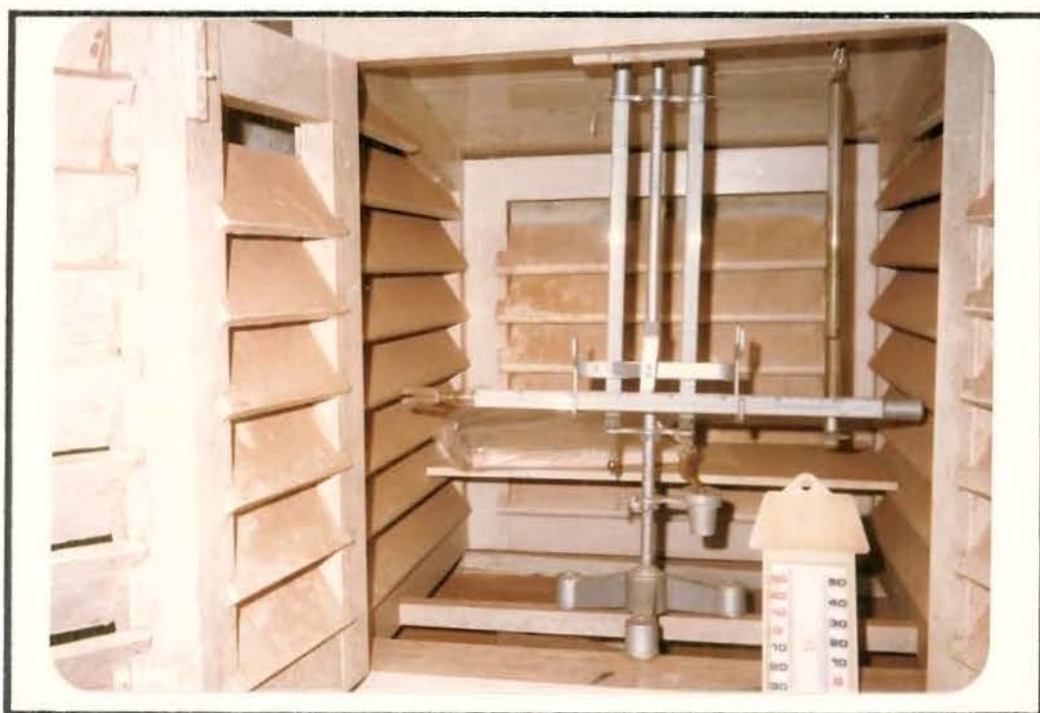


Fig. 23b - Vista dos instrumentos de medidas externas.

o termômetro, foi localizado a 15 metros da edificação estudada.

5.2.3. COLETA DE DADOS DO VENTO

Os valores obtidos para o vento local foram através da leitura visual do anemômetro tipo Catavento Wild, localizado a 15 m da edificação em área aberta, livre de obstáculos, como mostra a Fig. 24.

5.3. DURAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado concomitantemente com um teste de produtividade. O número de animais inicial e final de 100 cabeças. O peso médio inicial foi de 17,50 Kg e o final foi de 95,50 Kg, quando retirados do prédio para abate.

Foi utilizada uma densidade de 10 porcos por baia do início ao fim do teste.

O arraçoamento utilizado foi o usualmente recomendado e já utilizado para engorda, pela firma que cedeu a edificação e os animais para serem experimentados.

O início do teste foi 21 de setembro de 1985 e o final em 30 de dezembro do mesmo ano.



Fig. 24 - Catavento Wild usado no experimento.

CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E
CONCLUSÕES

6.1. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na literatura consultada há considerável evidência experimental mostrando estatisticamente que temperatura do ar, de 8°C a 10°C acima ou abaixo da região de conforto, unidade re_lativa ambiente acima de 75%, velocidade de ventos acima de 4,00 m/s, alta precipitação atmosférica, fotoperíodo, poeira e sons de alta frequência, modificam consideravelmente o desempenho dos animais.

Dentre os vários componentes do meio ambiente inter_no de uma estrutura de abrigo para suínos, o fator que mais influ_ncia a variação de temperatura e contribui para a disper_são de gases é a ventilação adequada.

Os resultados da equação de balanço térmico testada experimentalmente foram condizentes com o teoricamente espera_do.

Quando vazia, a edificação refletiu um comportamento térmico de receber sempre o calor de fora para dentro. No dia em que foram colocados os animais, começou a entrar em ação a produção de energia dentro da edificação. Não houve variação significativa no gráfico de temperatura interna enquanto os a_nimais estavam ainda sob o arroçoamento inicial. Entretanto, hou_ve produção de calor, conforme indica o gráfico da equação de equilíbrio térmico.

Considerando que serão críticas as condições simultâ_nneas de:

- a) baixa temperatura associada à alta velocidade de vento, para animais de pequeno porte, e
- b) alta temperatura associada à baixa velocidade de vento, para animais de médio a grande porte, ou seja, na fase final da terminação, foram observa_dos os resultados mencionados a seguir.

6.1.1. RESULTADOS DO MÊS DE SETEMBRO

Não ocorreu simultaneamente baixa temperatura no horário da mínima diária associada com alta velocidade de vento. Embora no início do teste, a 21 de setembro, tenha sido registrada uma queda da temperatura ambiente, o prédio manteve uma temperatura interna estável graças ao calor produzido pelos leitões. Essa condição ambiental é certamente desfavorável à produtividade dos animais. A partir do dia do mesmo mês, houve aumento da temperatura ambiente externa, levando a edificação ao equilíbrio térmico adequado, no horário de temperaturas mínimas. Os animais pesaram, em média, no final do mês, 24,52 kg.

6.1.2. RESULTADOS DO MÊS DE OUTUBRO

No mês de outubro, ocorreram concomitantemente baixas temperaturas associadas a altas velocidades do vento nos dias 10 e 18. Às 7:00 horas havia um gradiente negativo de temperatura na edificação de 2°C e $2,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Nessa ocasião, os animais pesavam em média 33,10 kg e 39,34 kg, respectivamente. Para essa faixa de peso, a temperatura crítica é de 17°C , segundo Carpenter, G.A. [21]. Todavia, um gradiente de temperatura dessa ordem leva a um balanço térmico negativo, ou seja, o calor produzido na edificação está sendo totalmente transferido para fora pela ventilação de 3 m/s. Nos mesmos dias, às 14:00 h, as temperaturas atingiram os níveis de $22,5^{\circ}\text{C}$ e 27°C . com praticamente a mesma velocidade de ventilação, levando o balanço térmico a níveis compatíveis com a produtividade. Houve níveis máximos de ventilação à tarde, nos dias 23 e 28, sem entretanto causar variação significativa nos valores de temperatura interna, que se manteve dentro da faixa de termo-neutralidade para animais pesando 43,24 kg e 47,14 kg, respectivamente.

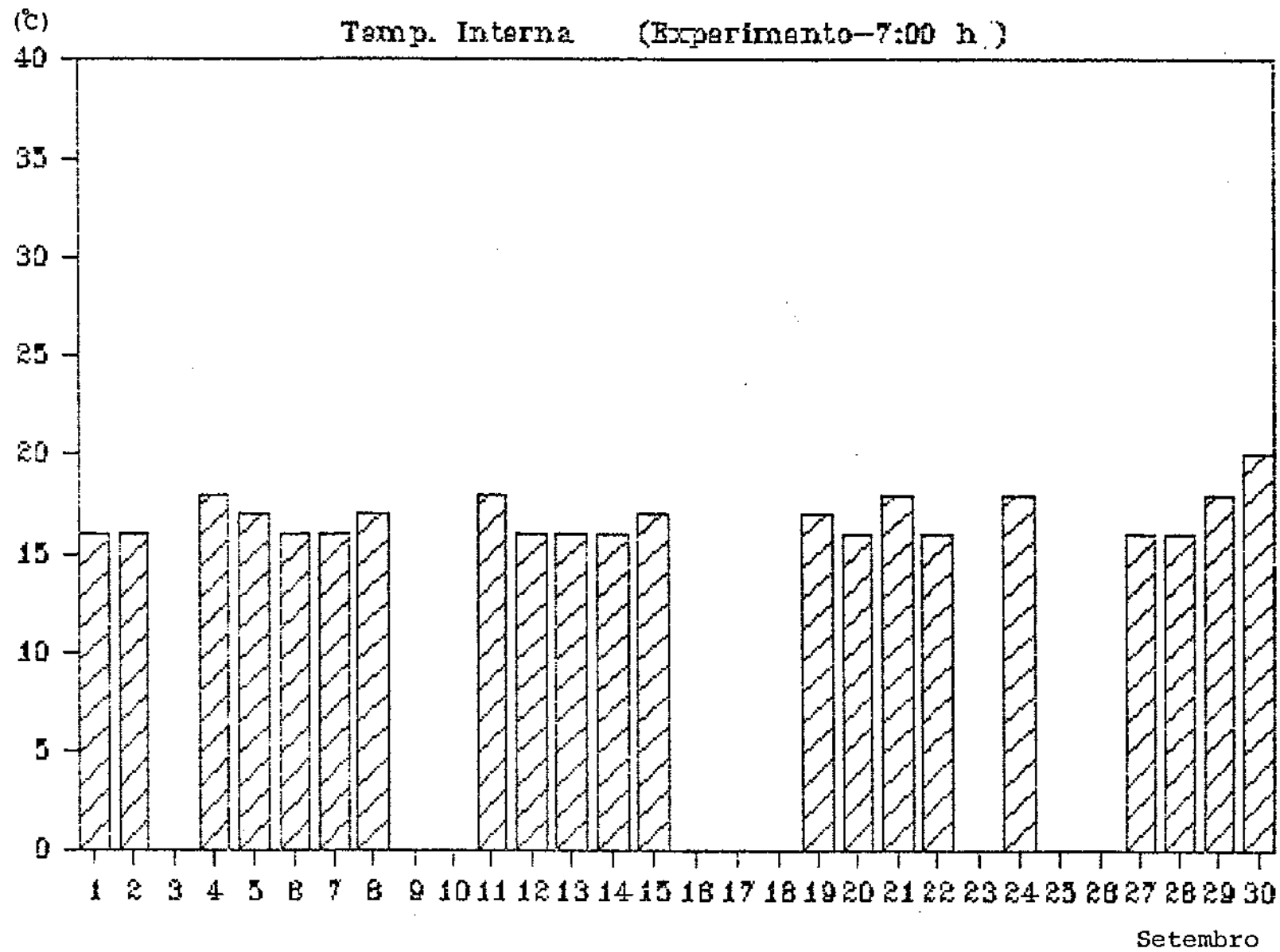


Fig. 25 - Gráfico das Temperaturas Internas

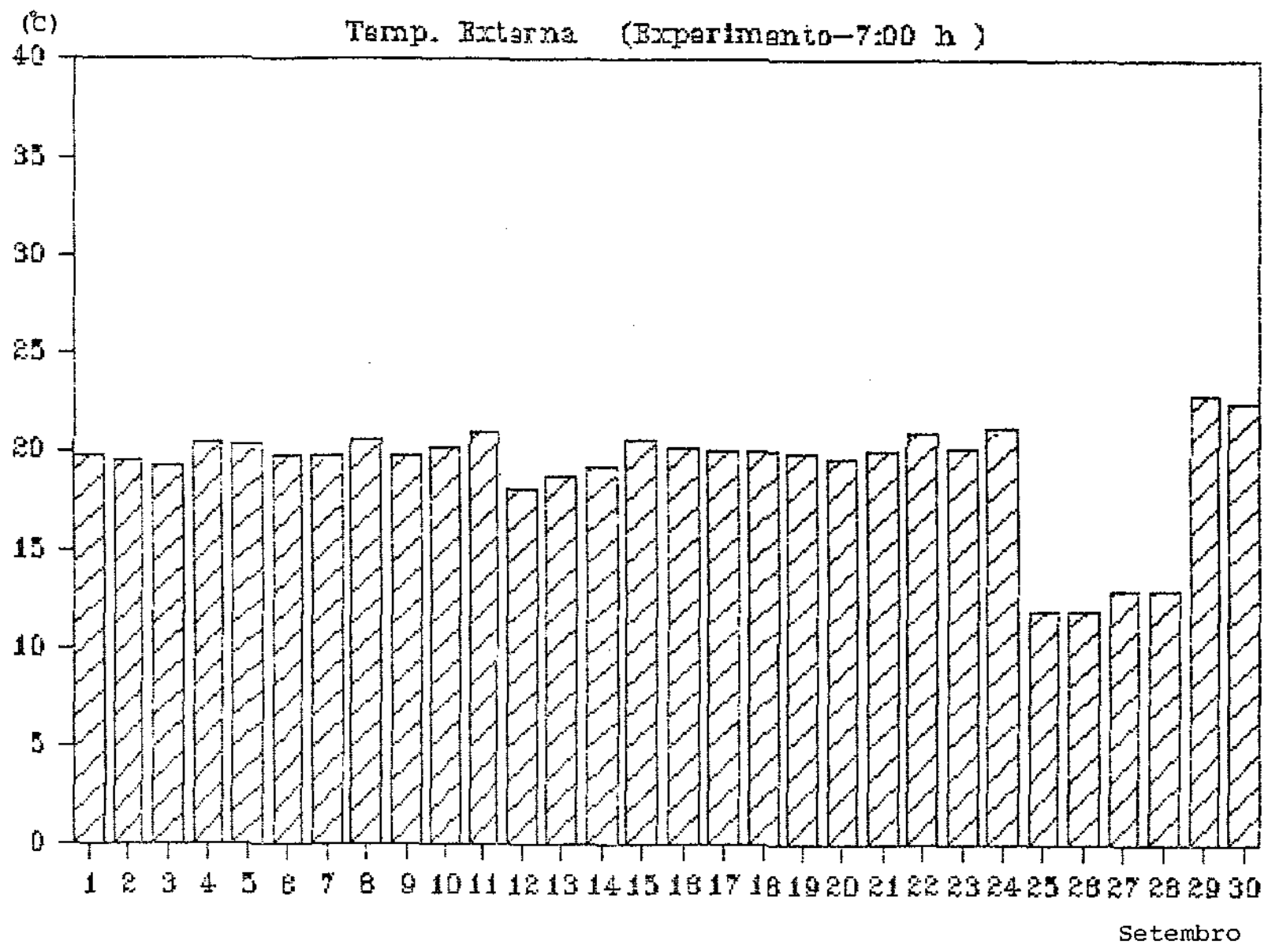


Fig. 26 - Gráfico das Temperaturas Externas

(m/s)

Veloc. Vento (Experimento-7:00 h)

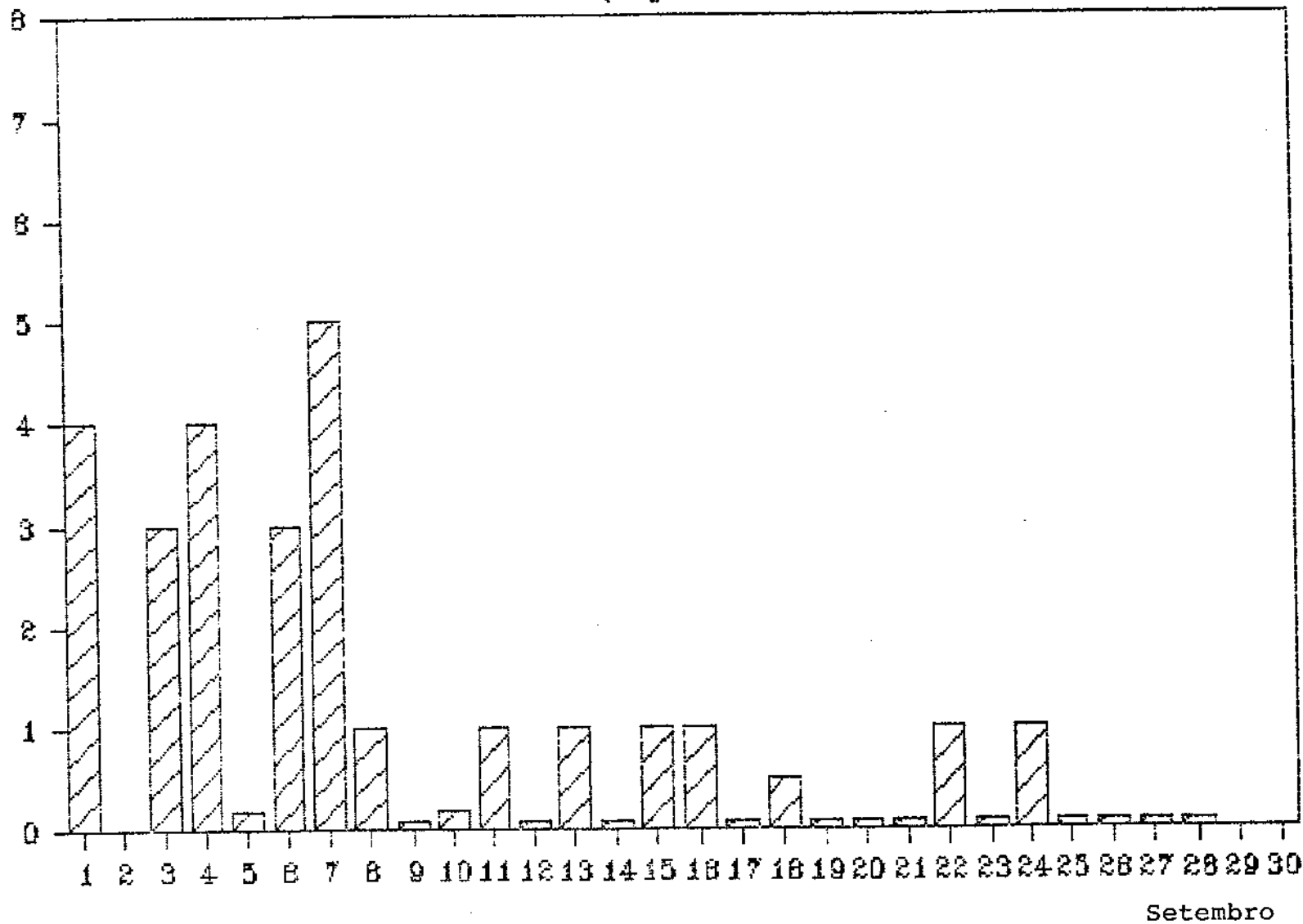


Fig. 27 - Gráfico das Velocidades do Vento

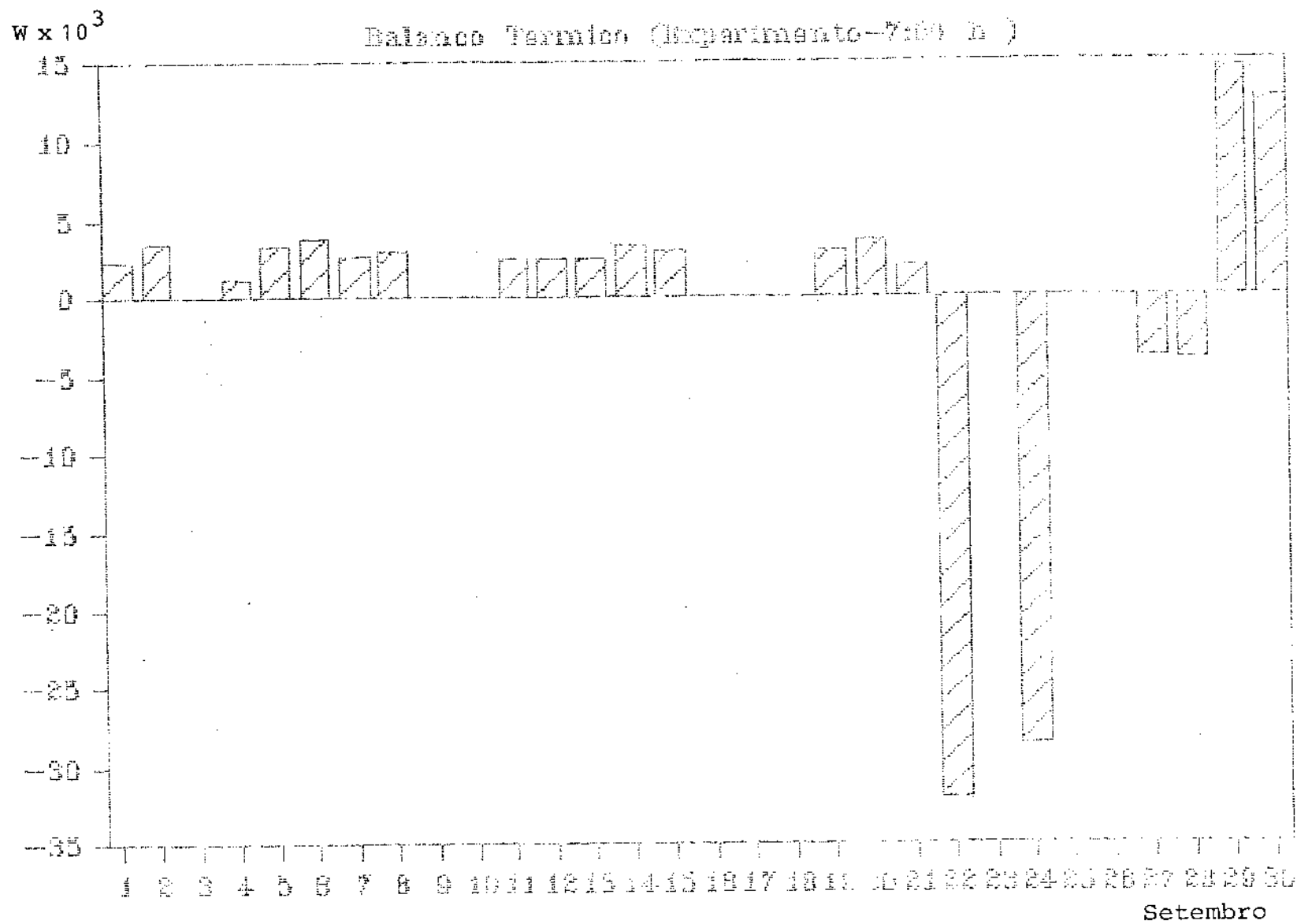


Fig. 28 - Gráfico do Balanço Térmico

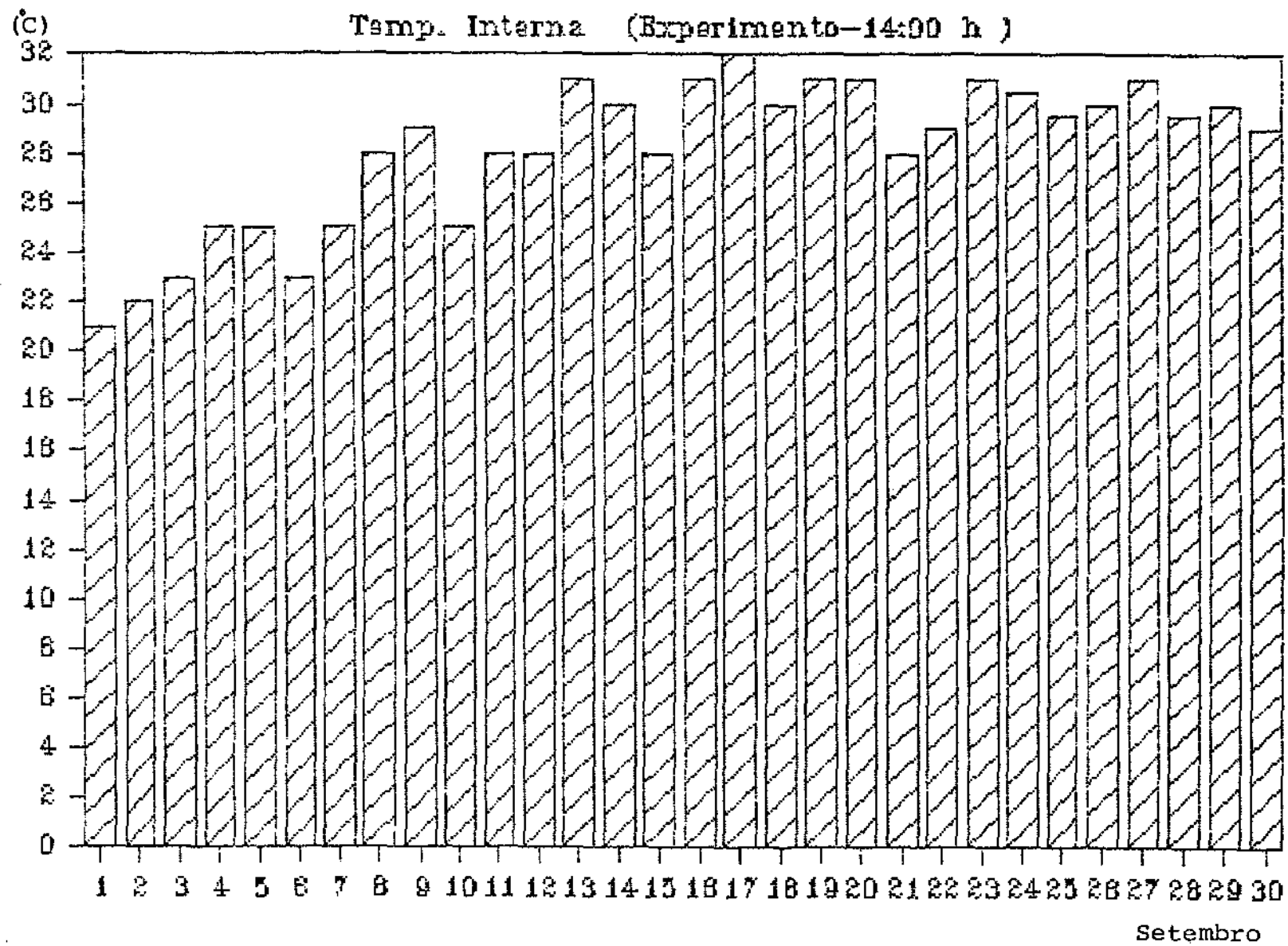


Fig. 29 - Gráfico das Temperaturas Internas

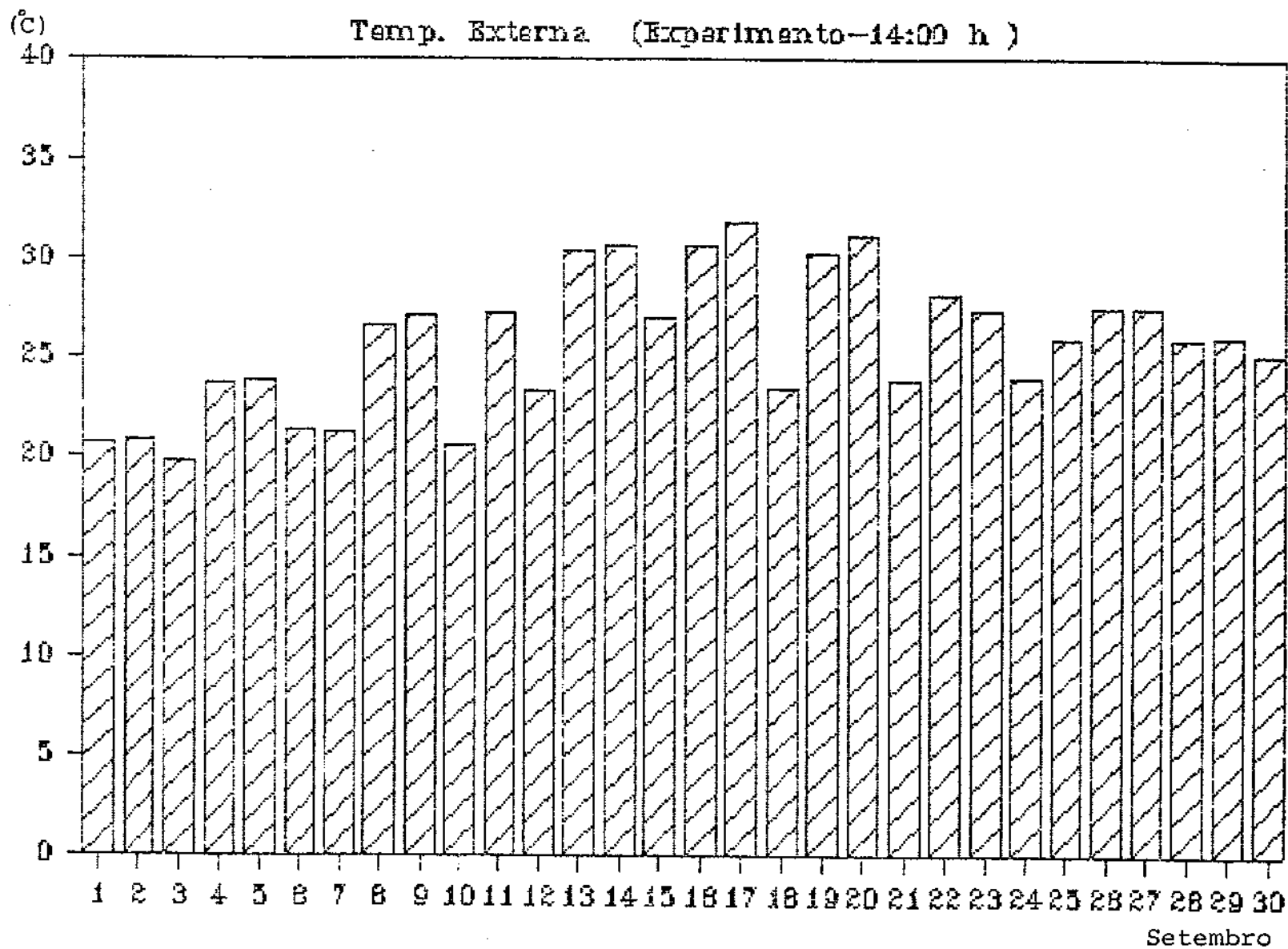


Fig. 30 - Gráfico das Temperaturas Externas

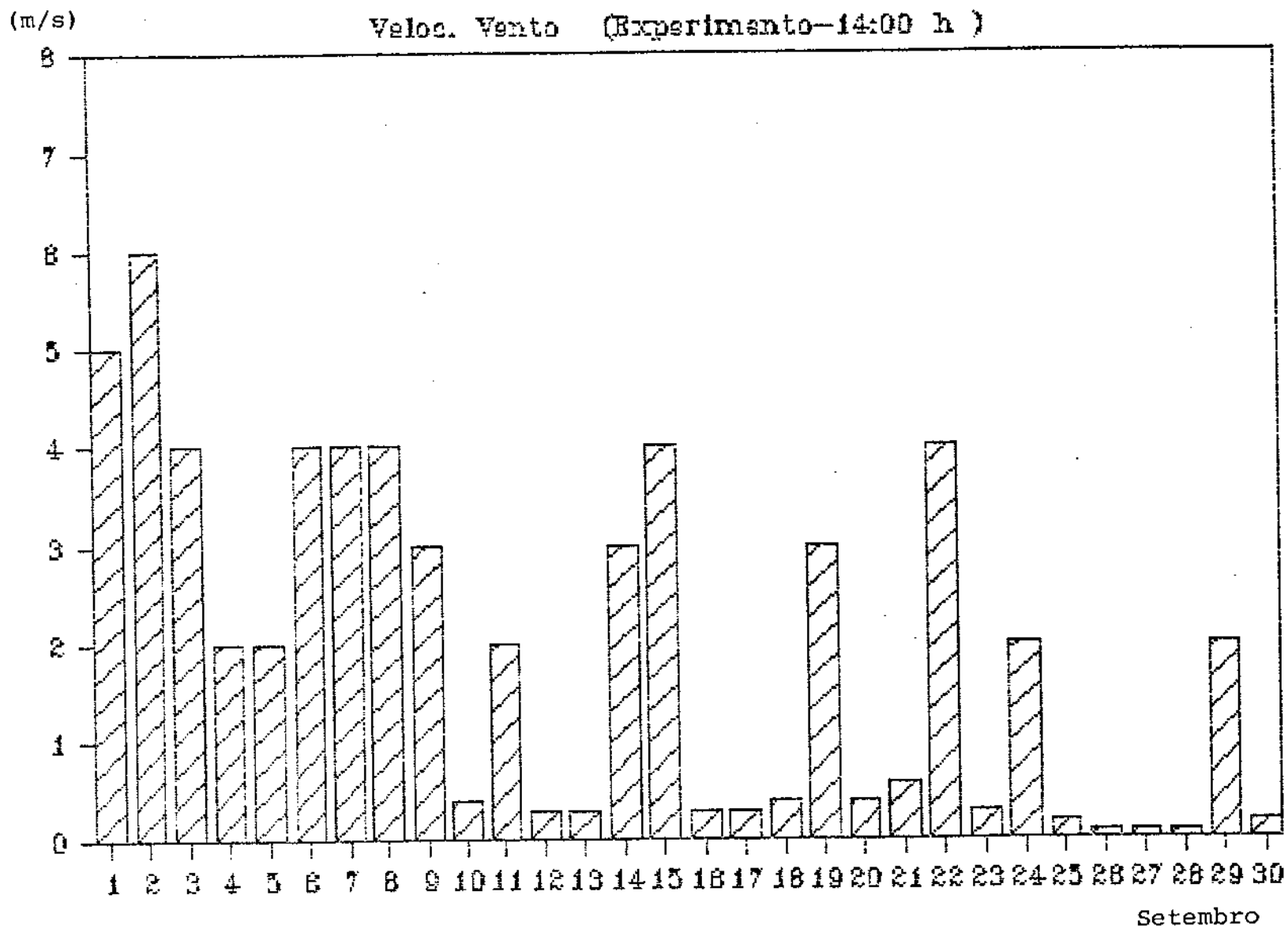


Fig. 31 - Gráfico das Velocidades do Vento

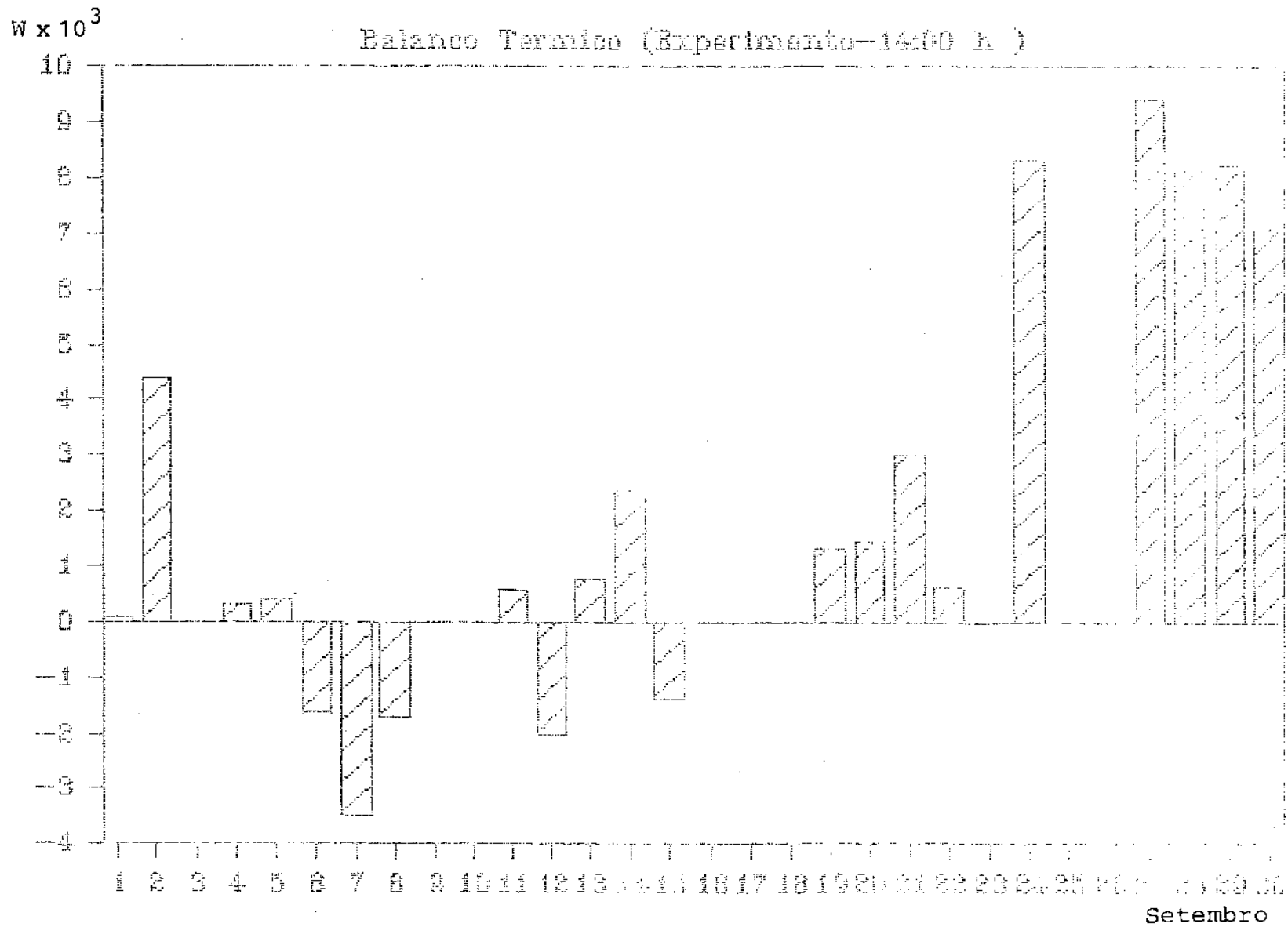


Fig. 32 - Gráfico do Balanço Térmico

UNIVERSIDADE
BIBLIOTECA CENTRAL

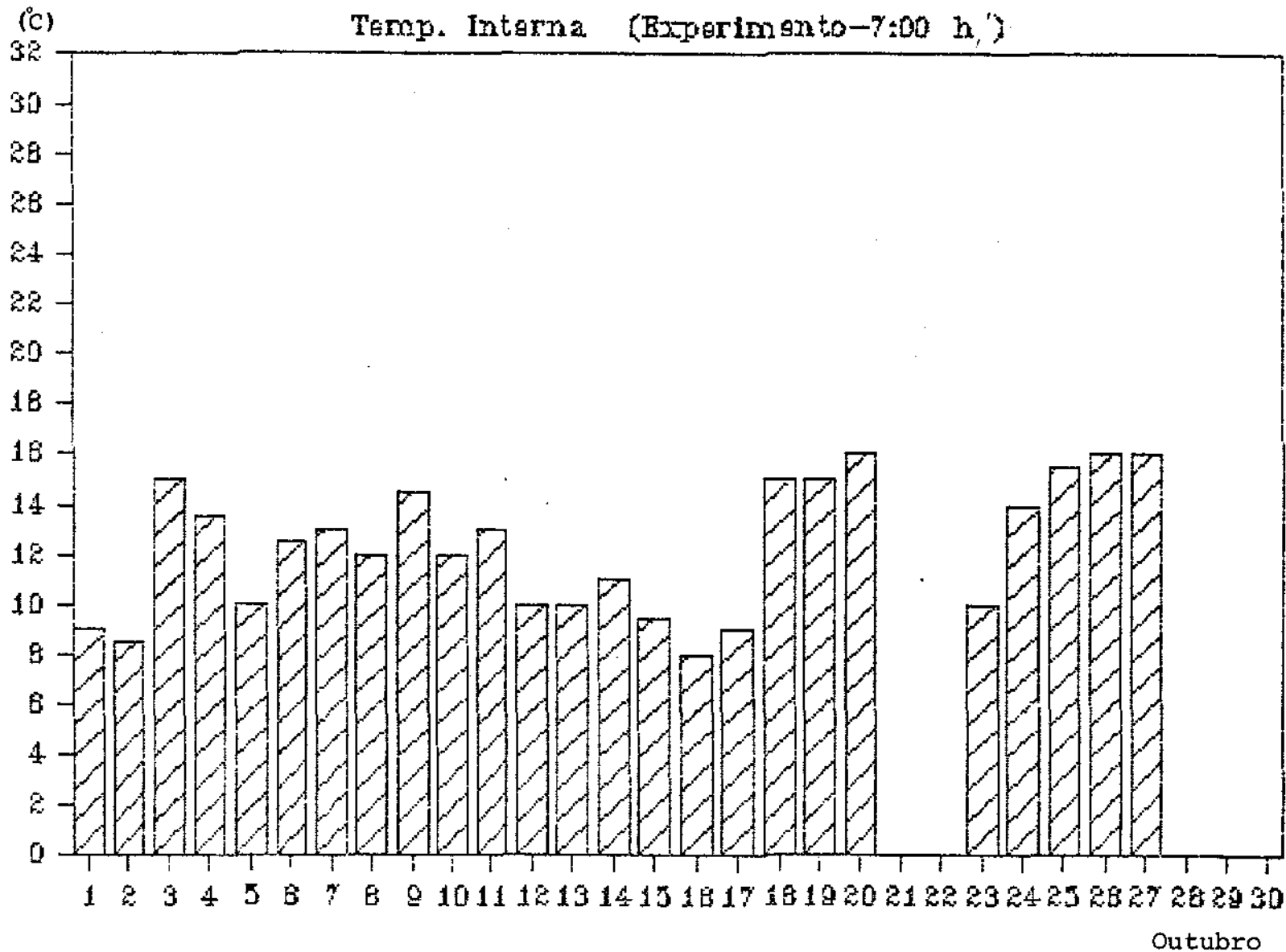


Fig. 33 - Gráfico das Temperaturas Internas

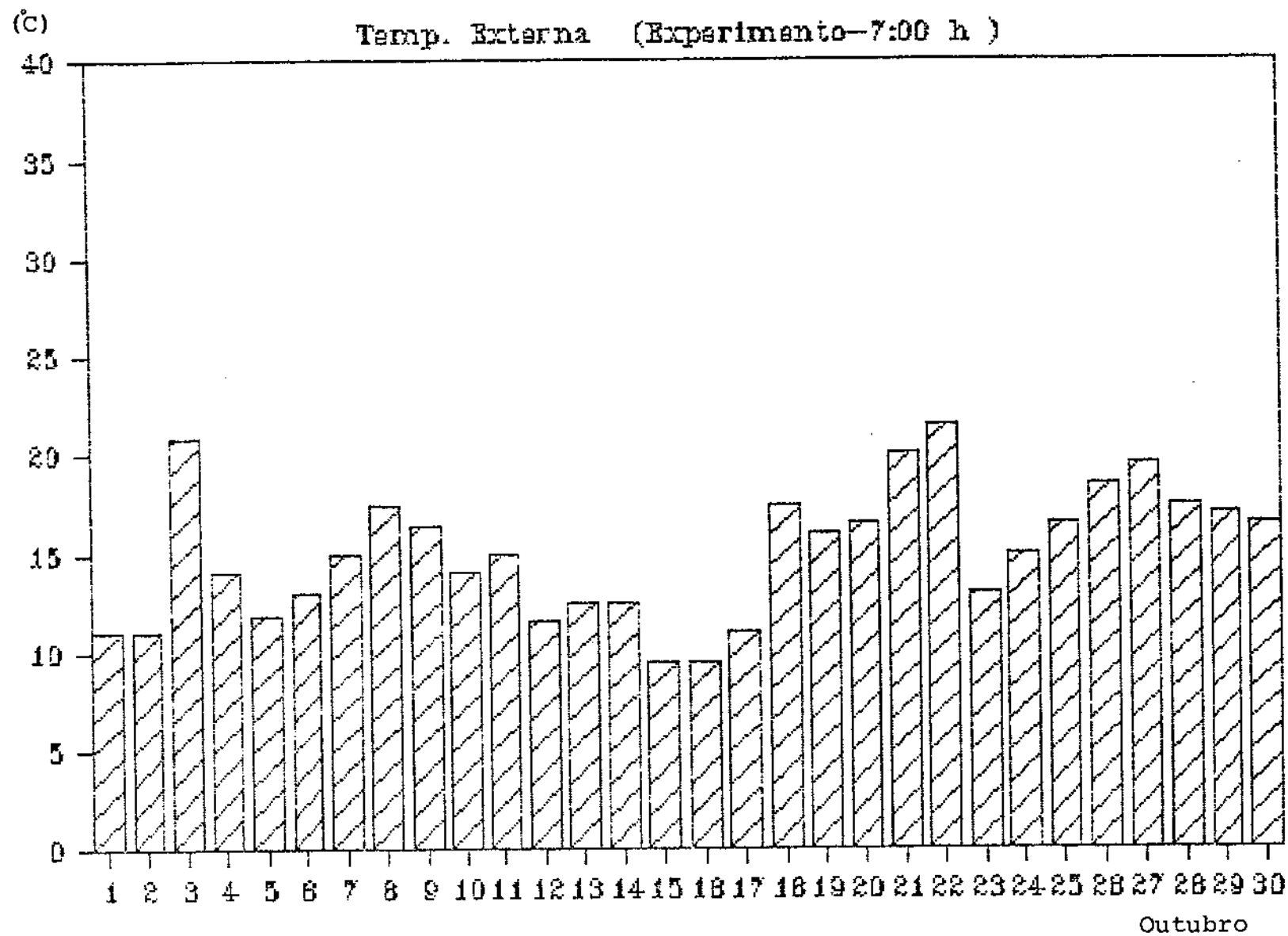


Fig. 34 - Gráfico das Temperaturas Externas

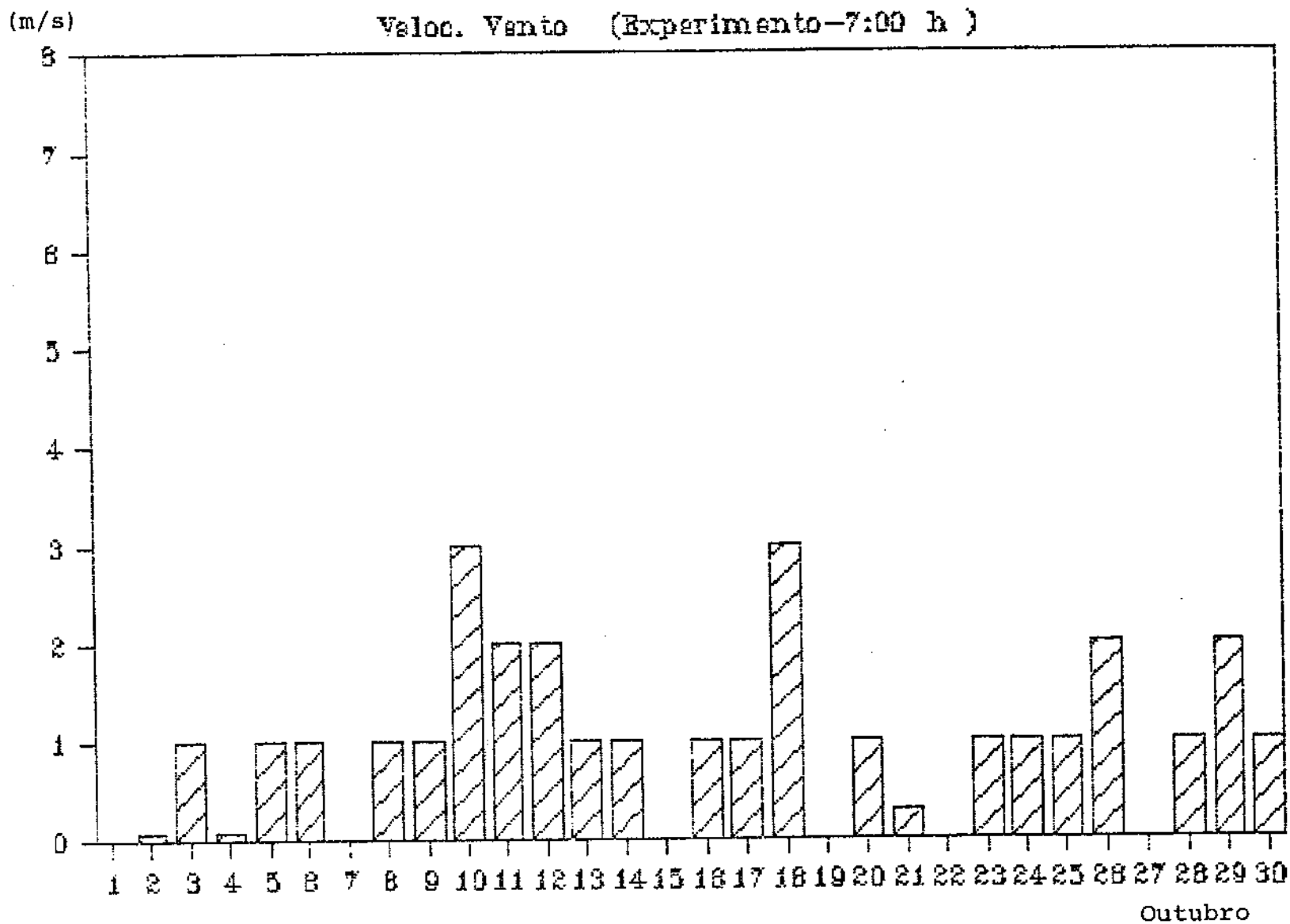


Fig. 35 - Gráfico das Velocidades do Vento

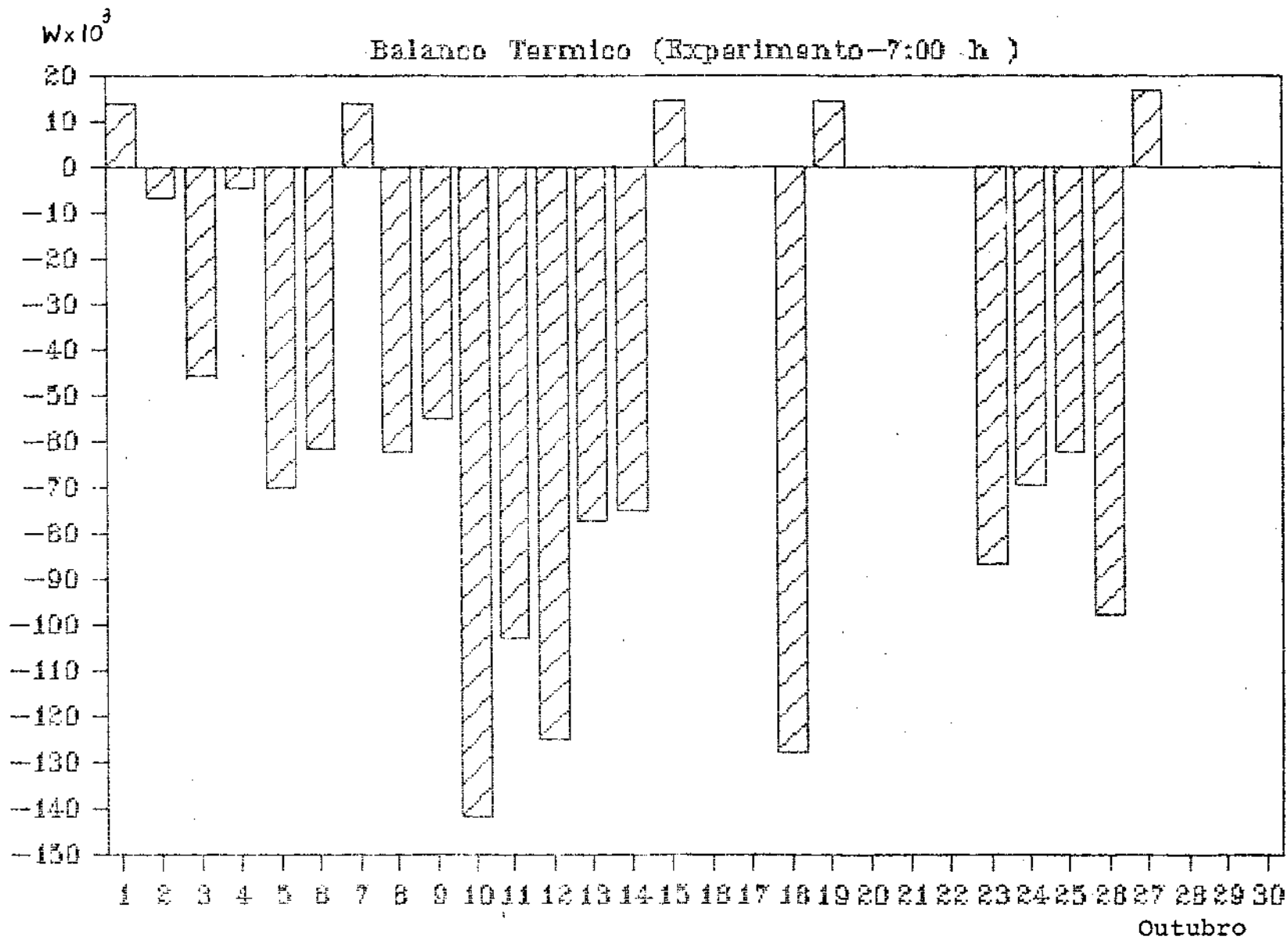


Fig. 36 - Gráfico do Balanço Térmico

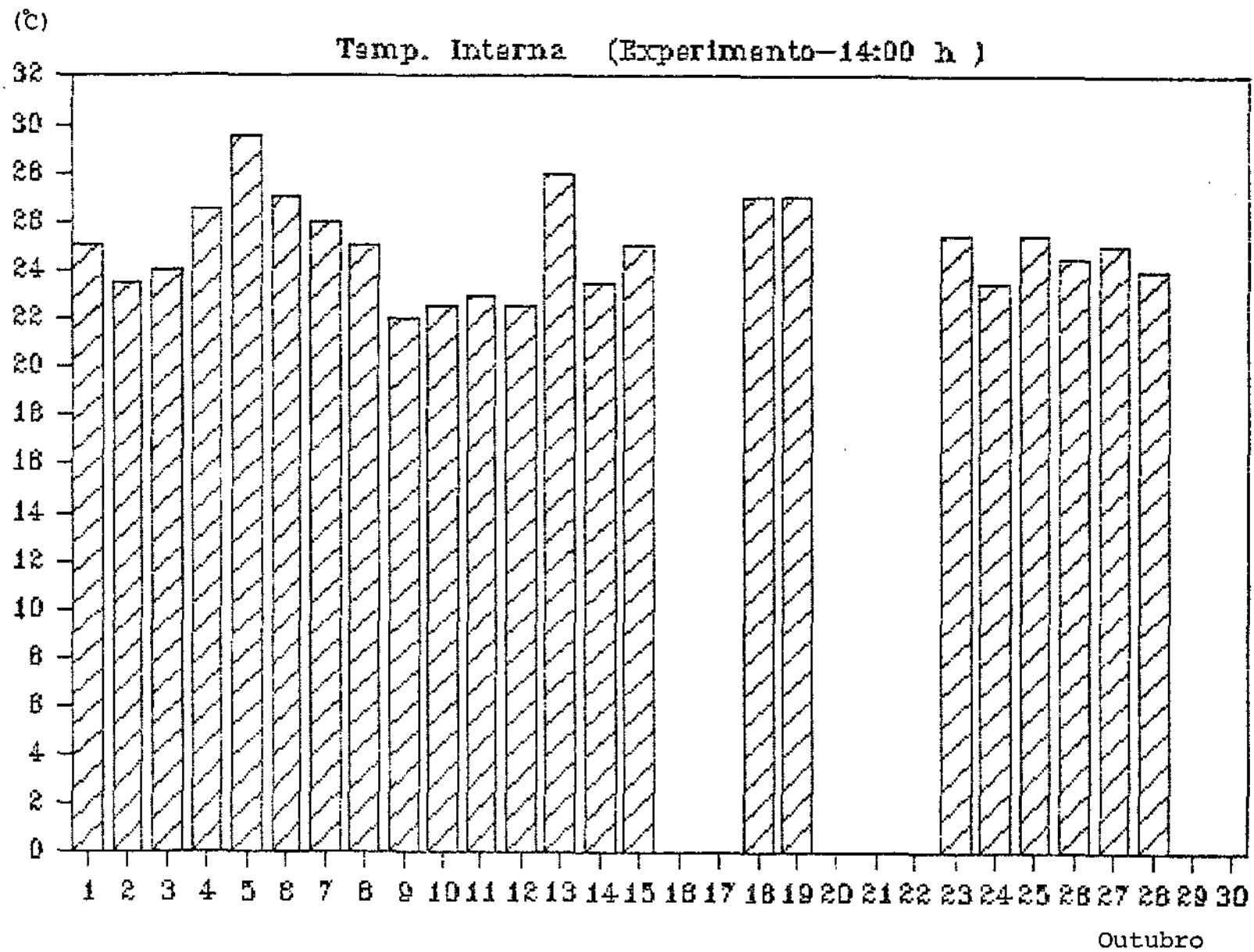


Fig. 37 - Gráfico das Temperaturas Internas

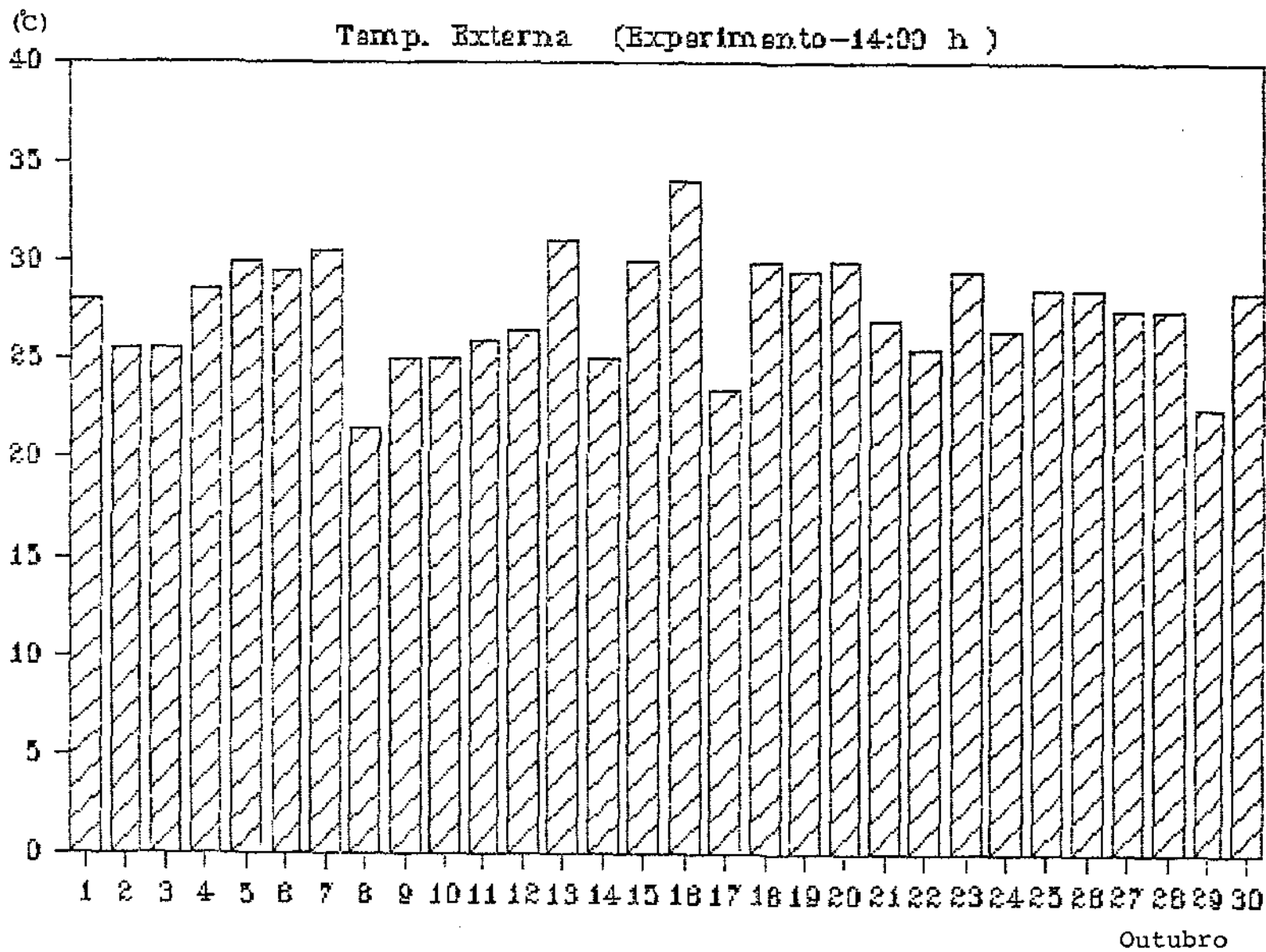


Fig. 38 - Gráfico das Temperaturas Externas

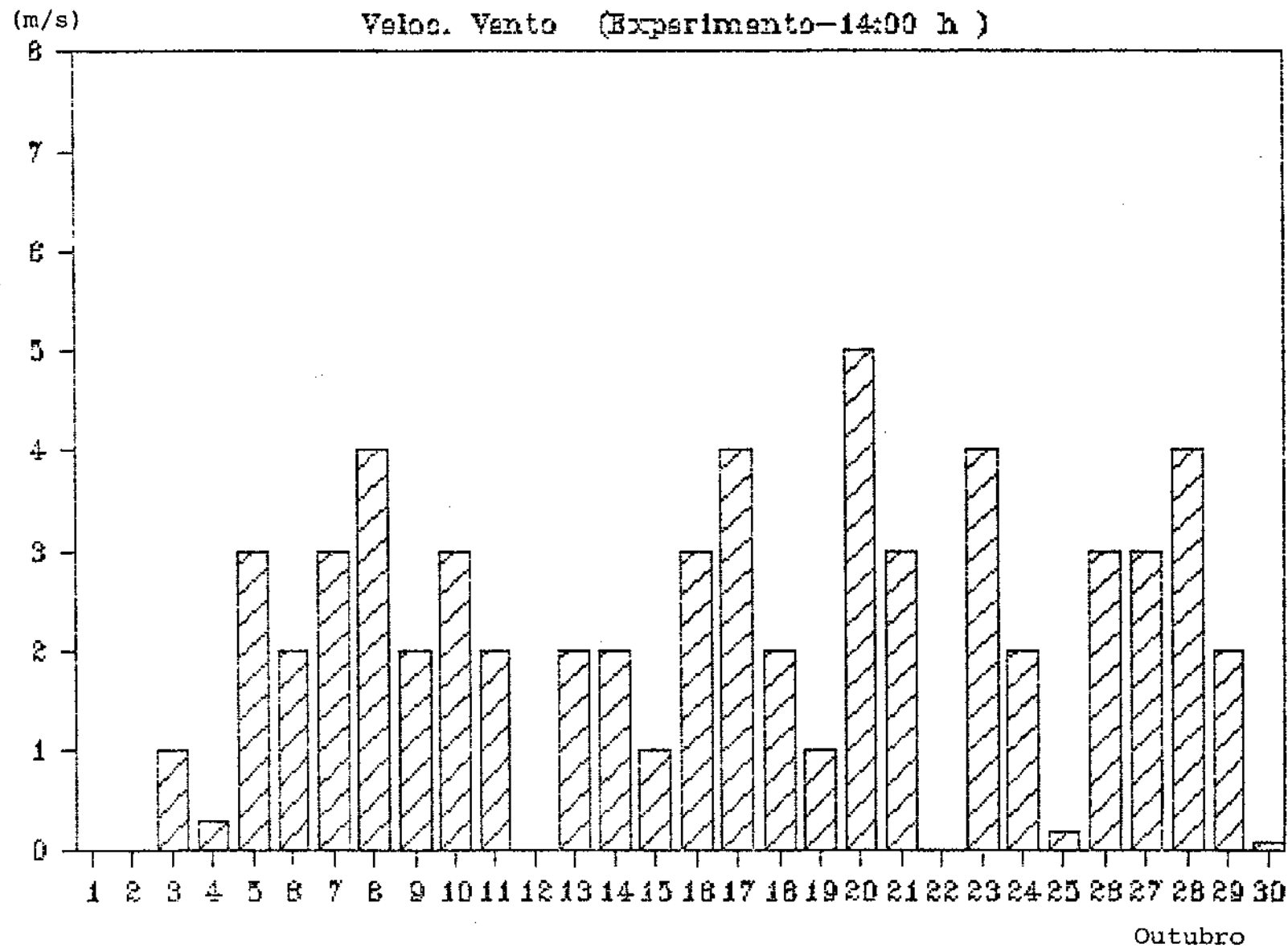


Fig. 39 - Gráfico das Velocidades do Vento

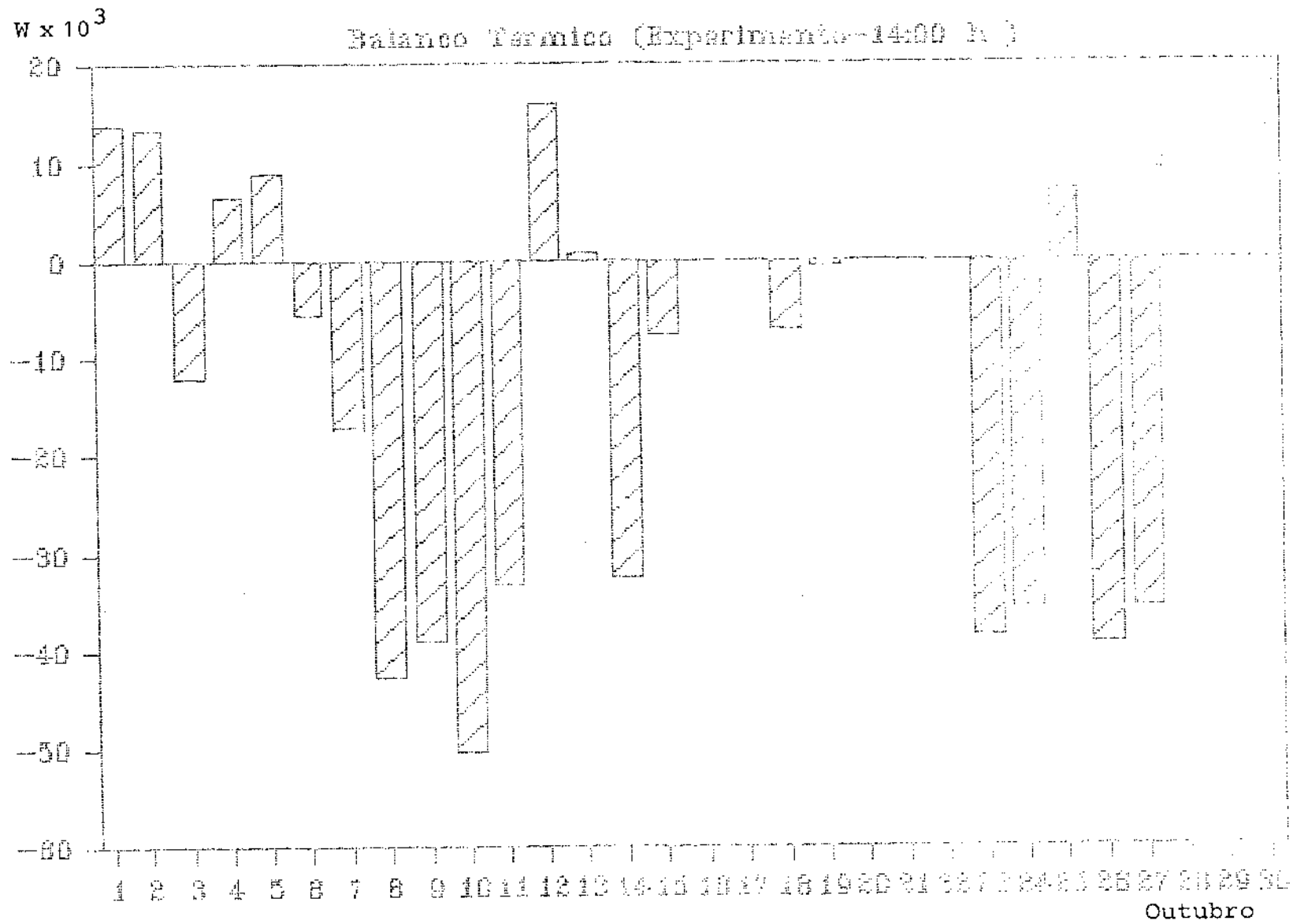


Fig. 40 - Gráfico do Balanço Térmico

6.1.3. RESULTADOS DO MÊS DE NOVEMBRO

Durante o mês de novembro, os animais tiveram seu peso médio variando de 49,48 kg a 72,10 kg. Para essa faixa de peso a temperatura crítica está nos limites de 10°C , para velocidade de vento acima de 2 m/s, conforme Carpenter, G.A., 1981 [21]. Essa condição de velocidade de vento ocorreu em várias ocasiões, no decorrer do mês. A produção de calor dentro da edificação aumentou significativamente, principalmente pelos níveis de insolação do mês, bem como o aumento de peso dos animais, de forma que as velocidades de vento de 4 m/s ocorridas nos dias 10, 16, 17 e 28 removeu só parcialmente o calor, baixando o gradiente de temperatura externa e interna para $0,4^{\circ}\text{C}$, $8,9^{\circ}\text{C}$, $1,5^{\circ}\text{C}$ e $8,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Há nesse mês algumas leituras incompletas na temperatura interna, coincidentes com altas velocidades de vento, de forma que, embora o perfil geral da curva de temperatura interna acompanha o da temperatura externa, ficam limitadas as conclusões a respeito da eficiência da ventilação na remoção do calor interno, principalmente nas leituras das temperaturas máximas do experimento, às 14:00 h.

Durante o mês, a edificação se comportou em média como cedendo calor ao ambiente, com excessão nos dias onde o gradiente de temperatura se manteve abaixo dos 2°C .

6.1.4. RESULTADOS DO MÊS DE DEZEMBRO

Os animais durante esse mês tiveram seu peso médio variando de 72,88 kg a 95,5 kg. Para esse peso, a região de termoneutralidade está entre 10°C e 34°C , segundo Bruce, J.M., 1981 [18]. Esses valores de temperatura interna não ocorreram em nenhum dia do mês de dezembro estudado. Os gráficos de temperatura interna e externa, tanto para os valores de 7:00 h co

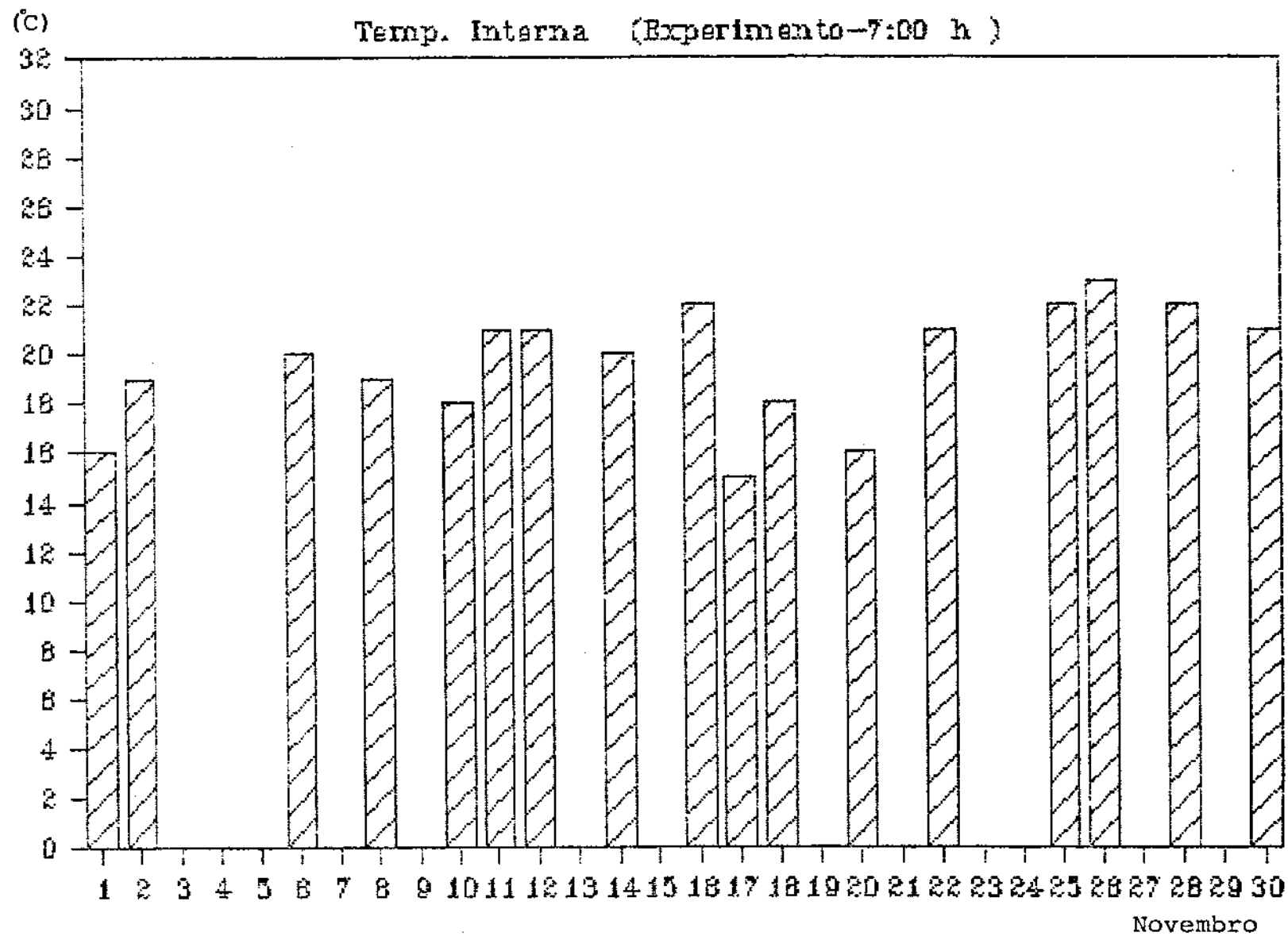


Fig. 41 - Gráfico das Temperaturas Internas

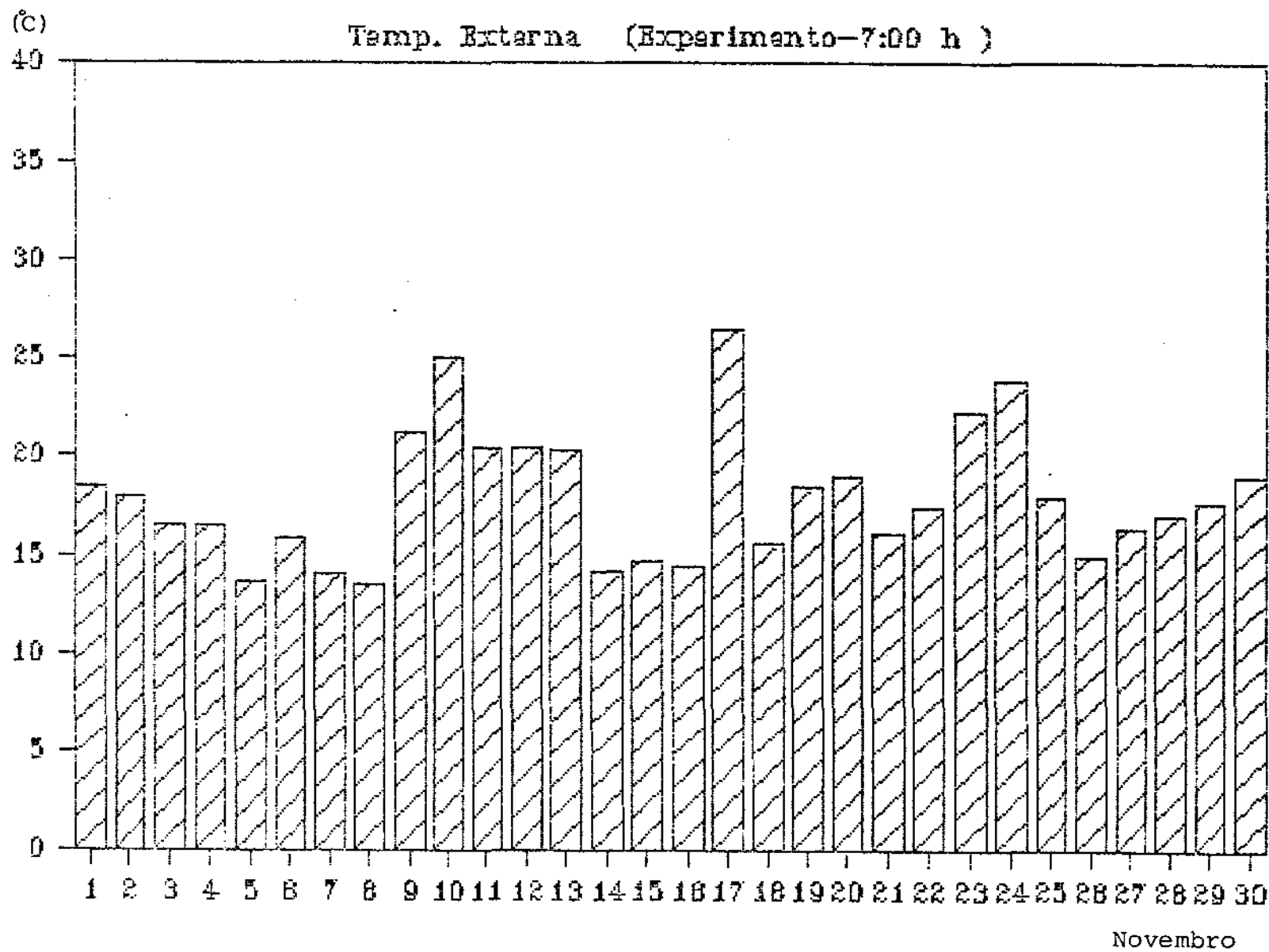


Fig. 42 - Gráfico das Temperaturas Externas

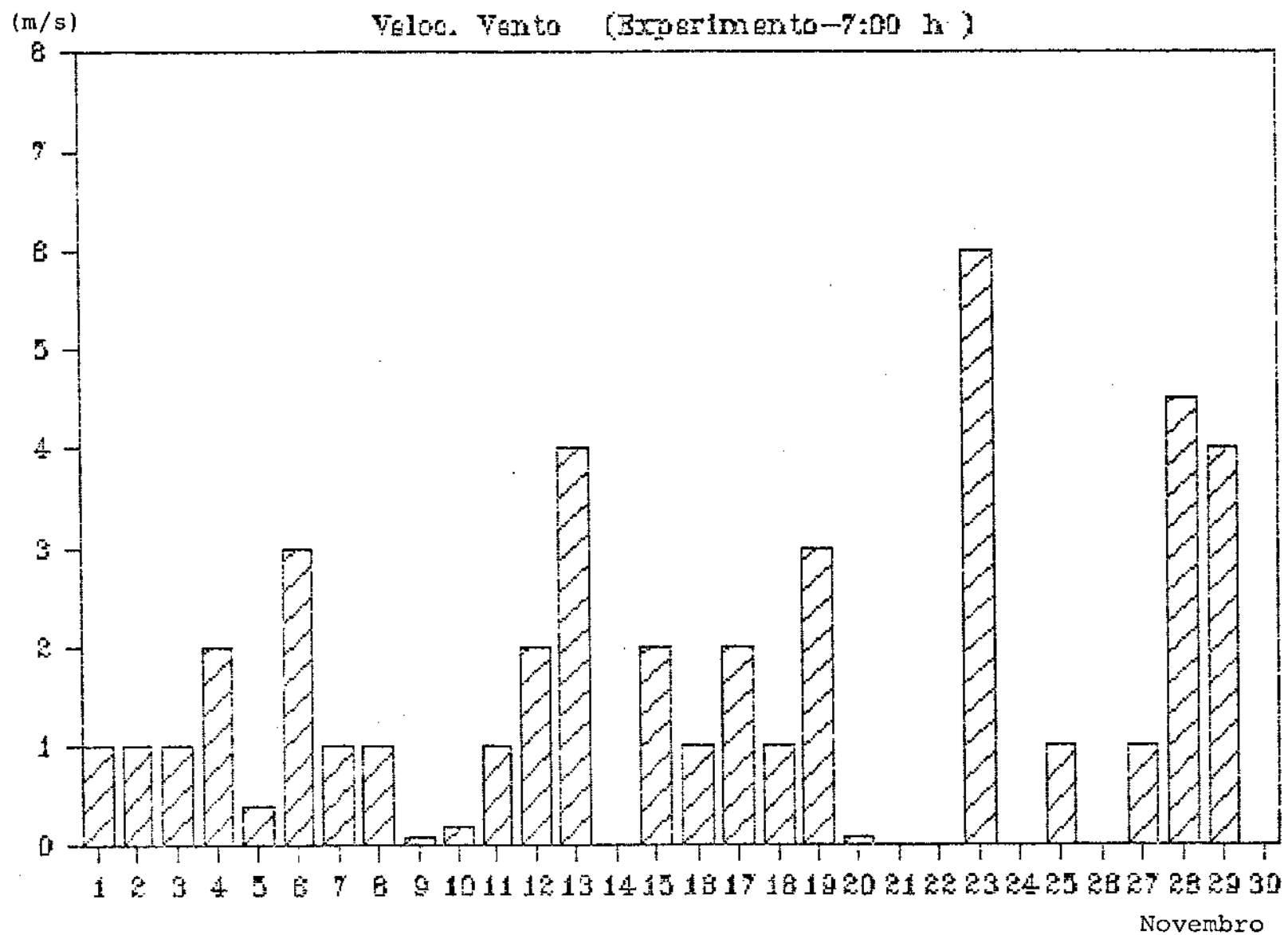


Fig. 43 - Gráfico das Velocidades do Vento

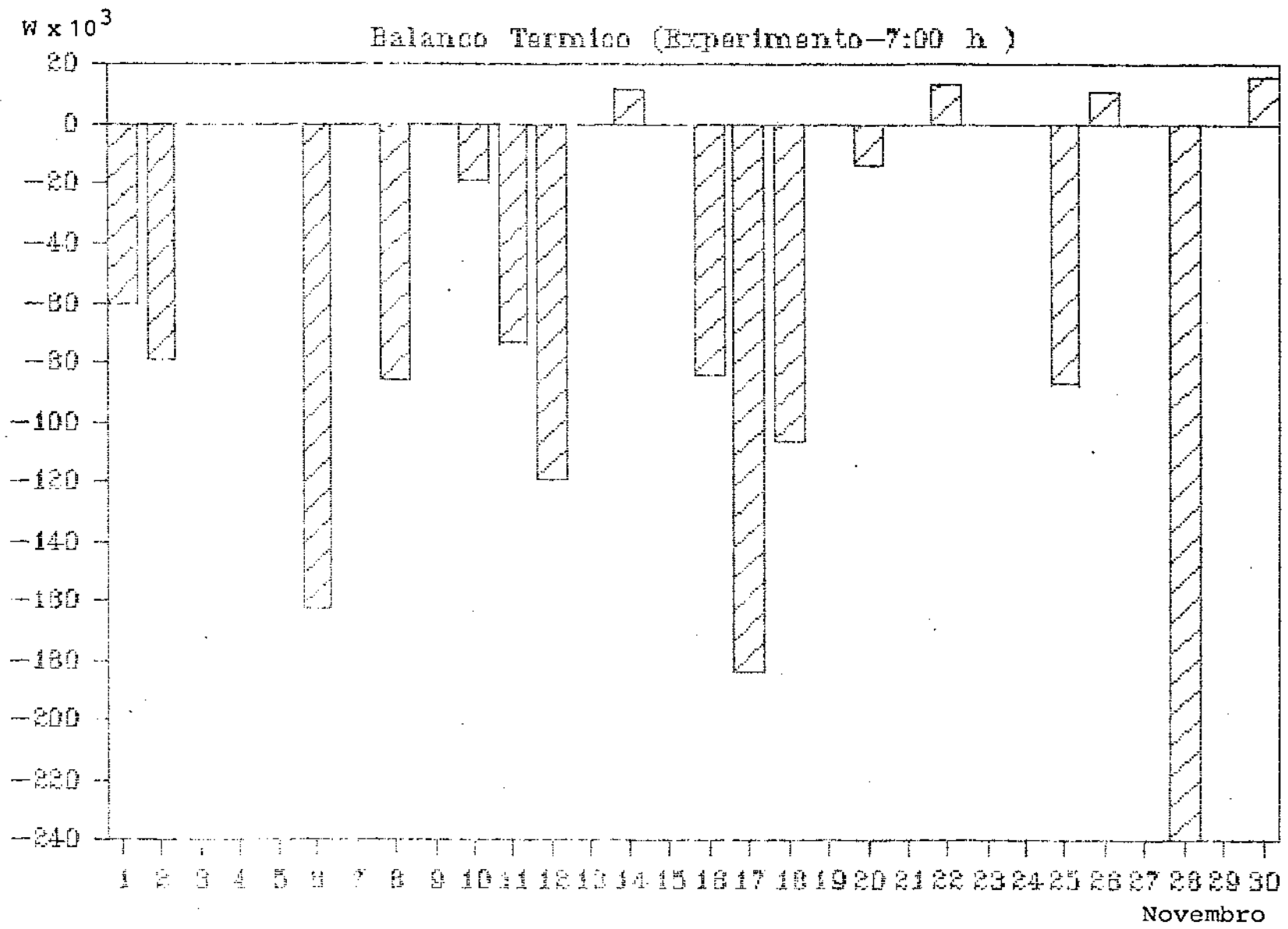


Fig. 44 - Gráfico do Balanço Térmico

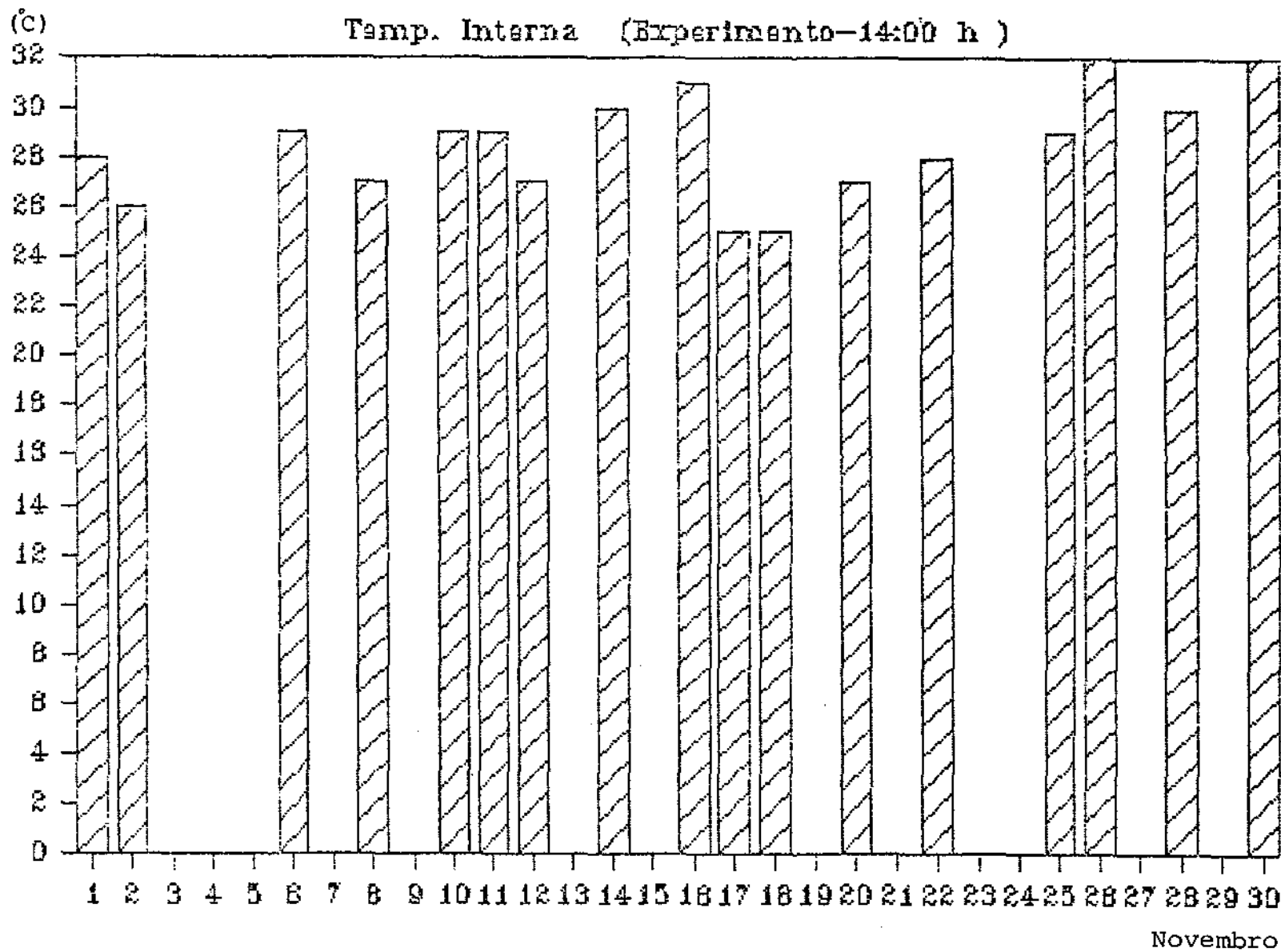


Fig. 45 - Gráfico das Temperaturas Internas

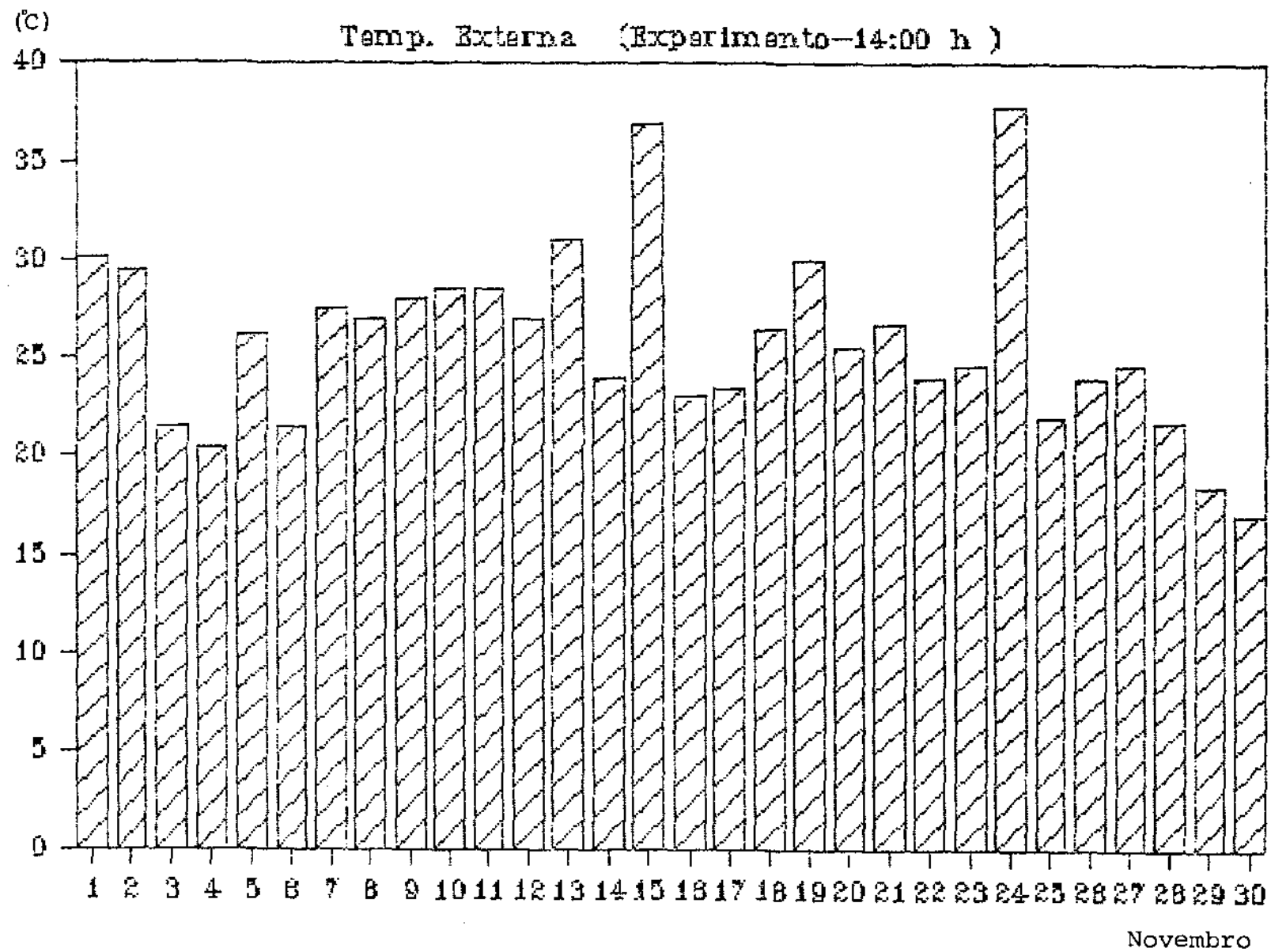


Fig. 46 - Gráfico das Temperaturas Externas

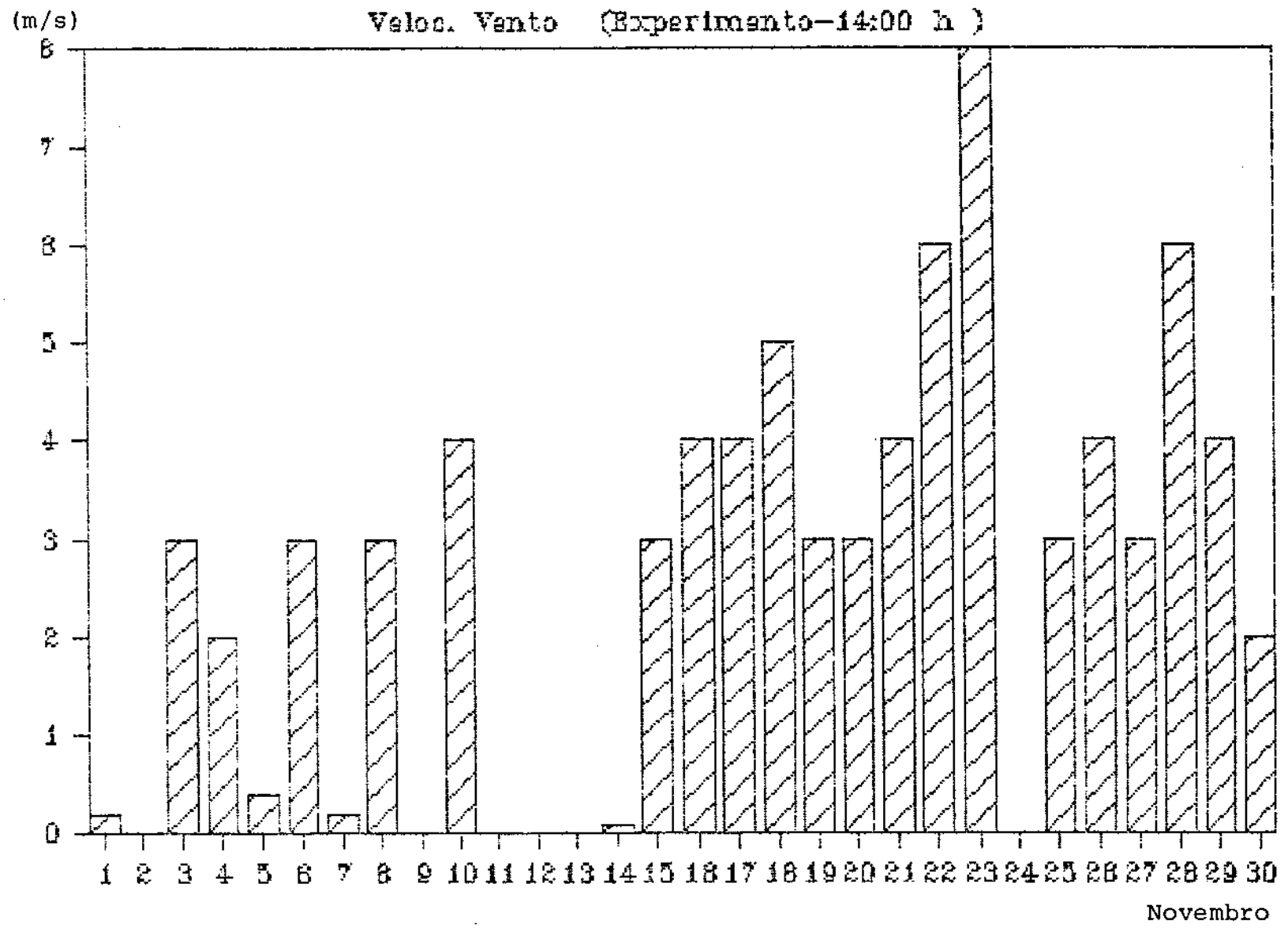


Fig. 47 - Gráfico das Velocidades do Vento

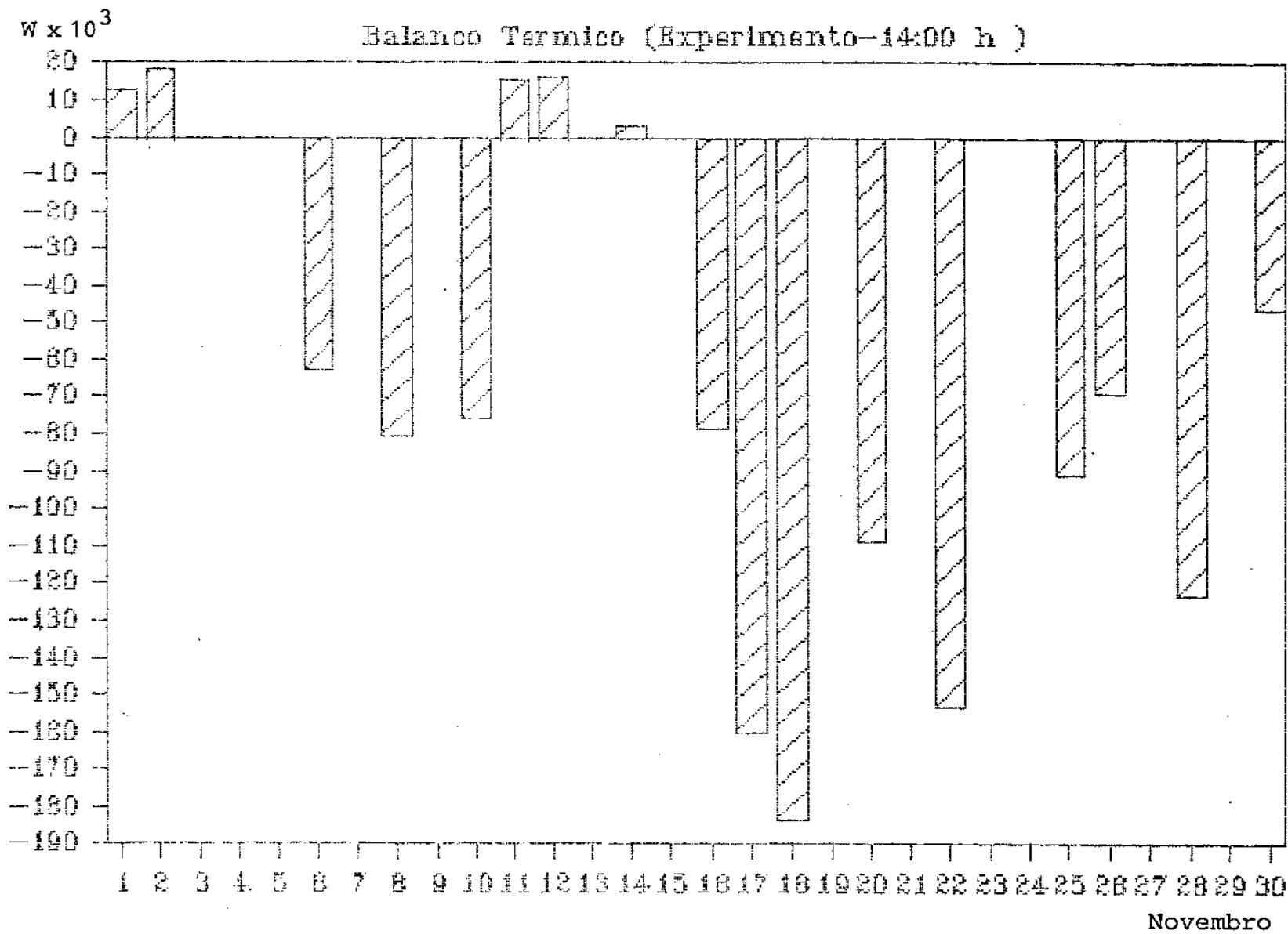


Fig. 48 - Gráfico do Balanço Térmico

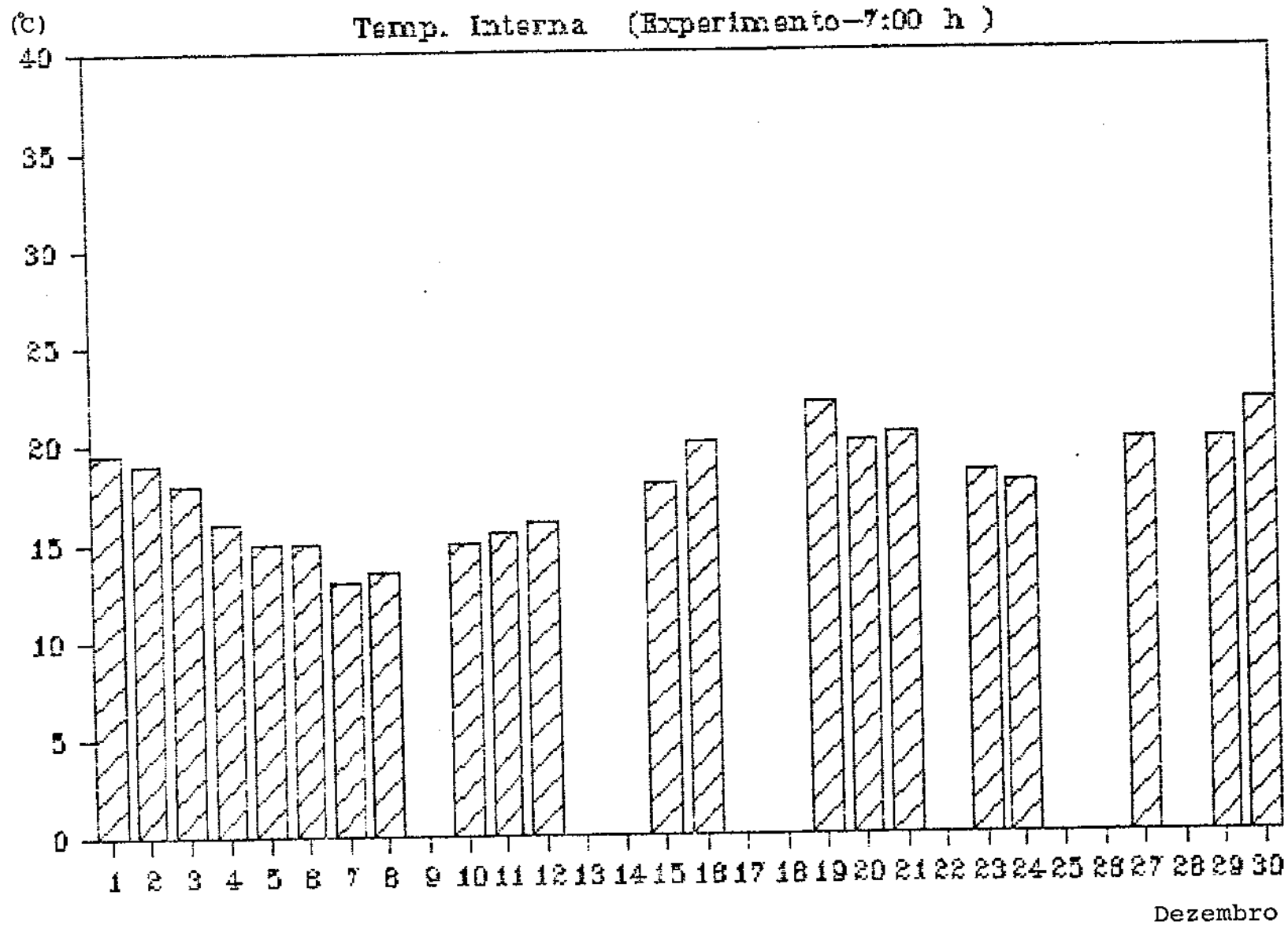


Fig. 49 - Gráfico das Temperaturas Internas

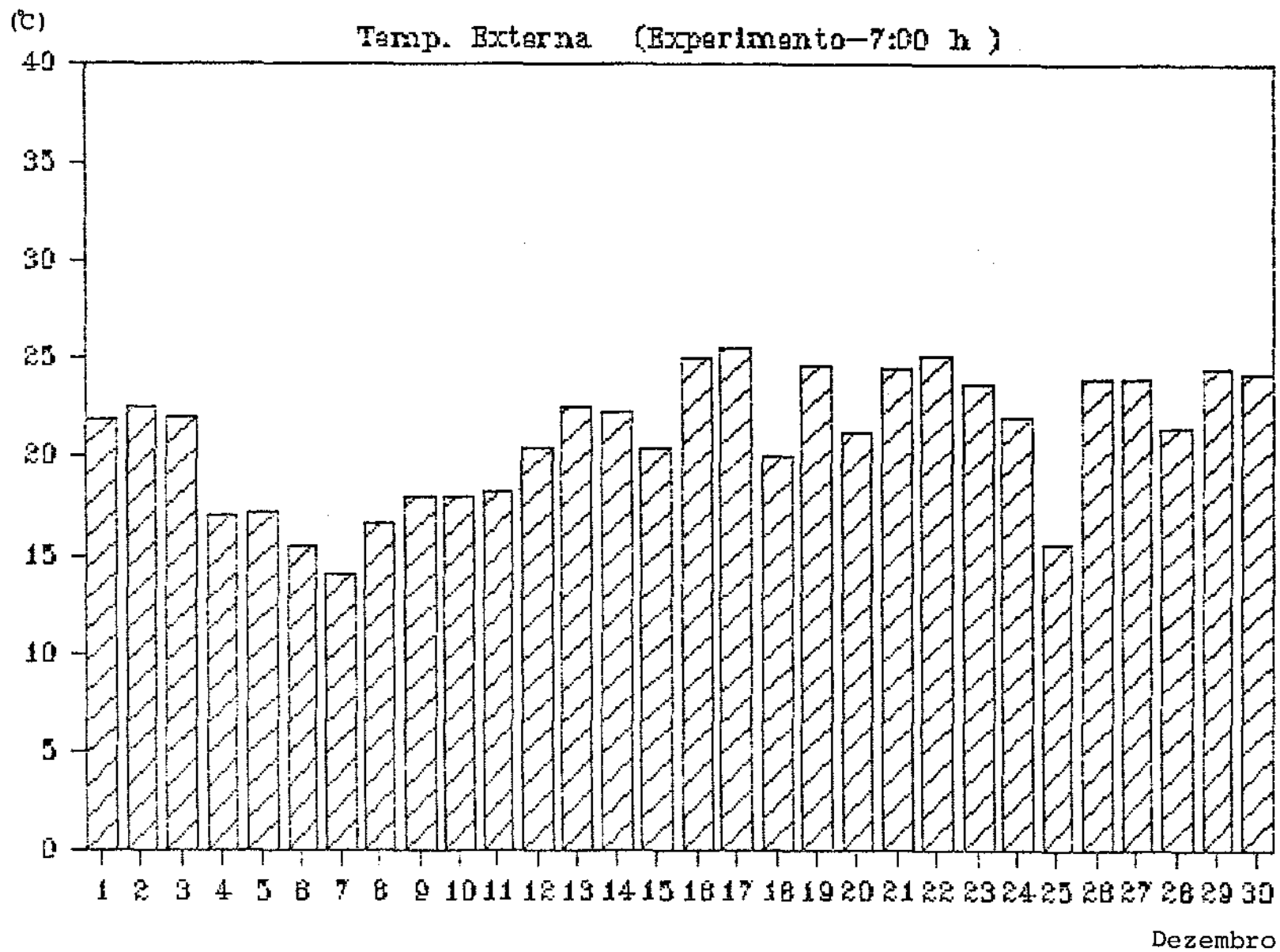


Fig. 50 - Gráfico das Temperaturas Externas

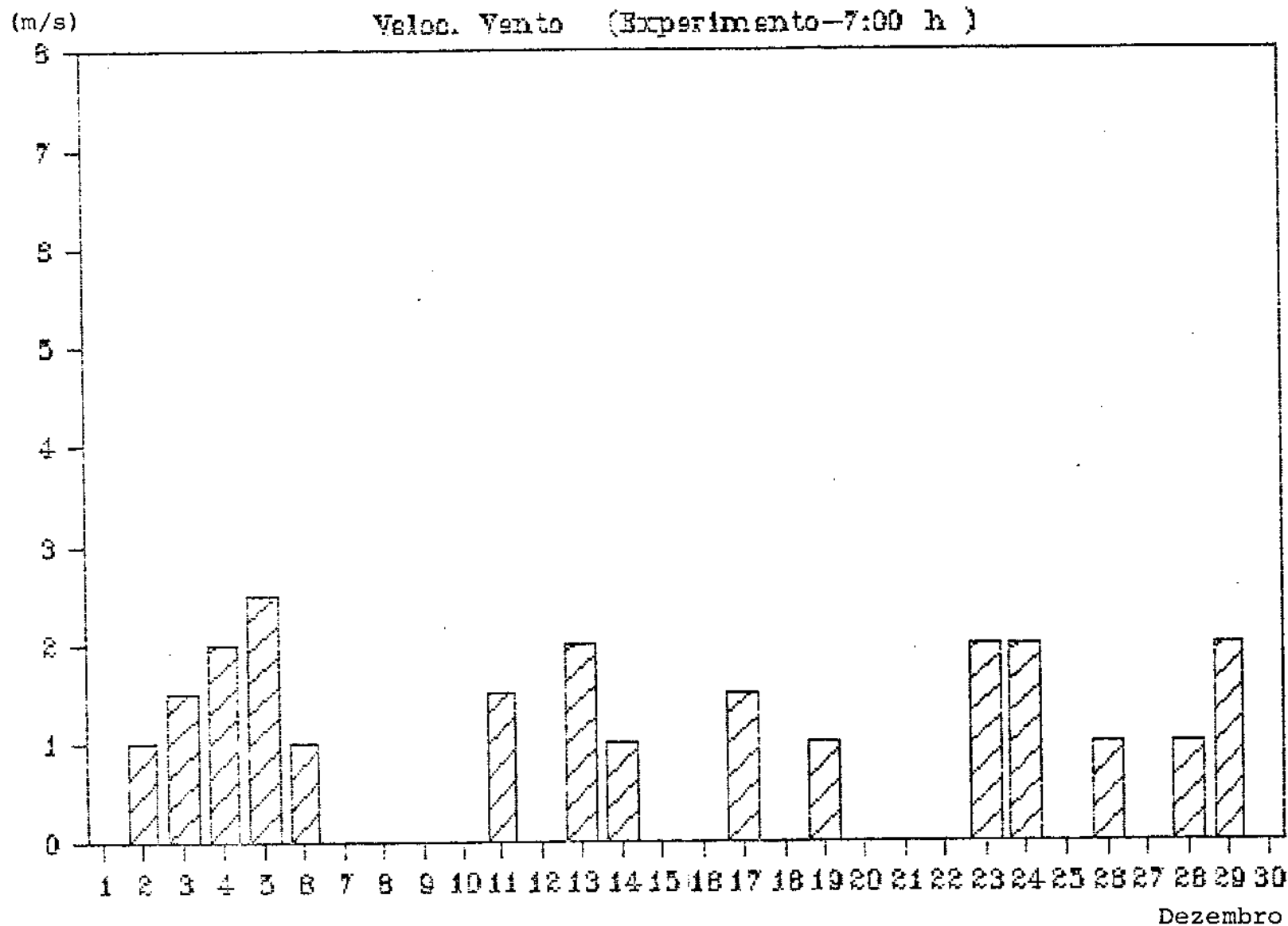


Fig. 51 - Gráfico das Velocidades do Vento

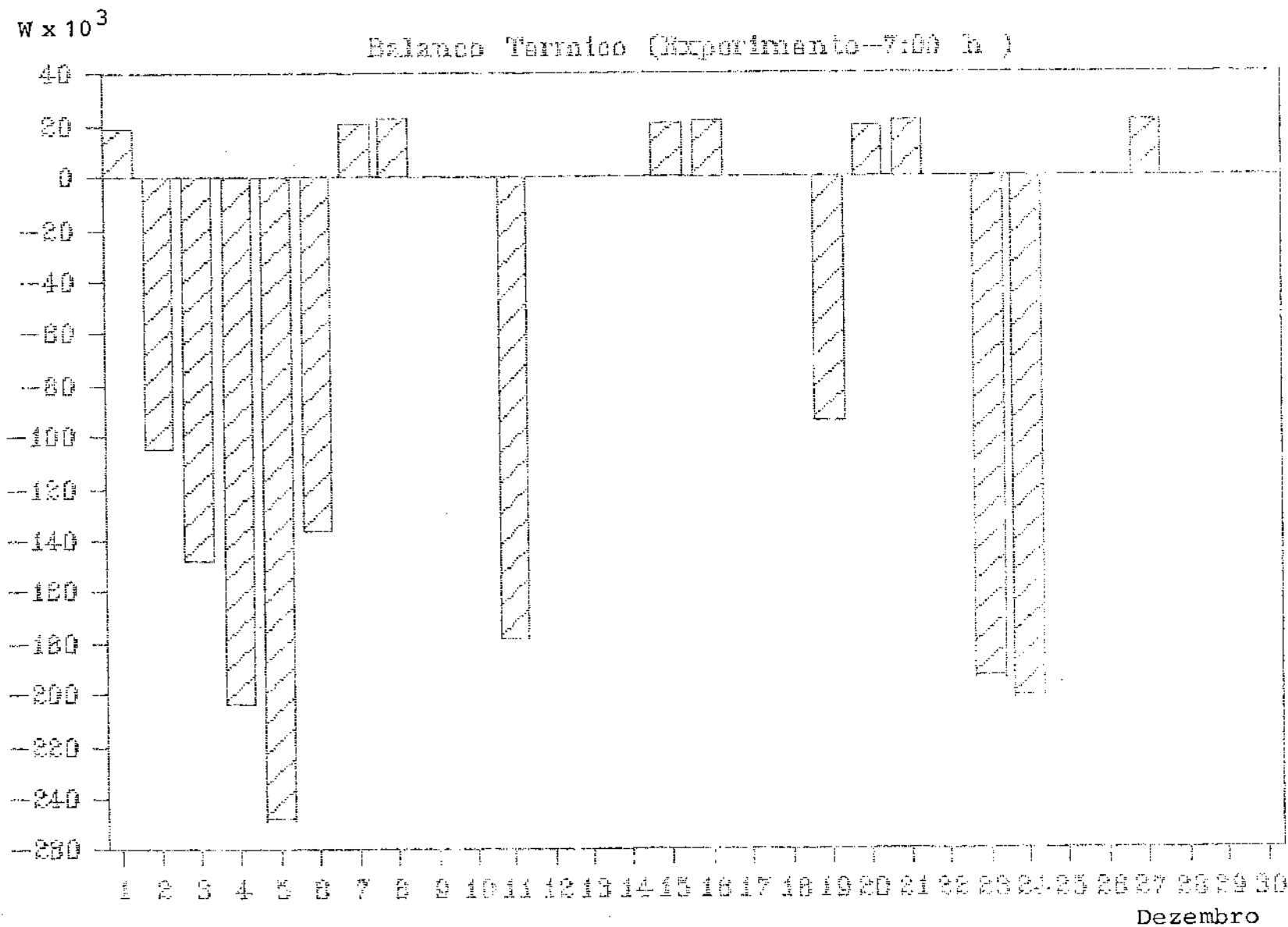


Fig. 52 - Gráfico do Balanço Térmico

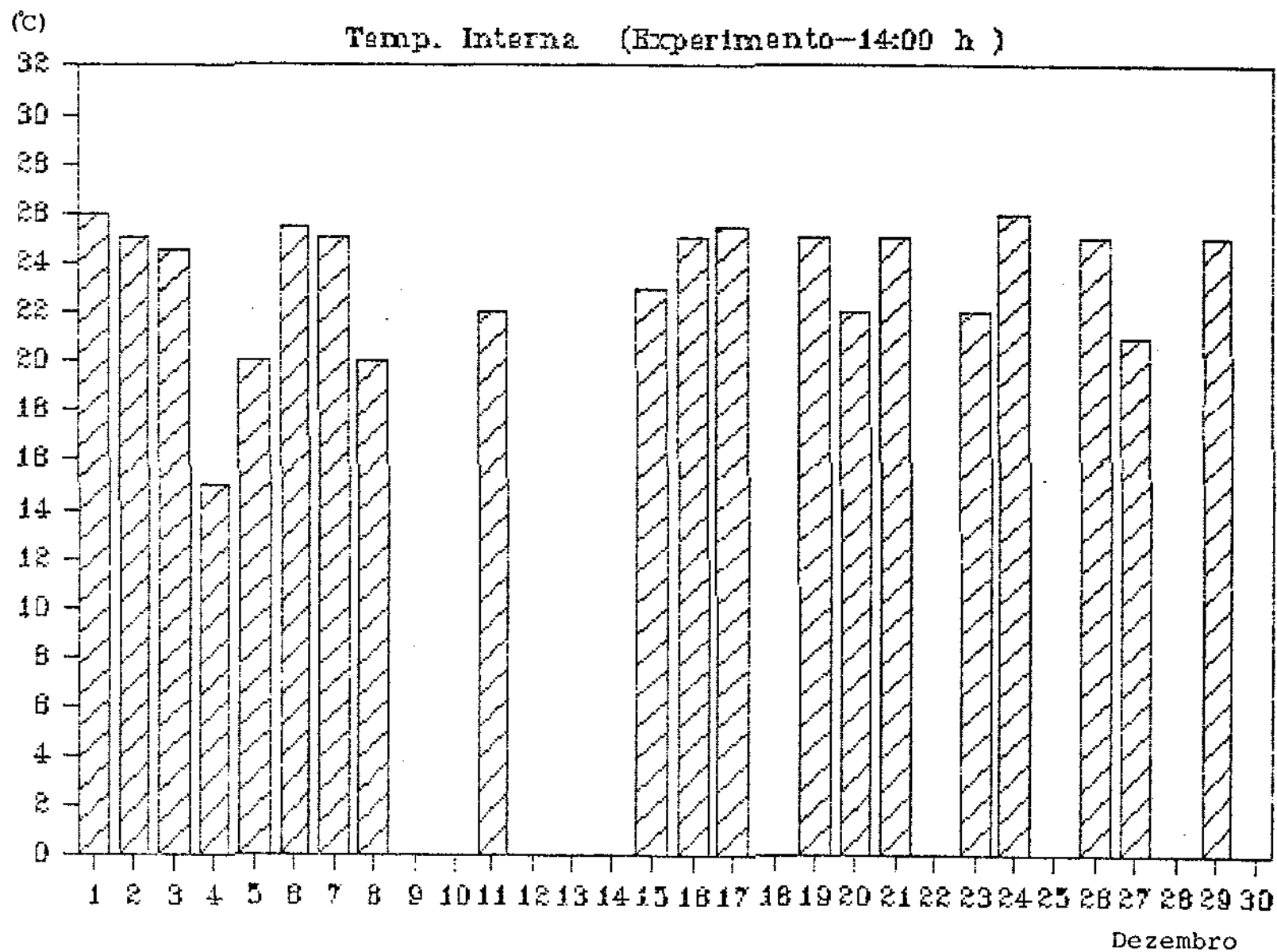


Fig. 53 - Gráfico das Temperaturas Internas

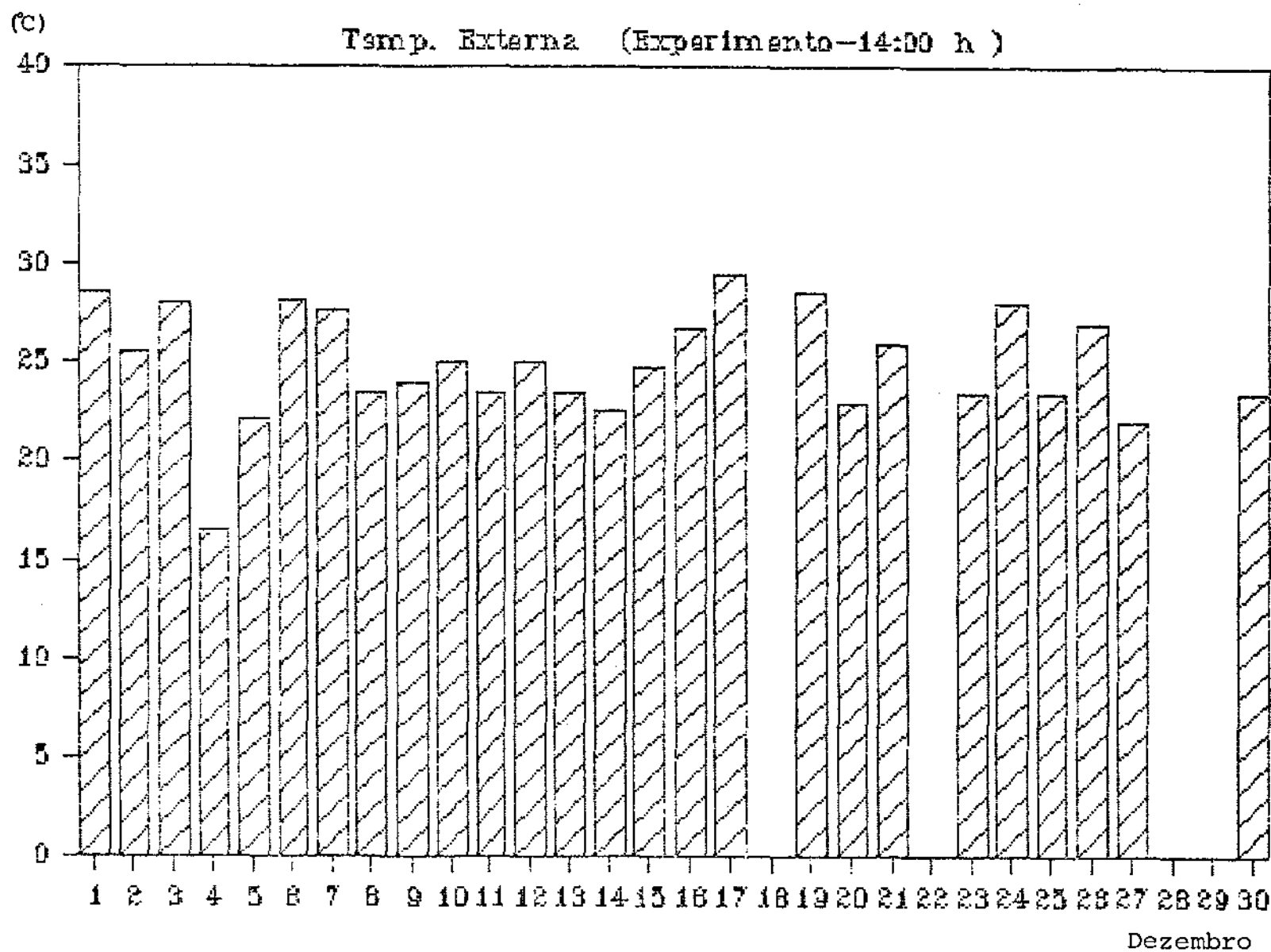


Fig. 54 - Gráfico das Temperaturas Externas

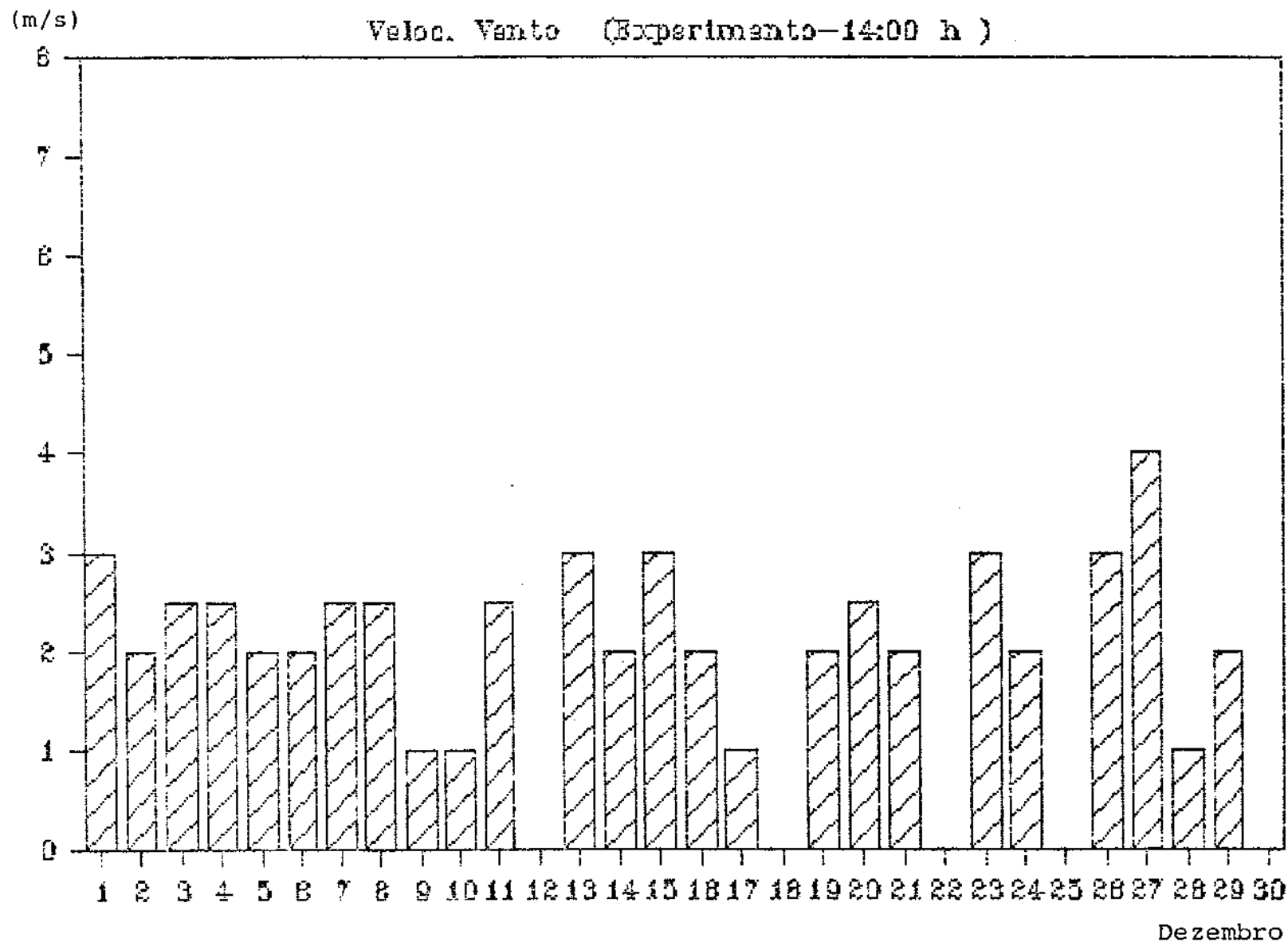


Fig. 55 - Gráfico das Velocidades do Vento

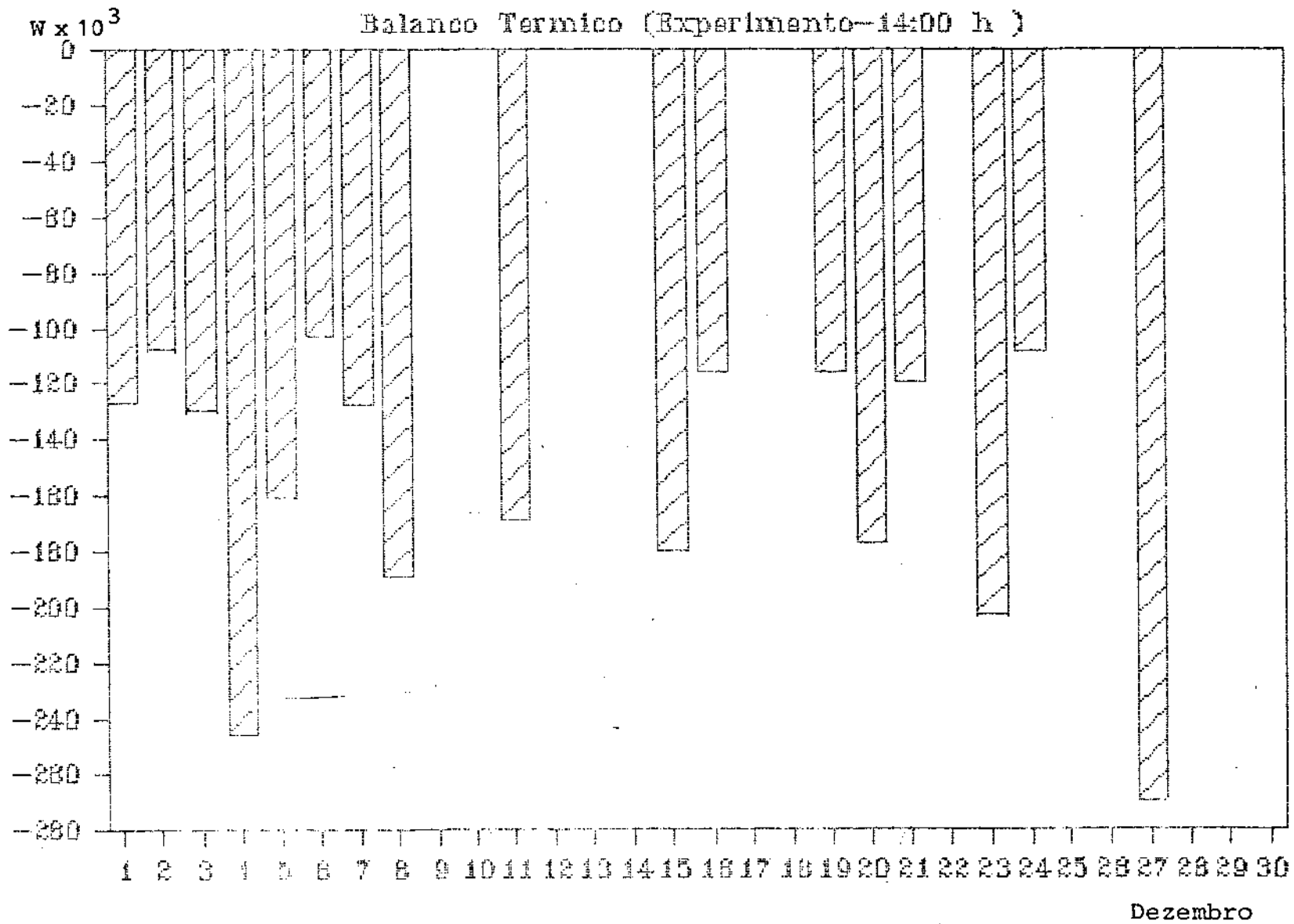


Fig. 56 - Gráfico do Balanco Térmico

mo para os de 14:00 h, mantiveram-se com variação constante . Quanto ao balanço térmico, houve registro de valores positivos às 7:00 h. Provavelmente, a produção de calor dos animais diminuiu o gradiente de temperatura, ou seja, os animais liberaram calor que, de alguma maneira, se manteve na edificação, por que nos dias desses registros não havia vento.

6.2. COMENTÁRIOS SOBRE O EXPERIMENTO

O desempenho dos animais no período do teste esteve dentro dos padrões considerados normais, para porcos em fase de engorda e terminação.

Embora o ideal fosse a utilização de instrumentos de maior precisão, foi utilizado o que havia disponível no local, descrito no capítulo de Material e Métodos.

A leitura dos instrumentos foi feita por técnicos experientes, de forma que o erro das leituras fosse mínimo.

Os animais testados eram das raças Landrace e Large White, refugos de lotes de reprodutores e portando levados para engorda.

Embora a cor da pele do animal, em análise detalhada acrescente alguma variável a mais no dimensionamento do calor radiante absorvido pelo porco, esse item não foi considerado no teste. Tal consideração deveria ser incluída se houvesse necessidade de observar outros fatores mais ligados à produtividade animal, como conversão alimentar. Nesse caso específico , a observação foi quanto ao comportamento da edificação ocupada, principalmente tendo em vista as variações do vento e sua influência na temperatura interna.

6.3. CONCLUSÕES

A equação de equilíbrio térmico proposta traduziu o comportamento térmico da edificação em estudo.

O dimensionamento da edificação deverá ser para as condições críticas já mencionadas anteriormente. No caso específico de porcos para engorda no período mais quente do ano, é ideal uma maior área de ventilação para facilitar a liberação do calor da edificação. Entretanto, é difícil coincidir tais condições com a situação crítica de temperaturas mínimas, que podem acontecer com um lote inicial numa época mais fria do ano. Nesse caso, o mais conveniente é a utilização de controle mecânico por cortinas, para a situação de extremos frios. O ideal é sempre ter um lote de peso intermediário, nos meses de temperaturas mais baixas.

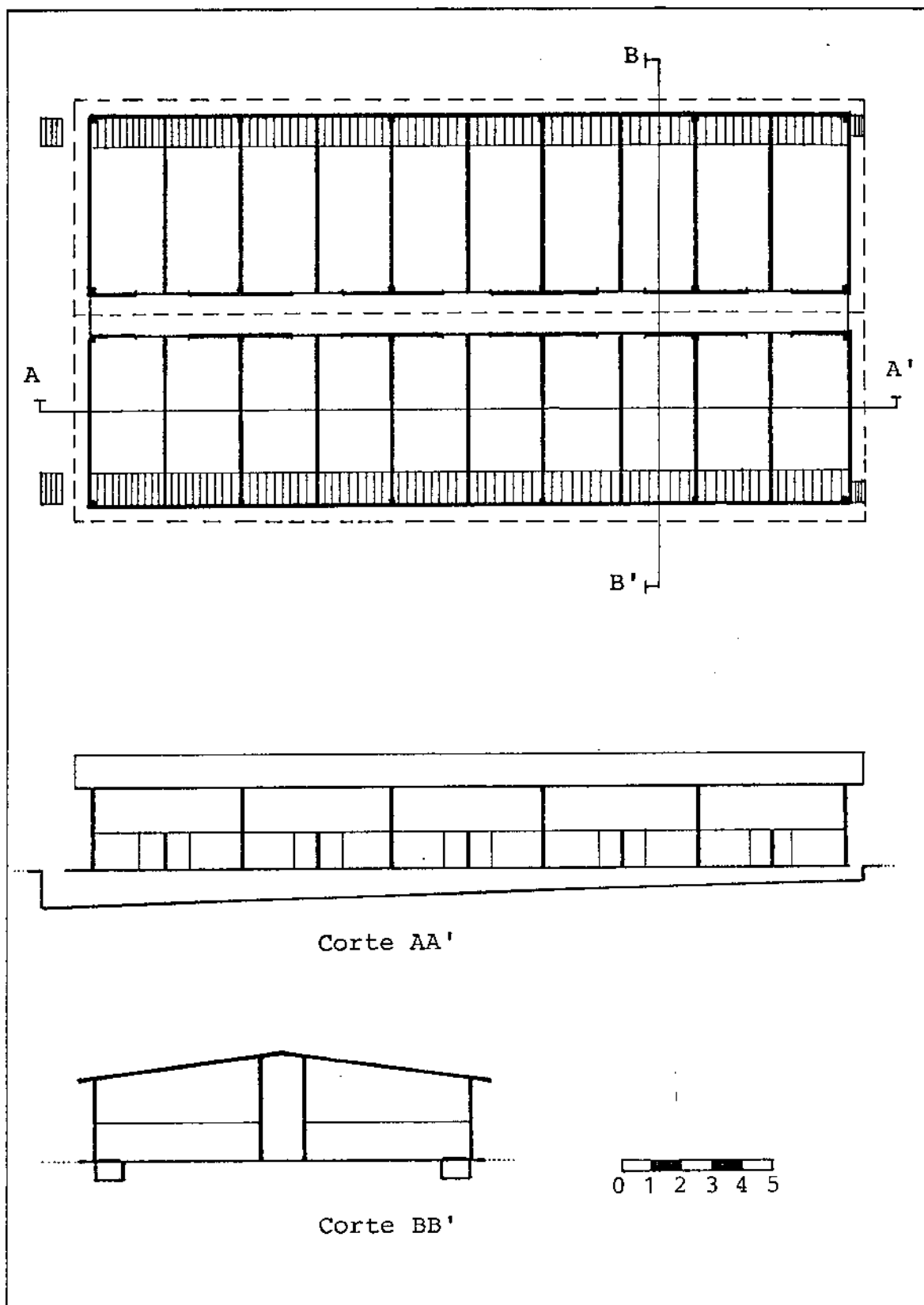


Fig. 57 - Planta baixa e cortes longitudinal e vertical da edificação estudada.

CAPÍTULO 7

RECOMENDAÇÕES

Os resultados do presente trabalho sugerem as seguintes investigações adicionais para pesquisas futuras:

- a) Os resultados do calor transferido para a edificação, podem servir de dados de entrada para um modelo de produtividade animal que traduza a performance do suíno sob certo tipo de arraçoamento.
- b) As modificações ambientais internas provenientes de diferentes tipos de materiais de construção devem ser testadas em um modelo que verifique custo de investimento na edificação e retorno de lucro ao rebanho, de forma que o produtor tenha alternativas práticas da escolha do tipo de construção.

Com os dados disponíveis, há condições de se elaborar um manual para produtores das várias regiões do país, onde se conheçam as variáveis climáticas locais, que contenha informações sobre dimensões de edificação para abrigo de suínos para engorda e terminação.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Albright, L.D. e N.R.Scott. 1974. An analysis of steady state periodic building temperature variations in warm weather - Part I: A mathematical model. Transactions of the ASAE 17(1): 88-92, 98.
- [2] Albright, L.D. e N.R.Scott. 1974. An analysis of steady state periodic building temperature variations in warm weather - Part II: Experimental verification and simulation. Transactions of the ASAE 17(1):93-98.
- [3] Albright, L.D. e N.R.Scott. 1977. Diurnal Temperature fluctuations in multi-airspaced buildings. Transactions of the ASAE 20(2): 319-326. ASAE, St. Joseph, MI.
- [4] ASAE data D270. 4. 1975. Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters. Agricultural Engineers Yearbook. ASAE, St. Joseph, MI. 49085.
- [5] ASHRAE. 1983. Handbook of Fundamentals. American Society of Heating and Refrigeration and Air Conditioning Engineers. Inc. New York.
- [6] Beckett, F.E-. 1964. Effective temperature for evaluating or design hog environments. ASAE paper No. 64-911. ASAE, St. Joseph, MI.
- [7] Beckett, F.E. e F.R.Barron. 1971. Heat transfer from a pig to the floor. Transactions of the ASAE 14(4):700-703.
- [8] Bianca, E. e K.L.Blaxter. 1961. The influence of the environment on animal production and health under housing conditions. Featschrift zum VIII. Intern. Tierzucht - Kongress in Hamburg. pp. 113-147.
- [9] Bond, T.E.; C.F.Kelly e H.Heitman. 1952. Heat and moisture loss from swine. Agricultural Engineering 33(3):148-152, 154. Journal of ASAE, St. Joseph, MI.

- [10] Bond, T.E.; C.F.Kelly e N.R.Ittner. 1954. Radiation Studies of painted shade materials. *Agricultural Engineering* 35:389-392.
- [11] Bond, T.E. e C.F.Kelly. 1955. The globe thermometer in Agricultural Research. *Agricultural Engineering*. April, 1955:251-260.
- [12] Bond, T.E. 1959. Environmental studies with swine. *Agricultural Engineering* 40(9):544-549.
- [13] Bond, T.E.; C.F.Kelly e H.Heitman. 1959. Hog house air conditioning and ventilation data. *Transactions of the ASAE* 2(2):1-4.
- [14] Bond, T.E.; C.F.Kelly, W.N.Garret e L.Hahn. 1961. Evaluation of materials for livestock shades applicable to other open-type structures. *California Agriculture Journal*, Julho 1961.
- [15] Bond, T.E., H.Heitman e C.F.Kelly. 1965. Effects of increased air velocities in heat and moisture loss and growth of swine. *Transaction of the ASAE* 8(2):167-169, 174.
- [16] Bond, T.E., S.R.Morrison e H.Heitman. 1966. Skin and lung moisture loss from swine. *Transactions of the ASAE* 10(5):691-692 and 696.
- [17] Bond, T.E., S.R.Morrison e R.L.Givens. 1969. Influence of surroundings on radiant heat load of animals. *Transactions of the ASAE* 12(2):246-248. ASAE, St. Joseph, MI.
- [18] Bruce, J.M. 1981. Ventilation and temperature control criteria for pigs. Capítulo IV-12 do "Environmented aspects of housing for animal production." Editado por J.A.Clark, University of Nottingham. Butterworths. Londres, 511 p.
- [19] Buffington, D.E. 1975. Simulation models of transient energy requirements for heating and cooling buildings. ASAE paper No. 75-4522. ASAE, St. Joseph, MI.
- [20] Carpenter, G.A. 1974. Ventilation of buildings for intensively housed livestock. Capítulo 19 do "Heat loss from animal and man." Editado por J.L. Monteith. Butterworths. Londres. 292 p.

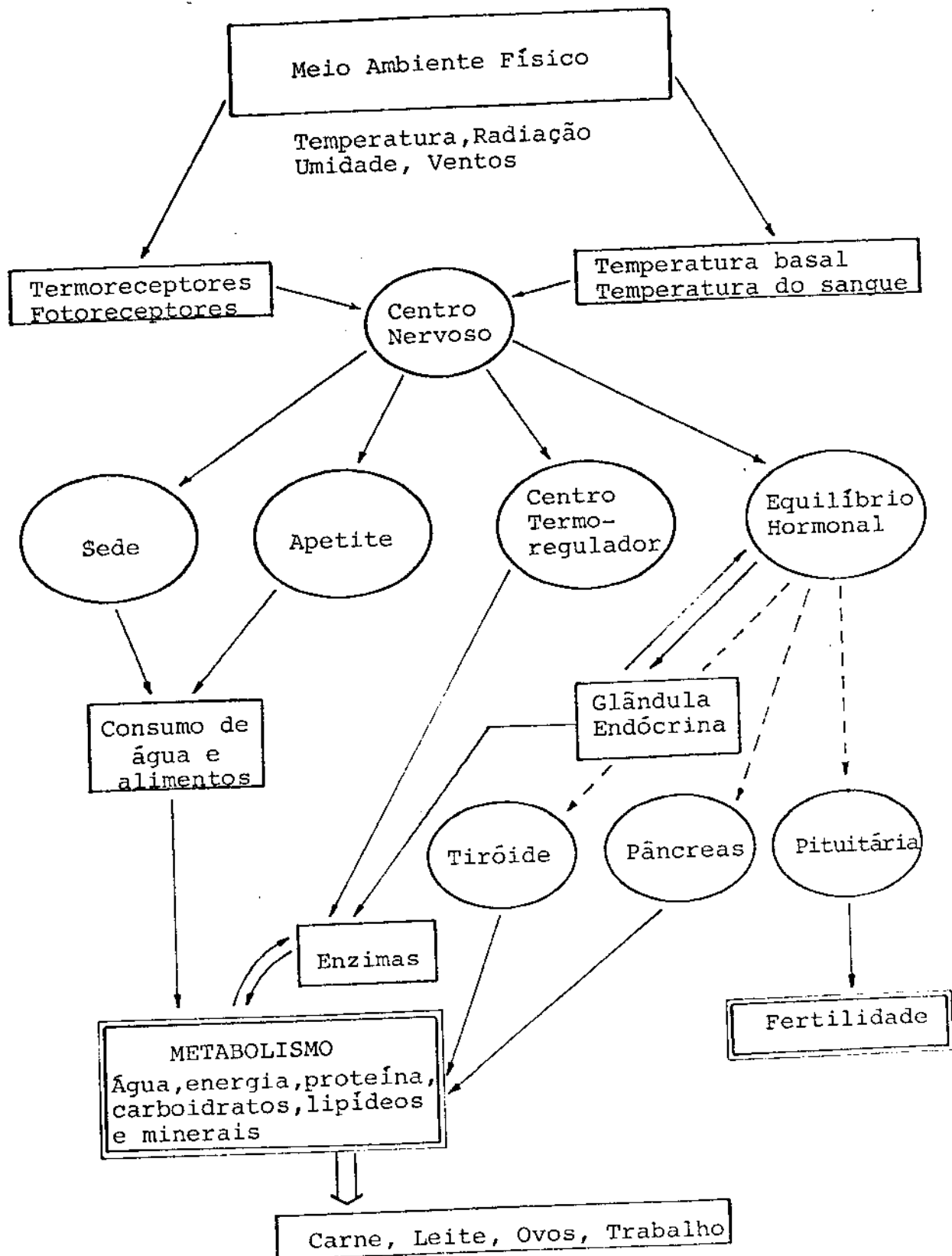
- [21] Carpenter, G.A. 1981. Ventilation Systems. Capítulo V-18 do "Environmental aspects of housing for animal production." Editado por J.A.Clark, University of Nottingham. Butterworths. Londres. 511 p.
- [22] Carslaw, H.S. and J.C.Jaeger, 1959. Conduction of heat in solids. Oxford University Press. 268 p.
- [23] Close, W.H. 1981. The climate requirement of the pig. Capítulo III-9 do "Environmental aspects of housing for animal production." Editado por J.A.Clark, University of Nottingham. Butterworths, Londres. 511 p.
- [24] Christianson, L.L. e M.A.Hellickson, 1977. Optimization of energy requirement for animal housing. Transactions of the ASAE 20(2): 327-335, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- [25] Collins, N.E. e E.W.Walpole. 1976. Computer simulation of commercial breeder stock operation. ASAE paper No. 76-4040. ASAE.
- [26] Croiset, M. 1972. L'hygrothermique dans le bâtiment. Eyrolles Edition. Paris, 376 p.
- [27] Esmay, M. 1969. Principles of animal environment. The AVI Pub. Co. 357 p.
- [28] FAO Yearbook. 1978. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma, Itália.
- [29] Findlay, J.D. 1948. Experiments on ventilation of cattle byres. Journal of Agricultural Science. Vol. 38:411-424.
- [30] Frota, A.B., S.R.Schiffer e L.C.Chichierchio. 1984. Manual Técnico de Conforto Técnico. FAU/USP. Material de divulgação didática, não publicado, 269 p.
- [31] Gebhart, B. 1971. Heat Transfer. McGraw Hill Book Co., Inc. 656 p.
- [32] Grabeau, K.W. 1978. Precision temperature analysis. E.G. .G. - Environmental Equipment Division Temperature Measurement Handbook. Omega Eng. Inc.

- [33] Hanzen, T.E. e D.W. Mangold. 1960. Functional and basic requirement of swine housing. *Agricultural Engineering* 41(9):585-590. ASAE, St. Joseph, MI.
- [34] Harman, D.J., A.C. Dale e H.W. Jones, 1966. Effect of floor type on required moisture-vapor removal rate from swine finishing houses. ASAE paper No. 66-442. ASAE, St. Joseph, MI.
- [35] Heitman, H., T.E. Bond e C.F. Kelly. 1963. The zone of thermoneutrality in swine on full feed. *Proceedings of the Third International Biometeorological Congress*. Pergamon Press. Oxford. 257 p.
- [36] Hellickson, M.A., H.G. Young e W.B. Witmer. 1974. Ventilation design for closed beef buildings. *Proceedings of the International Environment Symposium*. ASAE, St. Joseph, MI. 429 p.
- [37] Hinkle, C.N. e H.W. Jones. 1974. Energy balance with thermal radiation. *Proceedings of the International Environmental Symposium*. pp. 274-180. ASAE.
- [38] Hsu, Hwei P. 1970. Fourier analysis. Simon and Schuster. New York. 322 p.
- [39] Jedele, D.G. 1966. Exposure factor curves applied to swine building ventilation design. ASAE paper No. 66-443. ASAE, St. Joseph, MI.
- [40] Jordan, K.A., A.J. Barwick e J.A. DeShazer. 1968. Frequency analysis of weather for estimation of the ASAE 11(1):98-103.
- [41] Kelly, C.F. 1949. Instrumentation for animal shelter research. *Agricultural Engineering*. Vol. 30, No. 6: pp. 297-304.
- [42] Kelly, C.F., T.E. Bond e N.R. Ittner, 1950. Thermal design of livestock shades, *Agricultural Engineering* 31(12):601-606. ASAE, St. Joseph, MI.
- [43] Kelly, C.F., T.E. Bond e H. Heitman. 1954. The role of radiation in animal ecology. *Ecology Journal*, Vol. 35, No. 4, Outubro 1954.

- [44] Koenigsberger, Otto et al. 1977. Vivenda y edificios en zonas calidas y tropicales. Tradução de Emílio Romero Ros. Madri. Edição Paraninfo, 328 p.
- [45] Kreith, F. 1966. Principles of heat transfer. International Textbook Co., Scranton, PA. 587 p.
- [46] LeRoy, G.H. e J.A. Nienaber. 1976. Summer weather variability and livestock production. ASAE paper No. 76-1033. ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- [47] Mackey, C.O. e L.T. Wright. 1946. The sol-air thermometer. ASHVE Transactions, Vol. 52, p. 271.
- [48] Mangold, D.W. T.E. Hazen e V.W. Hays. 1967. Effect of air temperature on performance of growing-finishing swine. Transactions of the ASAE 10(3):370-375 and 377.
- [49] Mapa Brasil - Climas. 1978. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, Brasil.
- [50] McLean, J.A. 1969. The environmental needs of farm animals and their output. Journal of J.I.H.V.E. Vol. 37, December 1969. Hannah Dairy Institute. Ayr. Inglaterra.
- [51] Midwest Plan Service. 1977. Structures and Environment Handbook. MPWS-1, Iowa State University, Ames, IA.
- [52] Morrison, S.R., T.E. Bond e H. Heitman Jr. 1968. Effect of humidity on swine at high temperature. Transactions of the ASAE. 11(4): 526-528. ASAE, St. Joseph, MI.
- [53] Morrison, S.T. J. Hahn e T.E. Bond. 1970. Predicting summer production losses for swine. Production Research Report No. 118. U.S. Department of Agriculture. Agricultural Research Service.
- [54] Muehling, A.J. 1976. Automatic control of natural ventilation for hog confinement. ASAE No. 76-4538. ASAE, St. Joseph, MI 49085.

- [55] Nääs, J.A. Computer simulation to predict inside temperature and heat production in swine housing for tropical conditions. Department of Agricultural Engineering Michigan State University. Tese de doutorado parcialmente publicada. 163 p.
- [56] Nelson, D.P., C.H. Read, B.J. Barfield, J.N. Walker, V. Hayes e G. Cromwell. 1970. The performance of swine under warm environments. ASAE paper No. 70-442, ASAE, St. Joseph, MI.
- [57] Neubauer, L.D. e R.D. Cramer, 1965. Effect of shape of the building on interior air temperature. Transactions of the ASAE 11(1): 537-539.
- [58] Oliveira, J.L. 1980. Hot weather livestock housing analysis. Department of Agricultural Engineering. Michigan State University. Tese de doutorado parcialmente publicada. 125 p.
- [59] Pattie, D.R. 1973. Ventilation by diffusion and filtration. Proceedings of the fourth Canadian Congress of Applied Mechanics. University of Guelph. Guelph, Canada.
- [60] Randall, J.M. 1975. The prediction of airflow patterns in livestock buildings. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. (20)-199-215.
- [61] Randall, J.M. 1975. Where the air moves in your buildings. Farm Bldg. Dept. NIAE. Redford. England. Dados de circulação interna do Departamento de Construções Rurais do NIAE.
- [62] Schuler, R.T. e D. Broten. 1976. Computer simulation of animal ventilation. ASAE paper No. 76-4023. ASAE, St. Joseph, MI.
- [63] Schulte, D.D. et al. Effect of slotted floor on air-flow characteristics in a model swine confinement building. ASAE paper No. 68-945. ASAE, St. Joseph, MI.
- [64] Teter, N.C., J.A. DeShazer e T.L. Thompson. 1973. Operational characteristics of meat animals. Part I - Swine. Transactions of the ASAE 16(1):157-159.
- [65] Teter, N.C., J.A. DeShazer e T.L. Thompson. 1976. Animal performance models. ASAE paper No. 76-5013. ASAE, St. Joseph, MI.

- [66] Timmons, M.B., L.D. Albright e R.B. Furry. 1976. Distortion effects in using building models to predict time dependent thermal behavior. ASAE paper No. 76-4024. ASAE, St. Joseph, MI.
- [67] Timmons, M.B. e L.D. Albright. 1976. Wind directional dependence of sol-air temperatures. ASAE paper No. 76-4533. ASAE, St. Joseph, MI.
- [68] Toledo, Eustáquio. 1967. Ventilação natural dos edifícios. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 127 p.
- [69] Wilson, J.D. 1970. Determining transient heat transfer effects in structures with the use of a digital computer. Transactions of the ASAE 15(4):726-728, 731.



Anexo 1 - Interação entre o meio ambiente físico e a

Anexo 2

Tabela 7

RESISTÊNCIAS TÉRMICAS SUPERFICIAS ($1/h_e$; $1/h_1 = m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

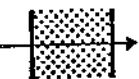
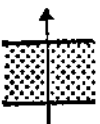
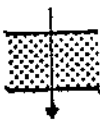
Inclinação das paredes e sentido do fluxo de calor	Paredes Exteriores			Paredes Interiores		
	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$
paredes Verticais 	0,11	0,06	0,17	0,12	0,12	0,24
paredes Horizontais (fluxo ascendente) 	0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
paredes Horizontais (fluxo descendente) 	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Tabela 8

VARIAÇÃO DA CONDUTÂNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERNA (h_e)

tipo de vento	velocidade do vento (m/s)	h_e ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
ar calmo	0,1	8
velocidade muito fraca	0,5	10
velocidade fraca	1	13
velocidade média	3	21
velocidade forte	9	35
velocidade muito forte	18	50

Anexo 3Tabela 9RESISTÊNCIA TÉRMICA DE ESPAÇOS DE AR (R_{ar}) CONFINADO ENTRE DUAS LÂMINAS PARALELAS

POSIÇÃO DO ESPAÇO DE AR	DIREÇÃO E SENTIDO DO FLUXO DE CALOR	ESPESSURA DO ESPAÇO DE AR (cm)	TEMPERATURA DAS FACES		R_{ar} ($m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$) para $E =$			
			MÉDIA ($^\circ\text{C}$)	DIFER. ($^\circ\text{C}$)	0,82	0,47	0,20	0,11
vertical	horizontal	2 a 10	32	5,5	0,15	0,22	0,38	0,51
			10	5,5	0,18	0,26	0,41	0,54
horizontal	vert. ascend.	2 a 10	10	5,5	0,16	0,21	0,32	0,39
horizontal	vert. descend.	2	32	11	0,15	0,21	0,36	0,46
		4	32	11	0,16	0,26	0,48	0,66
		10	32	11	0,17	0,28	0,58	0,86

sendo:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

para:

E = emissividade efetiva do espaço de ar

 ϵ_1 e ϵ_2 = emissividade de cada uma das lâminas paralelas que confinam o espaço de ar



Fig. 58 - Vista interna da edificação estudada.

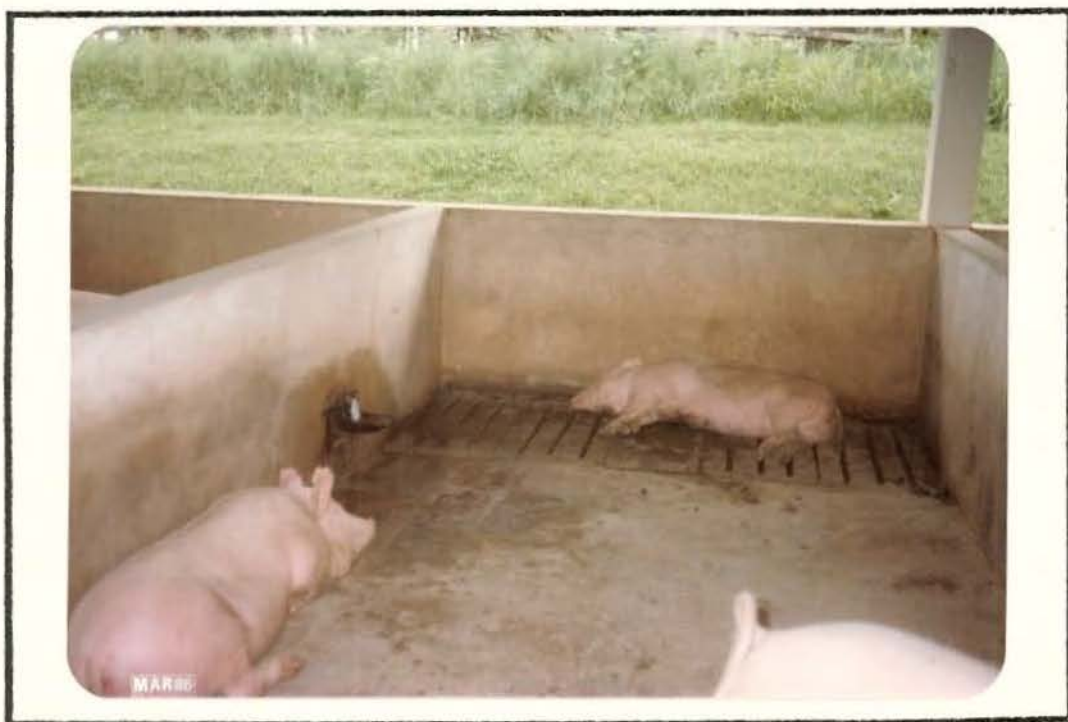


Fig. 59 - Vista da área molhada da baia estudada.

ANEXO 5

Fig. 60 - Disposição dos animais na baia.



Fig. 61 - Vista intermediária entre as baias.

ANEXO 6

TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES PARA O SISTEMA INTERNACIONAL (SI)

Magnitude	Unidade	Nome	Conversões
comprimento	m	metro	1 pé = 0,305 m. 1 jarda = 0,914 m. 1 milha = 1.609×10^3 m. 1 polegada = 0,025 m.
massa	kg	quilograma	1 onça = 28,35 g. 1 libra = 454 g.
temperatura	$^{\circ}\text{K}$	graus Kelvin	$N^{\circ}\text{C} = N + 273,15^{\circ}\text{K}$ $N^{\circ}\text{F} = 5/9 (N - 32)^{\circ}\text{C}$
área	m^2	metro quadrado	1 $\text{ft}^2 = 0,093 \text{ m}^2$ 1 acre = 0,405 ha. 1 ha = 104 m^2
volume	m^3	metro cúbico	1 galão = 4,546 l. 1 litro = 10^{-3} m^3
densidade	kg/m^3	quilograma por metro cúbico	1 $\text{lb}/\text{ft}^3 = 16,019 \text{ kg}/\text{m}^3$
velocidade (linear)	m/s	metro por segundo	1 km/h = 0,278 m/s 1 mph = 1,609 km/h 1 nó = 1,853 km/h 1 nó = 0,5148 m/s
aceleração (linear)	m/s^2	metro por segundo quadrado	1 $\text{ft}/\text{s}^2 = 0,305 \text{ m}/\text{s}^2$
força	N	newton	1 lbf = 4,448 N 1 kgf = 9,807 N 1 dyn = 10^{-5} N
trabalho, energia	J	joule	1 Wb = 3600 J 1 Kcal = 4187 J 1 m kgf = 9,807 J 1 Btu = 1055,06 J

Magnitude	Unidade	Nome	Conversões
potência	W	watt	1 Kcal/h = 1,163 W 1 Btu/h = 0,293 W 1 hp = 745,7 W 1 ton refrig = 3,516 kw 1 CV (métrico) = 735,5 W
densidade do fluxo energético	W/m ²	watt por metro quadrado	1 Kcal/m ² h = 1,163 W/m ²
pressão	N/m ² (pascal)	newton por metro quadrado	1 bar = 100 KN/m ² 1 Kgf/m ² = 9,8 KN/m ² 1 atm = 101,32 KN/m ² 1 atm = 76 cm Hg 1 atm = 1,013 milibária 1 bária = 0,987 atm
calor específico	J/m ³ °C J/kg °C		1 Kcal/°C = 4187 J/°C
condutibilidade térmica	W/m °C		1 Kcal/°C = 1,163 W/m °C
transmitância térmica	W/m ² °C		1 Kcal/m ² h °C = 1,163 W/m ² °C